Л.А.Кирик
Л.Э.Генденштейн
И.М.Гельфгат

10-11 классы

ЗАДАЧИ ПО ФИЗИКЕ ДЛЯ ПРОФИЛЬНОЙ ШКОЛЫ

с примерами решений



ИЛЕКСА

Л.А. КИРИК, Л.Э. ГЕНДЕНШТЕЙН,
И.М. ГЕЛЬФГАТ

ЗАДАЧИ ПО ФИЗИКЕ

для профильной школы с примерами решений

10–11 классы

Под редакцией В.А. Орлова

ИЛЕКСА
Москва
2017

ББК 22.3я72
ББК К43

Кирик Л.А., Генденштейн Л.Э., Гельфгат И.М.

К43 Задачи по физике для профильной школы с примерами решений. 10–11 классы. Под ред. В.А. Орлова.— М.: ИЛЕКСА, 2017.— 416 с.

ISBN 978-5-89237-251-0

Книга содержит качественные, расчетные и олимпиадные задачи по физике для учащихся 10–11 классов. Эти задачи дифференцированы по сложности на 3 уровня. Книга структурирована максимально удобно для учителей и учащихся.

В книге представлен широкий набор как простых задач, так и задач повышенной трудности (в том числе и олимпиадных), что позволяет использовать сборник также на факультативах и при подготовке к олимпиадам.

ББК 22.3я72

© Кирик Л.А.,
Генденштейн Л.Э.,
Гельфгат И.М., 2008
© ООО «Илекса», 2008

ISBN 978-5-89237-251-0

ПРЕДИСЛОВИЕ

Эта книга предназначена для учащихся 10–11 классов. Она носит обучающий характер. Многим трудным задачам авторы предпослали специально подобранные подготовительные задачи; в каждом разделе отобран ряд ***ключевых*** задач (такие задачи отмечены знаком )[1]. К части задач даны указания, подсказывающие идею решения.

Книга содержит качественные и расчетные задачи. Они дифференцированы по сложности на 3 уровня. Особенностью книги является наличие большого количества олимпиадных задач, что позволяет использовать сборник также на факультативных занятиях и при подготовке к олимпиадам.

Содержание данной книги соответствует программе по физике, утвержденной Министерством образования и науки Российской Федерации. Для удобства ученика и учителя перед каждым разделом книги приводится соответствующий раздел данной программы.

В Приложении помещен справочный материал: таблицы физических величин, некоторые данные о Земле и Солнце, полезные математические формулы.

---

[1] Подробное решение этих задач приведено в сборнике «Ключевые задачи по физике» для 10–11 классов тех же авторов.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие 3

МЕХАНИКА

Кинематика

1. Материальная точка. Система отсчета. Путь и перемещение 7
2. Прямолинейное равномерное движение 12
3. Прямолинейное равноускоренное движение 20
4. Свободное падение. Движение тела, брошенного вертикально вверх или под углом к горизонту 29
5. Равномерное движение по окружности 37

Динамика

6. Законы Ньютона 44
7. Сила упругости. Сила трения 51
8. Закон всемирного тяготения. Сила тяжести и вес тела 58
9. Применение законов динамики 64
10. Элементы статики 71

Законы сохранения в механике

11. Импульс. Закон сохранения импульса 80
12. Механическая работа. Энергия. Закон сохранения энергии 88

Механические колебания и волны

13. Механические колебания 97
14. Механические волны. Звук 106

МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА И ТЕРМОДИНАМИКА

Молекулярная физика

15. Молекулярно-кинетическая теория 111
16. Уравнение состояния идеального газа 120
17. Газовые законы 127

Термодинамика

18. Законы термодинамики 138
19. Тепловые двигатели 150

ЖИДКОСТИ, ПАРЫ И ТВЕРДЫЕ ТЕЛА

20. Свойства жидкостей 157
21. Насыщенные и ненасыщенные пары. Влажность воздуха 165

22. Свойства твердых тел 172
23. Изменения агрегатных состояний вещества..... 178

ЭЛЕКТРОДИНАМИКА

Электрическое поле

24. Электрический заряд. Закон Кулона. Напряженность электрического поля 185
25. Потенциал электрического поля. Проводники и диэлектрики в электрическом поле 193
26. Электрическая емкость. Конденсатор. Энергия электрического поля..... 202

Постоянный электрический ток

27. Электрический ток. Закон Ома для участка цепи 212
28. Последовательное и параллельное соединение проводников 217
29. Электродвижущая сила. Закон Ома для полной цепи..... 227
30. Работа и мощность тока. Закон Джоуля–Ленца..... 236
31. Электрический ток в металлах, жидкостях, газах и вакууме. Полупроводники 245

Магнитное поле

32. Магнитное поле. Вектор магнитной индукции..... 256
33. Электромагнитная индукция 266

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ

34. Свободные электромагнитные колебания. Переменный ток 278
35. Электромагнитное поле. Электромагнитные волны 286
36. Волновые свойства света 292
37. Цвет. Взаимодействие света с веществом 300
38. Геометрическая оптика..... 304
39. Элементы теории относительности 315

КВАНТОВАЯ ФИЗИКА

40. Световые кванты..... 322
41. Физика атома 329
42. Физика атомного ядра 335

ОТВЕТЫ..... 342

Приложения 419

МЕХАНИКА

КИНЕМАТИКА

Механическое движение и его относительность. Способы описания механического движения. Материальная точка как пример физической модели. Перемещение, скорость, ускорение.

Уравнения прямолинейного равномерного и равноускоренного движения. Движение по окружности с постоянной по модулю скоростью. Центростремительное ускорение.

1. МАТЕРИАЛЬНАЯ ТОЧКА. СИСТЕМА ОТСЧЕТА. ПУТЬ И ПЕРЕМЕЩЕНИЕ

Средний уровень

Решите устно

1.1. Приведите три примера задач, в которых спортсмена можно рассматривать как материальную точку.

1.2. Приведите три примера задач, в которых спортсмена нельзя рассматривать как материальную точку.

1.3. Приведите примеры задач, в одной из которых планету можно рассматривать как материальную точку, а в другой — нельзя.

1.4. Орбитальная космическая станция совершает полет. Можно ли ее считать материальной точкой: а) при расчете орбитальной скорости; б) при управлении стыковкой станции с космическим кораблем; в) при оценке риска столкновения с метеоритом?

1.5. Укажите, что принимают за тело отсчета, когда говорят: а) автобус едет со скоростью 80 км/ч; б) пассажир идет по вагону скорого поезда со скоростью 5 км/ч; в) Земля движется по своей орбите со скоростью 30 км/с.

1.6. В какой системе отсчета проще описывать: а) движение поезда; б) движение предметов внутри вагона; в) движение планет?

1.7. Когда самолет летит над облаками, то пассажирам иногда кажется, что самолет падает вниз на облака, хотя самолет летит на постоянной высоте. Объясните явление.

1.8. Траектории движения двух материальных точек пересекаются. Означает ли это, что тела обязательно сталкиваются? Приведите пример, подтверждающий ваш ответ.

1.9. Лодка движется в сплошном тумане. Сможет ли рыбак, сидящий в лодке, определить направление движения лодки?

1.10. В каком случае модуль вектора перемещения совпадает с путем, пройденным телом?

Решите и запишите

1.11. Юноша уронил мяч с высоты 2 м, а затем, после отскока мяча от земли, поймал его на половине начальной высоты. Чему равны путь, пройденный мячом, и модуль перемещения?

1.12. Человек прошел по прямой дороге 3 км, повернул под прямым углом и прошел еще 4 км. Каковы путь и модуль перемещения на первом участке движения, на втором участке и за все время движения?

1.13. Расстояние между двумя пунктами по прямой линии 6 км. Человек проходит это расстояние туда и обратно за 2 ч. Чему равны путь и модуль перемещения человека за первый час? за второй час? за два часа? Считайте, что модуль скорости человека сохраняется неизменным.

1.14. Вертолет, пролетев в горизонтальном направлении по прямой 400 км, повернул под углом 90° и пролетел некоторое расстояние. Чему равно это расстояние, если в результате модуль перемещения вертолета оказался равным 500 м? Чему равен пройденный вертолетом путь?

1.15. Тело переместилось из начальной точки с координатами $x_0 = -1$ м и $y_0 = 3$ м в точку с координатами $x = 5$ м и $y = 6$ м. Выберите подходящий масштаб и изобразите в тетради графически вектор перемещения и его проекции. Найдите модуль перемещения.

1.16. Тело находится в точке с координатами $x_0 = 5$ м и $y_0 = 3$ м. Определите конечные координаты этого тела, если известны проекции перемещения $s_x = 6$ м и $s_y = 8$ м. Чему равен модуль перемещения тела?

Достаточный уровень

Решите устно

1.17. Приведите примеры, когда для описания одного и того же движения используют различные системы отсчета.

1.18. Что выбирают в качестве тела отсчета, когда говорят, что Солнце восходит и заходит? Что в данном случае является телом отсчета?

1.19. В некоторой системе отсчета координата x тела остается неизменной. Обязательно ли тело неподвижно в этой системе отсчета?

1.20. В некоторой системе отсчета координаты x и y тела не изменяются со временем. Какой может быть траектория движения тела?

1.21. При каком условии путь равен модулю перемещения? Может ли модуль перемещения быть больше пройденного пути? А может ли быть меньше?

1.22. Материальная точка движется равномерно от центра вращающегося диска по его радиусу. В какой системе отсчета траектория точки будет прямой линией?

Решите и запишите

1.23. Сани спустились под углом 45° к горизонту с горы длиной 100 м. Определите проекции перемещения саней по вертикальному и горизонтальному направлениям.

1.24. Лошадь прошла по арене цирка 3/4 окружности радиусом 5 м. Определите пройденный путь и модуль перемещения.

1.25. Мотоциклист движется равномерно по круговой трассе радиусом 2 км, затрачивая на каждый круг 5 мин. Найдите пройденный путь и модуль перемещения за 2,5 мин; за 5 мин; за 10 мин.

1.26. Изобразите пример траектории движения тела, при котором модуль перемещения равен 15 см, а путь — 45 см.

1.27. Начертите траекторию движения, при котором путь превышает модуль перемещения: а) в 3 раза; б) в $\pi/2$ раза; в) в $\sqrt{2}$ раз.

1.28. Изобразите пример траектории движения тела, при котором модуль его перемещения равен 5 см, а путь — 7,85 см.

Высокий уровень

Решите устно

1.29. Автомобиль проехал 200 км. а) Какие точки колеса совершили максимальное перемещение? минимальное? б) Какие точки колеса прошли максимальный путь? минимальный?

1.30. Почему относительным считается не только механическое движение, но и покой? Объясните и приведите примеры.

1.31. Два тела, двигаясь прямолинейно, совершили одинаковые перемещения. Обязательно ли одинаковы пройденные ими пути?

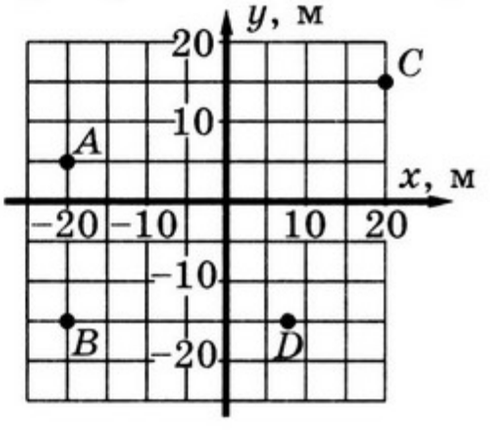
Решите и запишите

1.32. Движущийся равномерно автомобиль сделал разворот, описав половину окружности. Покажите на чертеже путь и перемещение автомобиля за время разворота. Во сколько раз путь больше модуля перемещения?

1.33. Нарисуйте примерную траекторию движения конца секундной стрелки часов относительно земли, если часы лежат: а) на земле; б) на полу поднимающегося лифта; в) на столе в движущемся поезде. Циферблат во всех случаях горизонтален.

1.34. Вертолет, взлетевший с аэродрома на антарктической научной станции, взял курс на восток. Пролетев 300 км, он повернул на юг и, пролетев еще 300 км, достиг Южного полюса. На каком расстоянии от Южного полюса находится аэродром? Нарисуйте примерный вид траектории движения.

1.35. На рисунке показаны последовательные положения A, B, C, D игрока на футбольном поле через равные промежутки времени. Начертите векторы перемещений за каждый из промежутков. Каковы модуль перемещения s и проекции s_x, s_y за каждый из указанных интервалов и за все время движения? Чему равен пройденный футболистом путь?



1.36. Тропа проходит в северном направлении 3 км, затем сворачивает на юго-восток и тянется еще 4 км, затем делает поворот на северо-восток и тянется еще 4 км. Последние 11 км она направлена строго на юг. Определите путь, пройденный по ней туристом, и модуль перемещения. На какое расстояние сместился турист в восточном и южном направлениях? Начертите траекторию движения.

1.37. Катер прошел из пункта A по озеру расстояние 5 км, затем повернул под углом 30° к направлению своего движения. После этого он шел до тех пор, пока направление на пункт A не стало составлять угол 90° с направлением его движения. Каков модуль перемещения катера? Какое расстояние от пункта A прошел катер?

2. ПРЯМОЛИНЕЙНОЕ РАВНОМЕРНОЕ ДВИЖЕНИЕ

$$v = \frac{s}{t} \Rightarrow s = v \cdot t,\ t = \frac{s}{v} \qquad s_x = v_x t,\ x = x_0 + s_x,\ x = x_0 + v_x t$$

$$\vec{s} = \vec{s}_1 + \vec{s}_2,\ \vec{v} = \vec{v}_1 + \vec{v}_2$$

Пример решения задачи

Из двух поселков навстречу друг другу одновременно вышли два пешехода: один — со скоростью 4 км/ч, а другой — со скоростью 6 км/ч. Вместе с одним из пешеходов выбежала собака, добежала до другого пешехода, тут же развернулась, добежала снова до первого, опять развернулась и бегала так до тех пор, пока пешеходы не встретились. Какой путь пробежала собака, если расстояние между поселками 30 км, а собака бегала со скоростью 20 км/ч?

Решение. Путь, который пробежала собака, равен ее скорости, умноженной на все время ее движения. Скорость собаки дана в условии задачи, а время ее движения равно времени, которое понадобится пешеходам, чтобы дойти до места встречи. Начальное расстояние между пешеходами — 30 км. Идя навстречу друг другу, они *сближаются* со скоростью 10 км/ч. Следовательно, они встретятся через 3 ч после начала движения. А собака, бегая все это время со скоростью 20 км/ч, пробежит 60 км.

Ответ. 60 км.

Средний уровень

Решите устно

2.1. Назовите, какие из приведенных движений являются равномерными, а какие — неравномерными: а) движение самолета при взлете; б) движение автомобиля при повороте; в) подъем на эскалаторе метрополитена; г) движение конца секундной стрелки часов.

2.2. На одной из линий метрополитена электропоезд совершает каждый свой рейс в одном направлении за 1 час. Можно ли считать его движение равномерным?

2.3. Тело за первую секунду переместилось на 1 м, за вторую — на 1 м, за третью — на 1 м, за четвертую — тоже на 1 м и т. д. Можно ли такое движение считать равномерным?

2.4. Спортивный судья стоит на линии финиша. Должен ли он запустить секундомер в тот момент, когда увидит огонь стартового пистолета, или в тот момент, когда услышит выстрел?

2.5. Почему дождевые капли в безветренную погоду оставляют наклонные полосы на стеклах равномерно движущегося вагона?

2.6. Пассажир идущего поезда смотрит в окно на проходящий встречный поезд. Когда встречный поезд промчался мимо, пассажиру показалось, что его поезд замедлил ход. Почему?

Решите и запишите

2.7. Турист прошел 4 км со скоростью 4,8 км/ч. Сколько времени он шел?

2.8. Путешественник шел 25 мин со скоростью 5,4 км/ч. Какой путь он прошел?

2.9. Через мост длиной 200 м идет поезд со скоростью 36 км/ч. С момента, когда на мост въехал локомотив, до момента, когда мост покинул последний вагон, прошла 1 минута. Какова длина поезда?

2.10. Один автомобиль, двигаясь со скоростью 12 м/с в течение 10 с, совершил такое же перемещение, что и другой за 15 с. Какова скорость второго автомобиля, если оба двигались прямолинейно?

2.11. Скорость лодки относительно воды — 4 км/ч, а скорость течения — 2 км/ч. За какое время лодка пройдет 12 км по течению реки? против течения?

2.12. Моторная лодка прошла вниз по течению реки расстояние 22,5 км за 90 мин. Скорость лодки относительно воды — 12 км/ч. Сколько времени затратила лодка на обратный путь?

Достаточный уровень

Решите устно

2.13. Можно ли утверждать, что тело движется прямолинейно равномерно, если оно: а) за каждую секунду проходит

путь, равный 1 м; б) движется вдоль прямой в одном направлении и за каждую секунду проходит путь 3 м?

2.14. Тело движется прямолинейно равномерно. Обязательно ли являются линейными функциями времени: а) пройденный путь; б) модуль перемещения; в) модуль координаты?

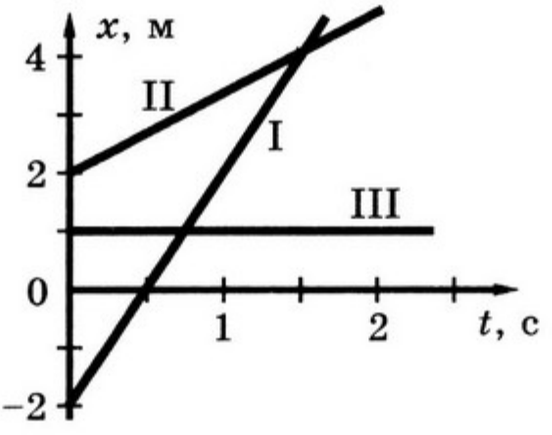
2.15. Как должен подпрыгнуть цирковой наездник, скачущий на лошади по прямой с неизменной скоростью, чтобы, проскочив сквозь обруч, снова стать на лошадь? Сопротивлением воздуха пренебречь.

2.16. Какие из приведенных ниже формул описывают прямолинейное равномерное движение? Какие из формул вообще не могут описывать реальное движение: а) $x = 3 - 0{,}5t$; б) $v = 3 - 0{,}5t$; в) $l = 3 - 0{,}5t$?

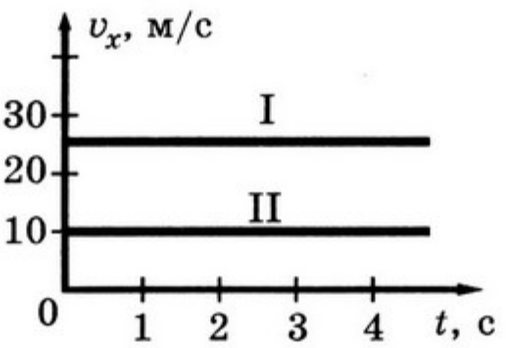
2.17. Два автомобиля движутся прямолинейно равномерно. Скорость движения первого автомобиля больше скорости второго. Чем отличаются графики их: а) путей; б) скоростей?

2.18. Уравнение движения тела $x = 12 - 3t$. Опишите это движение (укажите значения всех характеризующих его величин).

2.19. По графику зависимости координаты движущегося тела от времени опишите характер движения трех тел. Чему равна начальная координата x_0 каждого из тел?



2.20. По графику зависимости проекции скорости от времени опишите характер движения двух тел. С какой скоростью движется каждое тело?



Решите и запишите

2.21. Движения двух тел заданы уравнениями $x_1 = 150 - 10t$ и $x_2 = 5t$[1]. Определите время и место встречи.

2.22. При равномерном движении вдоль оси OX координата материальной точки изменилась за 8 секунд от $x_1 = 9$ м до $x_2 = 17$ м. Найдите модуль скорости точки и проекцию вектора скорости на ось OX. Запишите формулу зависимости $x(t)$. Скорость считать постоянной.

2.23. При равномерном движении вдоль оси OX координата точки изменилась за 5 с от значения $x_1 = 10$ м до $x_2 = -10$ м. Найдите модуль скорости точки и проекцию вектора скорости на ось OX. Запишите формулу зависимости $x(t)$. Считать скорость постоянной.

2.24. Координата автомобиля, равномерно едущего по прямолинейному шоссе, в начальный момент равна $x_1 = 200$ м, а через 2 минуты $x_2 = 2{,}2$ км. С какой скоростью едет автомобиль? Запишите уравнение движения, постройте график скорости и график перемещения.

2.25. Координаты материальной точки, движущейся в плоскости XOY, изменяются согласно формулам: $x = -4t$, $y = 6 + 2t$. Запишите уравнение траектории $y = y(x)$. Найдите начальные координаты движущейся точки и ее координаты через 1 с после начала движения.

2.26. Вдоль оси OX движутся два тела, координаты которых изменяются согласно формулам: $x_1 = 4 + 2t$ и $x_2 = 8 - 2t$. Как движутся эти тела? В какой момент времени тела встретятся? Найдите координату точки встречи. Задачу решите графически.

2.27. Скорость моторной лодки относительно воды — 6 км/ч, а скорость течения — 2 км/ч. Во сколько раз быстрее движется лодка по течению, чем против течения?

2.28. Проплывая под мостом на моторной лодке, рыбак уронил шляпу. Через полчаса он спохватился, повернул обратно и поймал шляпу на 4 км ниже моста по течению. Модуль скорости лодки относительно воды оставался неизменным. Какова скорость течения? В какой системе отсчета проще решать эту задачу?

2.29. Командир, едущий во главе колонны пехотинцев длиной 200 м, посылает конного адъютанта с поручением

---

[1] Здесь и в последующих задачах все величины измеряются в единицах СИ.

к замыкающему. Через какое время адъютант вернется, если колонна движется со скоростью 2 м/с, а адъютант едет со скоростью 10 м/с? В какой системе отсчета удобнее решать эту задачу?

2.30. Чтобы проплыть на моторной лодке от пристани A к пристани $Б$, требуется $t_1 = 1$ ч, а обратная дорога занимает $t_2 = 3$ ч. Скорость лодки относительно воды остается постоянной. Во сколько раз эта скорость больше скорости течения?

2.31. Из поселка одновременно выехали два автомобиля: один — на север со скоростью 60 км/ч, другой — на восток со скоростью 80 км/ч. Как зависит от времени расстояние между автомобилями?

Высокий уровень

Решите устно

2.32. Может ли спортсмен на водных лыжах двигаться быстрее катера? Может ли катер двигаться быстрее лыжника?

2.33. Судно движется прямолинейно равномерно. Обязательно ли: а) тела, движущиеся относительно судна прямолинейно, будут и относительно земли двигаться прямолинейно; б) тела, движущиеся относительно судна равномерно, будут двигаться равномерно и относительно земли; в) тела, движущиеся относительно судна прямолинейно равномерно, будут и относительно земли двигаться прямолинейно равномерно?

2.34. Мешает или помогает течение переплыть реку: а) за кратчайшее время? б) по кратчайшему пути? Считайте, что ширина реки и скорость течения всюду одинаковы.

2.35. Как можно по следам дождевых капель на боковых стеклах автомобиля найти скорость падения этих капель? Считайте, что ветра нет.

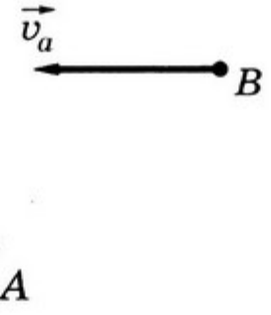
Решите и запишите

2.36. Пункты A и B находятся на расстоянии $s = 1080$ км друг от друга. Самолет летит из пункта A в пункт B и обратно со скоростью $v = 390$ км/ч относительно воздуха. Сколько времени понадобится на весь полет, если на трассе полета непрерывно дует сильный ветер со скоро-

стью $u = 150$ км/ч? Рассмотрите два случая: а) ветер дует вдоль прямой AB; б) ветер дует под прямым углом к прямой AB.

2.37. Из Москвы в Пушкино с интервалом в 10 мин вышли два электропоезда со скоростями 30 км/ч каждый. С какой скоростью двигался поезд, идущий в Москву, если электропоезда прошли мимо него с интервалом в 4 минуты?

2.38. В некоторой точке A в стороне от шоссе находится человек. На шоссе в точке B человек увидел автобус, движущийся со скоростью $\vec{v}_a$. С какой минимальной скоростью должен бежать человек к шоссе, чтобы успеть сесть в автобус? В каком направлении он должен бежать? Задачу решите графически.



2.39. Ведро выставлено на дождь. Изменится ли скорость наполнения ведра дождевой водой, если подует ветер?

2.40. Капли дождя падают отвесно со скоростью u. а) Одно ведро стоит в кузове автомобиля, движущегося со скоростью v, а другое — у обочины дороги. В каком ведре окажется больше дождевой воды? Во сколько раз больше? б) По дороге катится мяч со скоростью v. Другой такой же мяч лежит неподвижно. На какой мяч попадает больше капель? Во сколько раз больше?

2.41. Пассажир поезда заметил, что две встречные электрички промчались мимо него с интервалом $t_1 = 6$ мин. С каким интервалом времени t_2 прошли эти электрички мимо станции, если поезд, на котором находится пассажир, шел со скоростью $v_1 = 100$ км/ч, а скорость каждой из электричек $v_2 = 60$ км/ч? В какой системе отсчета удобнее решать эту задачу?

2.42. Эскалатор поднимает стоящего на нем человека за $t_1 = 1$ мин, а если человек идет вверх по остановившемуся эскалатору, на подъем уходит $t_2 = 3$ мин. Сколько времени понадобится на подъем, если человек будет идти вверх по движущемуся вверх эскалатору?

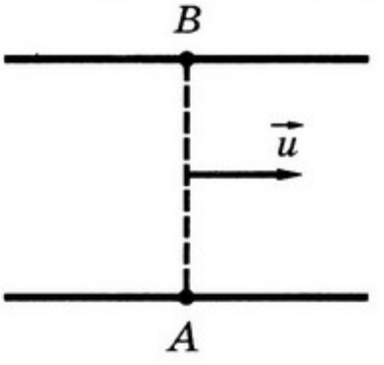
2.43. Человек, идущий вниз по движущемуся вниз эскалатору, затрачивает на спуск 1 мин. Если человек будет идти вдвое быстрее, он затратит на 15 с меньше. Сколько времени он будет спускаться, стоя на эскалаторе?

2.44. У двух туристов один велосипед, на котором может ехать только один человек. Как туристам воспользоваться велосипедом, чтобы обоим прибыть на базу в кратчайший срок?

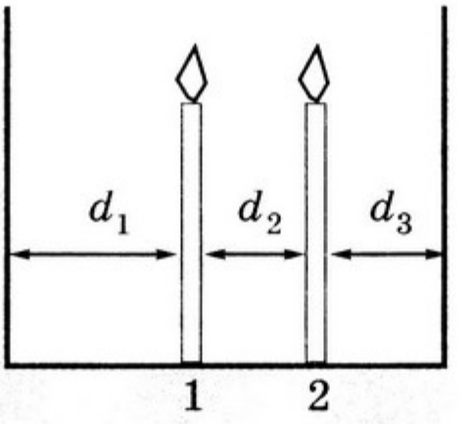
2.45. Человек идет по эскалатору. В первый раз он насчитал 50 ступенек, пробежав весь эскалатор. Во второй раз, двигаясь в ту же сторону со скоростью втрое большей, он насчитал 75 ступенек. Сколько ступенек он насчитал бы на неподвижном эскалаторе?

Олимпиадные задачи

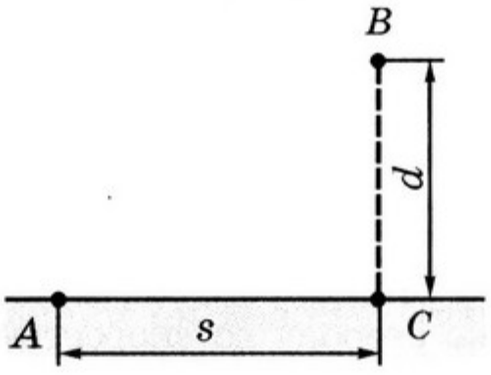
О-1. На лодке переплывают реку, отправляясь из пункта A (см. рисунок). Скорость лодки в стоячей воде $v = 5$ м/с, скорость течения реки $u = 3$ м/с, ширина реки $s = 200$ м. а) В какой точке лодка пристанет к противоположному берегу, если держать курс перпендикулярно берегам? б) Какой курс следует держать, чтобы попасть в точку B? Для обоих случаев найдите время переправы.



О-2. Две свечи одинаковой длины l зажгли одновременно и поставили на столе между двумя стенами, как показано на рисунке. При этом оказалось, что тень первой свечи (на левой стене) неподвижна, а тень второй свечи (на правой стене) укорачивается со скоростью v. Через какое время и какая свеча погаснет первой? Через какое время погаснет и другая свеча?



О-3. Человек находится на берегу озера в точке A и хочет в кратчайшее время попасть в точку B, находящуюся на озере (см. рисунок). Скорость движения человека в воде v_1, а по берегу — v_2. По какой траектории следует двигаться человеку, если $v_2 > v_1$?



О-4. По прямому шоссе движется автобус со скоростью $v_1 = 16$ м/с. Впереди по ходу автобуса в поле на расстоянии $d = 60$ м от шоссе и $s = 400$ м от автобуса находится человек, который может бежать со скоростью $v_2 = 4$ м/с. В каком направлении он должен бежать, чтобы успеть «перехватить» автобус? При какой наименьшей скорости человека $v_{2\min}$ это возможно? В каком направлении следует бежать с такой скоростью?

3. ПРЯМОЛИНЕЙНОЕ РАВНОУСКОРЕННОЕ ДВИЖЕНИЕ

$$\vec{a} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t};\ v_x = v_{0x} + a_x t;$$

$$s_x = v_{0x} t + \frac{a_x t^2}{2} = \frac{v_{0x} + v_x}{2} t = \frac{v_x^2 - v_{0x}^2}{2a_x}$$

Пример решения задачи

Поезд начинает движение из состояния покоя и движется равноускоренно. На первом километре пути его скорость возросла на 10 м/с. На сколько она возрастет на втором километре?

Дано:
$v_0 = 0$
$v_1 = 10$ м/с
$s = 1$ км $= 10^3$ м

$\Delta v_2 - ?$

Решение.
Обозначим модуль ускорения a. Из формулы $s_x = \frac{v_x^2 - v_{0x}^2}{2a_x}$ следует, что скорость поезда после прохождения первого километра равна $v_1 = \sqrt{2as + v_0^2} = \sqrt{2as}$, а после прохождения второго километра (когда перемещение равно $2s$) $v_2 = \sqrt{2a \cdot 2s} = 2\sqrt{as}$.

Тогда $\Delta v_2 = v_2 - v_1 = (\sqrt{2} - 1)\sqrt{2as}$, т. е. $\Delta v_2 = (\sqrt{2} - 1)v_1$.

Таким образом, $\Delta v_2 = 4{,}1$ м/с.

Ответ. $\Delta v_2 = 4{,}1$ м/с.

Средний уровень

Решите устно

3.1. Поезд отходит от станции. Как направлены его скорость и ускорение?

3.2. Поезд начинает тормозить. Как направлены его скорость и ускорение?

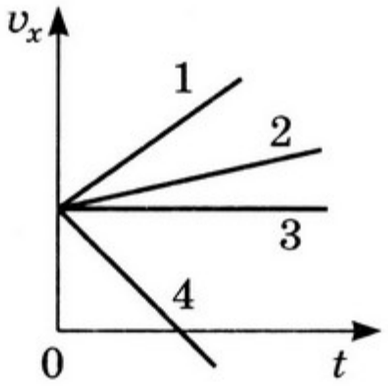
3.3. Два поезда идут навстречу друг другу: один — ускоренно на север, другой — замедленно на юг. Одинаково ли направлены ускорения поездов?

3.4. Как движется тело, если его ускорение равно нулю?

3.5. Как направлены скорость и ускорение движущегося тела, если модуль вектора скорости увеличивается? уменьшается? Движение считайте прямолинейным.

3.6. Как зависит проекция скорости от времени при прямолинейном равноускоренном движении?

3.7. На рисунке схематически показаны графики $v_x(t)$ движения нескольких тел вдоль оси OX. Что общего у всех этих движений? Чем они отличаются?



3.8. Как зависит проекция перемещения от времени при прямолинейном равноускоренном движении?

Решите и запишите

3.9. Зависимость проекции скорости от времени для различных тел, движущихся вдоль оси x, имеет вид: а) $v_x = 2 - 3t$; б) $v_x = -5 + 4t$; в) $v_x = 3 + 5t^2$; г) $v_x = -6 - t$. В каких случаях движение является равноускоренным? Чему равны при этом проекция начальной скорости v_{0x} и проекция ускорения a_x? В каких случаях в начале движения тело движется в положительном направлении оси x? В каких из случаев равноускоренного движения скорость тела в начале движения увеличивается по модулю?

3.10. Координата движущегося тела изменяется по закону $x = 2 + 4t + 0{,}5t^2$. Каким будет соответствующее уравнение скорости?

3.11. За какое время автомобиль, двигаясь с ускорением 0,2 м/с^2, увеличивает свою скорость от 54 км/ч до 72 км/ч?

3.12. Санки скатились с горы за 12 с. С каким ускорением они спускались и какова их скорость в конце склона, если его длина составляет 36 м? Начальная скорость санок равна нулю.

3.13. Пуля, летевшая со скоростью 400 м/с, пробила стену толщиной 20 см, в результате чего скорость пули уменьши-

лась до 100 м/с. Сколько времени двигалась пуля в стене? Считайте, что внутри стены пуля двигалась с постоянным ускорением.

3.14. Вагон съезжает с сортировочной горки длиной 72 м в течение 6 с. Определите его ускорение и скорость в конце участка.

3.15. Какой была начальная скорость поезда, если через 40 с, двигаясь с ускорением 0,06 м/с^2, он достиг скорости 3 м/с?

Достаточный уровень

Решите устно

3.16. Для чего у дальнобойного артиллерийского орудия делают длинный ствол?

3.17. Движение пули в канале ствола при выстреле можно считать равноускоренным. На каком из этапов движения изменение скорости пули больше: при прохождении первой половины длины ствола или второй половины? Поясните свой ответ.

3.18. Всегда ли путь, пройденный телом за первую секунду при равноускоренном движении, численно равен половине ускорения?

3.19. Может ли скорость тела быть равной нулю в момент, когда его ускорение не равно нулю? Приведите пример, подтверждающий ваш ответ.

Решите и запишите

3.20. Тело движется равноускоренно. Сколько времени оно будет двигаться в том же направлении, что и в начальный момент, если $\upsilon_{0x} = 20$ м/с, $a_x = -4$ м/с^2? Начертите график $\upsilon_x(t)$.

3.21. Чему равна проекция ускорения, если в моменты времени $t_1 = 10$ с и $t_2 = 30$ с проекции скорости $\upsilon_{x1} = 30$ м/с и $\upsilon_{x2} = 10$ м/с? Начертите график $\upsilon_x(t)$.

3.22. Тело движется равноускоренно без начальной скорости. Через 7 с после начала движения $\upsilon_x = 6$ м/с. Как найти скорость тела в конце 14-й секунды после начала движения, не вычисляя ускорения? Начертите график $\upsilon_x(t)$.

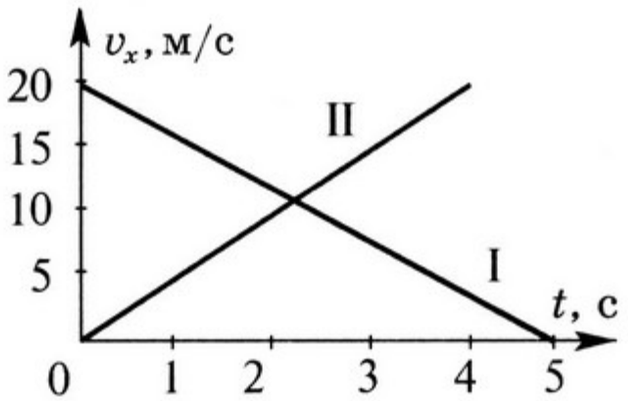
3.23. Автомобиль трогается с места и движется равноускоренно по прямому шоссе. За первую секунду автомобиль

проезжает 3 м. Какой путь пройдет автомобиль за первые 2 секунды? за первые 5 секунд?

3.24. От движущегося поезда отцепляют последний вагон, после чего поезд продолжает двигаться с неизменной скоростью, а скорость вагона уменьшается. Путь, пройденный вагоном от момента отцепления до остановки, равен 50 м. Какой путь прошел за это время поезд, если считать, что вагон двигался с постоянным ускорением?

3.25. Тело, двигаясь равноускоренно без начальной скорости, за четвертую секунду прошло 35 м. С каким ускорением двигалось тело? Какова скорость в конце четвертой и десятой секунды? Какой путь прошло тело за вторую и за пятую секунду?

3.26. По графикам, изображенным на рисунке, запишите уравнения зависимости проекции скорости и координаты от времени $\left[\upsilon_x(t),\ x(t)\right]$. Постройте графики для координаты и проекции ускорения.



3.27. От толчка шарик вкатывается на наклонную плоскость. На расстоянии $l = 30$ см от начала движения шарик побывал дважды: через $t_1 = 1$ с и $t_2 = 2$ с после толчка. Считая движение равноускоренным, найдите начальную скорость υ_0 и ускорение a.

3.28. Тележка движется вдоль линейки с постоянным ускорением. В момент, когда секундомер показывает $t_1 = 7$ с, тележка находится против отметки $x_1 = 70$ см, в момент $t_2 = 9$ с — против отметки $x_2 = 80$ см и в момент $t_3 = 15$ с — против отметки $x_3 = 230$ см. С каким ускорением движется тележка?

3.29. За 2 с тело прошло путь 20 см, причем его скорость увеличилась в 1,5 раза. Считая движение равноускоренным с начальной скоростью, определите значение ускорения тела.

Решите устно

3.30. Тело, двигаясь без начальной скорости, прошло за первую секунду 1 м, за вторую — 2 м, за третью — 3 м, за четвертую 4 м и т. д. Можно ли считать такое движение равноускоренным?

3.31. Видеозапись «прокручивают» в обратную сторону. Как при этом изменяется на экране направление скорости автомобиля? направление ускорения?

3.32. Каково ускорение тела, скорость которого: а) практически неизменна; б) изменяется «скачком» (например, при ударе)?

3.33. Нет ли ошибок в следующем описании прямолинейного движения: на первом этапе движения $v_x > 0$, $a_x = 0$; на втором $v_x > 0$, $a_x > 0$; на третьем $v_x < 0$, $a_x > 0$; и наконец, на четвертом этапе $v_x < 0$, $a_x = 0$? Обоснуйте свой ответ.

3.34. На рис. *а*, *б* приведены графики $s_x(t)$ и $v_x(t)$ для двух различных прямолинейных движений. Ответьте для каждого из них на следующие вопросы:

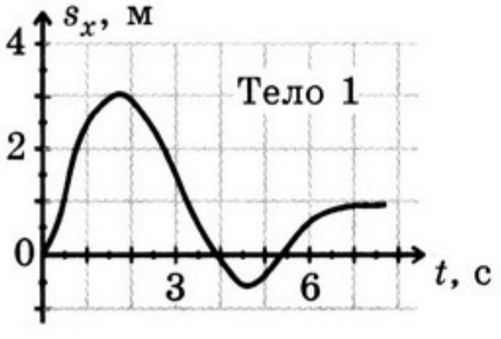
а) Когда тело двигалось в «отрицательном» направлении (противоположно оси OX)?

б) В какие моменты скорость тела равнялась нулю?

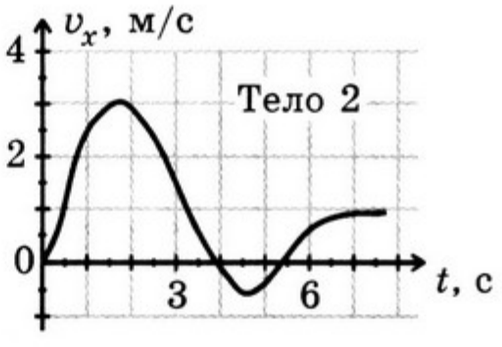
в) В какие моменты тело двигалось быстрее всего?

г) В какой момент координата тела была наименьшей?

д) В какие моменты тело двигалось с максимальным по модулю ускорением?



а



б

Решите и запишите

3.35. Два мотоциклиста выезжают навстречу друг другу из пунктов A и B, находящихся на расстоянии $s = 300$ м. Оба мотоциклиста движутся с одинаковым по модулю ускорением

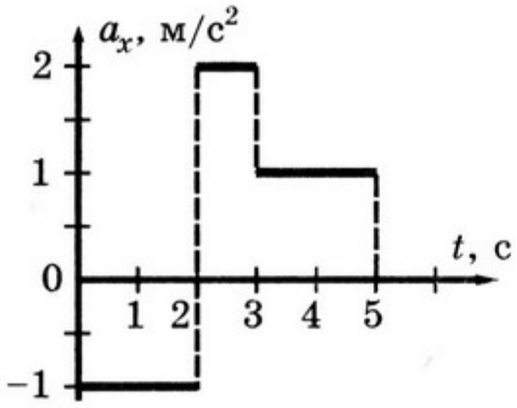
$a = 2$ м/с^2, но скорость первого мотоциклиста уменьшается, а второго — увеличивается. Начальная скорость первого мотоциклиста $v_1 = 72$ км/ч, а второго — $v_2 = 36$ км/ч. По какому закону будет меняться расстояние между мотоциклистами? Определите время движения и расстояние, пройденное первым мотоциклистом до встречи.

3.36. Поезд прошел расстояние $s = 17$ км между двумя станциями. При этом на разгон в начале движения и торможение перед остановкой ушло в общей сложности $t_1 = 4$ мин, а остальное время поезд двигался с постоянной скоростью. Чему равна эта скорость u, если средняя скорость поезда оказалась равной $v_{ср} = 60$ км/ч?

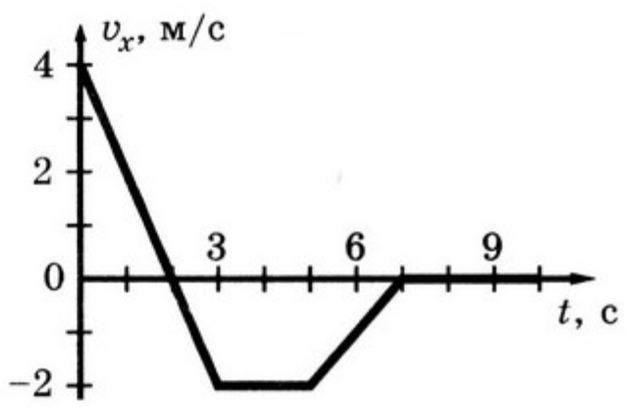
3.37. Перед машинистом на испытаниях поезда была поставлена задача провести поезд между станциями, расстояние между которыми равно l, за минимальное время. Какую максимальную скорость можно сообщить поезду, если при этом машинист может изменять скорость поезда, оставляя ускорение a постоянным по модулю?

3.38. По прямой из точки A начали двигаться одновременно в одном направлении два тела: первое равноускоренно с начальной скоростью 3 м/с и ускорением 2 м/с^2, второе — равномерно. В каких пределах должна изменяться скорость второго тела, чтобы оно сначала обогнало первое тело, но чтобы позже первое тело догнало второе на расстоянии не более 10 м от точки A?

3.39. По приведенному графику проекции ускорения постройте графики для координаты $x(t)$ и проекции скорости $v_x(t)$.



К задаче 3.39



К задаче 3.40

3.40. На рисунке приведен график зависимости $v_x(t)$ для тела, движущегося вдоль оси x. Постройте графики за-

висимости от времени ускорения a_x, перемещения s_x и пройденного пути l.

3.41. Докажите, что при прямолинейном равноускоренном движении без начальной скорости выполняется «закон нечетных чисел»: пути, проходимые телом за последовательные равные интервалы времени, относятся как последовательные нечетные числа: $l_1 : l_2 : \ldots : l_n = 1 : 3 : \ldots : (2n - 1)$. (Эта задача была впервые поставлена и решена Галилеем.)

3.42. При равноускоренном движении тело проходит в первые два равных последовательных промежутка времени, по $t = 4$ с каждый, пути $s_1 = 24$ м и $s_2 = 64$ м. Определите начальную скорость и ускорение движущегося тела.

3.43. Тело движется с ускорением a. Определите разность путей, проходимых телом за два последовательных одинаковых промежутка времени τ.

3.44. Желоб длиной 90 см разделен на три участка. Каковы длины этих участков, если скатывающийся без начальной скорости шарик, двигаясь равноускоренно, проходит каждый из участков за одинаковое время?

3.45. Тело начинает двигаться вдоль прямой без начальной скорости с постоянным ускорением. Через 30 мин ускорение тела меняется по направлению на противоположное, оставаясь таким же по модулю. Через какое время после начала движения тело вернется в исходную точку?

3.46. Докажите, что при равноускоренном движении средняя скорость на промежутке времени от момента t_1 до момента t_2 равна мгновенной скорости в момент времени $\frac{t_1 + t_2}{2}$.

Олимпиадные задачи

О-5. Конькобежец проходит путь 450 м с постоянной скоростью v, а затем тормозит до остановки с ускорением, равным по модулю 5 м/с^2. При некотором значении скорости v общее время движения конькобежца оказывается минимальным. Чему оно равно?

О-6. Поезд начал тормозить при скорости 72 км/ч. Какой будет его скорость после прохождения двух третей тормозного пути?

О-7. При торможении автомобиль прошел мимо точки A со скоростью 144 км/ч, а мимо точки B — со скоростью 72 км/ч. С какой скоростью двигался автомобиль в середине отрезка AB?

О-8. Тело движется равноускоренно без начальной скорости. За какой промежуток времени это тело пройдет пятый метр своего пути, если первый метр оно прошло за 2 с?

О-9. В момент, когда опоздавший пассажир вбежал на платформу, с ним поравнялось начало предпоследнего вагона, который прошел мимо него за время t_1. Последний вагон прошел мимо пассажира за время t_2. На сколько опоздал пассажир к отходу поезда? Поезд движется равноускоренно. Длина вагонов одинакова.

О-10. Пункты A и B расположены на расстоянии $l = 4$ км друг от друга. Из пункта A по направлению к пункту B равномерно движется материальная точка. Одновременно навстречу ей из пункта B с начальной скоростью $v_0 = 32$ м/с движется вторая материальная точка, движущаяся с постоянным ускорением $a = 0{,}2$ м/с^2, направленным все время так же, как скорость первой точки. Известно, что в пути материальные точки два раза встречались друг с другом. В каких пределах лежит скорость первой материальной точки?

О-11. Материальная точка начинает двигаться по прямой с постоянным ускорением a. Спустя время t_1 после начала ее движения ускорение меняет знак на противоположный, оставаясь неизменным по модулю. Найдите время t_2, за которое тело вернется в исходную точку.

О-12. Тело совершает прямолинейное равноускоренное движение с некоторой начальной скоростью. Каково перемещение тела за 20 с, если его скорость через 10 с после начального момента равна 5 м/с? Тело двигалось в одном направлении.

4. СВОБОДНОЕ ПАДЕНИЕ[1]. ДВИЖЕНИЕ ТЕЛА, БРОШЕННОГО ВЕРТИКАЛЬНО ВВЕРХ ИЛИ ПОД УГЛОМ К ГОРИЗОНТУ

$$h = \frac{gt^2}{2},\quad v = v_0 + gt,\quad h_{max} = \frac{v_0^2}{2g},\quad h = \frac{v_0^2 \sin^2\alpha}{2g},\quad L = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g}$$

Пример решения задачи

За последние 2 с тело, падающее без начальной скорости, прошло расстояние $s = 40$ м. Сколько времени t продолжалось падение и с какой высоты H падало тело?

Дано:
$\tau = 2$ с
$s = 40$ м

$t - ?\ H - ?$

Решение.
Воспользуемся тем, что средняя скорость при равноускоренном движении равна *среднему арифметическому* начальной и конечной скорости.

Последний участок длиной s тело проходит за время τ, поэтому средняя скорость на этом участке $v_{ср} = \frac{s}{\tau}$. Поскольку начальная скорость на этом участке равна $g(t-\tau)$, а конечная равна gt, то $v_{ср} = \frac{g(t-\tau)+gt}{2} = gt - \frac{g\tau}{2}$. Таким образом, $\frac{s}{\tau} = gt - \frac{g\tau}{2}$. Отсюда получаем $t = \frac{s}{g\tau} + \frac{\tau}{2}$. Подставляя найденное выражение для t в формулу $H = \frac{gt^2}{2}$, получаем $H = \frac{g}{2}\left(\frac{s}{g\tau} + \frac{\tau}{2}\right)^2$. Используя приведенные в условии числовые данные, находим $t = 3$ с, $H = 45$ м.

Ответ. 3 с; 45 м.

Средний уровень

Решите устно

4.1. Как движется тело при свободном падении?

[1] Здесь и далее сопротивление воздуха не учитывайте, если о нем не сказано в условии задачи; g можно округлять до 10 м/с^2.

4.2. Что можно сказать об ускорении свободного падения различных тел?

4.3. Что установил итальянский ученый Г. Галилей, исследуя свободное падение тел?

4.4. Почему свободное падение можно считать частным случаем равноускоренного движения?

4.5. Какие физические величины следует измерить в опытах со свободно падающим телом, чтобы измерить ускорение свободного падения в данном месте Земли?

4.6. Чему равен модуль ускорения тела, брошенного вертикально вверх?

4.7. С каким ускорением движется тело, брошенное горизонтально?

4.8. Что общего в движении тел, брошенных вертикально и горизонтально?

4.9. Что общего в движении тел, брошенных вертикально и под углом к горизонту?

4.10. С каким ускорением движется тело, брошенное вертикально вверх, в верхней точке траектории?

Решите и запишите

4.11. При свободном падении без начальной скорости тело достигает поверхности земли через 5 с. Какова скорость тела в момент падения и с какой высоты оно падало?

4.12. За какое время тело, свободно падающее из состояния покоя, пролетит 100 м?

4.13. Стрела, выпущенная из лука вертикально вверх со скоростью 25 м/с, поражает цель через 2 с. Какую скорость будет иметь стрела к моменту достижения цели?

4.14. Стрела выпущена вертикально вверх с начальной скоростью 49 м/с. Сколько времени стрела поднималась? Какова продолжительность полета?

4.15. Мяч брошен вертикально вверх со скоростью 18 м/с. На какую высоту он поднимется?

4.16. Из окна бросили мячик в горизонтальном направлении со скоростью 12 м/с. Он упал на землю через 2 с. С какой высоты был брошен мячик и на каком расстоянии от здания он упал?

4.17. Мальчик бросил горизонтально мяч из окна, находящегося на высоте 20 м. Сколько времени летел мяч до земли

и с какой скоростью он был брошен, если он упал на расстоянии 6 м от основания дома?

4.18. Мяч был брошен под углом 30° к горизонту с начальной скоростью 20 м/с. Какова дальность полета?

4.19. Найдите высоту подъема камня, брошенного с начальной скоростью 10 м/с под углом 45° к горизонту.

4.20. Во сколько раз нужно увеличить начальную скорость спортивного снаряда, чтобы максимальная дальность броска увеличилась в 2,25 раза?

Достаточный уровень

Решите устно

4.21. Изменится ли ускорение свободно падающего тела, если придать ему начальную скорость? Ответ объясните.

4.22. Два камешка выпущены из рук один за другим с одной и той же высоты. Будет ли изменяться расстояние между ними во время падения? Ответ поясните.

4.23. Как зависит дальность полета тела, брошенного горизонтально с одной и той же высоты, от значения величины начальной скорости?

4.24. Почему увеличивается дальность прыжка, если человек перед прыжком делает разбег?

4.25. Зависит ли дальность полета тела, брошенного под углом к горизонту, от направления начальной скорости?

4.26. В каких точках траектории выпущенный под углом к горизонту снаряд обладает наибольшей скоростью?

4.27. Тело свободно падает без начальной скорости. Какое расстояние оно пролетает за первую секунду? за вторую секунду? за третью секунду?

4.28. Из окна железнодорожного вагона свободно падает тело. Будут ли равны между собой значения времени свободного падения тела, вычисленные для случаев: а) вагон неподвижен; б) вагон движется с постоянной скоростью v; в) вагон движется с ускорением a?

4.29. Тело бросают горизонтально с некоторой высоты. В каком случае дальность полета будет больше: если увеличить в два раза начальную скорость или если увеличить в два раза начальную высоту?

4.30. Тело, брошенное под углом 30° к горизонту, упало в некоторую точку на поверхности земли. Под каким *другим*

углом надо бросить второе тело с той же начальной скоростью, чтобы оно упало в ту же точку, что и первое?

Решите и запишите

4.31. Камень падает в шахту. Через 6 с слышен звук удара камня о дно шахты. Определите глубину шахты, считая скорость звука равной 340 м/с.

4.32. Свободно падающее тело прошло последние $s = 30$ м своего пути за время $\tau = 0{,}5$ с. С какой высоты H падало тело?

4.33. В последнюю секунду свободного падения тело, падающее без начальной скорости, прошло половину своего пути. С какой высоты H и сколько времени t падало тело?

4.34. Подброшенный вверх камень упал на землю через 4 с. Какова была его начальная скорость? Какой высоты он достиг? С какой скоростью он упал на землю?

4.35. Тела A и B брошены вертикально вверх. Наибольшая высота, на которую поднялось тело A, оказалась в 4 раза больше высоты, на которую поднялось тело B. Определите отношение начальных скоростей брошенных тел.

4.36. Тело брошено вертикально вверх с начальной скоростью v_0. Когда оно достигло наивысшей точки, из той же начальной точки с той же начальной скоростью брошено вверх другое тело. На какой высоте H тела встретятся?

4.37. Под каким углом α к горизонту нужно направить струю воды, чтобы высота ее подъема была равна дальности?

4.38. Снаряд вылетает из пушки с начальной скоростью $v_0 = 1000$ м/с под углом $\alpha = 30°$ к горизонту. Какое время t снаряд находится в воздухе? На какую высоту H поднимается? На каком расстоянии L от пушки он упадет на землю?

4.39. Камень бросают горизонтально с вершины горы, склон которой образует угол α с горизонтом. С какой скоростью v_0 нужно бросить камень, чтобы он упал на склон горы на расстоянии L от вершины?

4.40. Два тела одновременно брошены под углом к горизонту: одно со скоростью $\vec{v}_0$, а другое со скоростью $\vec{u}_0$. Как движется второе тело относительно первого?

4.41. С отвесного берега высотой H горизонтально бросают камень со скоростью v_0. С какой скоростью v камень войдет в воду?

Решите устно

4.42. Три тела брошены так: первое — вниз без начальной скорости, второе — вниз с начальной скоростью, третье — вверх. Что можно сказать об ускорениях этих тел?

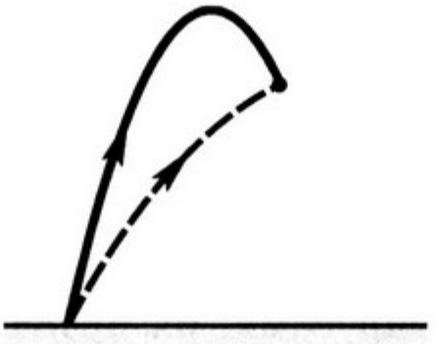
4.43. Тяжелый предмет подвешен на веревке к воздушному шару, равномерно поднимающемуся с некоторой скоростью. Каково будет движение предмета, если веревку перерезать?

4.44. Докажите, что при свободном падении тела пути, пройденные им за равные промежутки времени, относятся друг к другу как последовательный ряд нечетных чисел.

4.45. Из одной точки падают без начальной скорости два тела с интервалом времени t секунд. Как движутся эти тела относительно друг друга в полете?

4.46. Как можно было бы определить, с какой скоростью вылетают камни из кратера при извержении вулкана?

4.47. Воздушную цель можно поразить, пуская снаряд по навесной траектории (сплошная линия на рисунке) или по настильной (штриховая линия). Однако на практике при зенитной стрельбе используют только один вид траектории. Какой именно? Поясните свой ответ.



4.48. На Луне устроили фейерверк. Запущенный вертикально вверх снаряд, поднявшись на максимальную высоту, разлетелся на множество светящихся точек, летящих во всевозможных направлениях с одинаковой по модулю начальной скоростью v_0. Как будут изменяться со временем размеры и форма светящегося облака?

Решите и запишите

4.49. Тело, подброшенное вертикально вверх, дважды побывало в некоторой точке. Докажите, что: а) модуль скорости

тела в обоих случаях одинаков; б) на прохождение любого отрезка траектории вверх и вниз затрачено одинаковое время.

4.50. Тело падает без начальной скорости с высоты 100 м. За какое время тело проходит первый и последний метры своего пути? Какой путь проходит тело за первую секунду своего движения? за последнюю?

4.51. С каким промежутком времени оторвались от крыши две капли, если спустя 2 с после начала падения второй капли расстояние между каплями равно 25 м?

4.52. Два тела брошены вертикально вверх из одной и той же точки с одинаковой начальной скоростью $v_0 = 19{,}6$ м/с с промежутком времени $\tau = 0{,}5$ с. Через какое время t после бросания второго тела и на какой высоте h тела встретятся?

4.53. Лифт начинает подниматься с ускорением $a = 2{,}2$ м/с^2. Когда его скорость достигла $v = 2{,}4$ м/с, с потолка кабины лифта оторвался болт. Чему равны время t падения болта и перемещение болта относительно Земли за это время? Высота кабины лифта $H = 2{,}5$ м.

4.54. Тело начинает свободно падать с высоты $H = 45$ м. В тот же момент из точки, расположенной на высоте $h = 24$ м, бросают другое тело вертикально вверх. Оба тела падают на землю одновременно. Найдите начальную скорость v_0 второго тела.

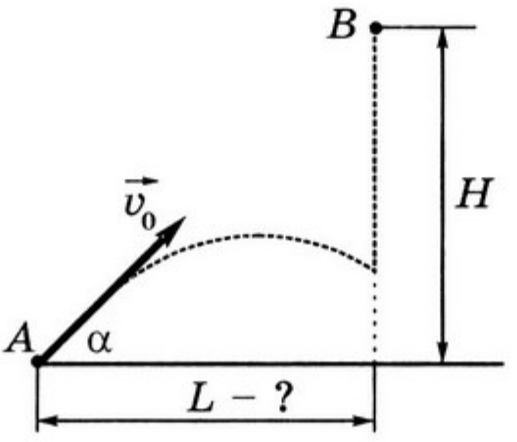
4.55. С высоты H на горизонтальную плиту падает шарик. Постройте графики зависимости от времени проекции скорости v_y (ось y направлена вверх) и высоты шарика. Соударения считайте упругими, их продолжительностью можно пренебречь.

4.56. Два тела начали падать с одной и той же высоты, одно вслед за другим через 2 с. Через какое время от начала падения первого тела расстояние между телами будет 20 м?

4.57. Тело, брошенное вертикально вверх, побывало на высоте h дважды с промежутком времени 2 с. Найдите начальную скорость бросания и время всего движения.

4.58. Из точки B свободно падает тело. Одновременно из точки A под углом α к горизонту бросают другое тело так, что-

бы оба тела столкнулись в воздухе (см. рисунок). Покажите, что угол α не зависит от начальной скорости v_0 тела, брошенного из точки A, и определите этот угол, если $\frac{H}{L} = \sqrt{3}$.



4.59. С крыши дома высотой 32 м через одинаковые промежутки времени падают капли воды от тающей сосульки. Первая капля ударяется о землю тогда, когда пятая только отрывается от крыши. Определите расстояния между каплями в момент, когда первая капля ударяется о землю.

4.60. Тело, брошенное вертикально вверх со скоростью v_0, проходит в первую секунду движения половину высоты подъема. Какой путь пройдет тело в последнюю секунду падения?

4.61. Тело брошено с начальной скоростью $v_0 = 20$ м/с под углом $\alpha = 30°$ к горизонту. Сколько времени длится полет? На каком расстоянии от места бросания упадет тело? При каком значении угла α дальность полета будет наибольшей? Найдите уравнение траектории тела.

4.62. Футболист бьет по футбольному мячу, лежащему на расстоянии $l = 10$ м от высокой стены; мяч приобретает скорость $v_0 = 15$ м/с под углом $\alpha = 45°$ к горизонту. Когда происходит удар мяча о стену — при подъеме или падении? Чему равна высота h и скорость v мяча при этом ударе? Где упадет мяч? Считайте, что при ударе мяча о стену вертикальная составляющая скорости не изменяется, а горизонтальная — изменяет знак. Траектория мяча лежит в плоскости, перпендикулярной стене.

4.63. Мячик, скатываясь с лестницы, имел горизонтальную начальную скорость 1,9 м/с. И высота, и ширина каждой ступеньки равны 25 см. О какую по счету ступеньку ударится мячик впервые?

О-13. Выпущенный вертикально вверх снаряд разорвался в верхней точке траектории на множество мелких осколков, разлетающихся с одинаковой по модулю начальной скоростью v_0 в разные стороны. Как будет меняться со временем форма «облака» из осколков?

О-14. Муха заметила на столе каплю меда, пролетая точно над ней горизонтально со скоростью v_0 на высоте H. Как надо двигаться мухе, чтобы как можно быстрее добраться до меда? Сколько времени t для этого понадобится? Считайте, что муха способна развивать в любом направлении ускорение a.

О-15. Два тела падают без начальной скорости с одной и той же высоты H. На пути второго тела находится расположенная под углом 45° к горизонту площадка. При ударе о площадку составляющая скорости тела, перпендикулярная площадке, изменяет знак, а составляющая, параллельная площадке, остается неименной. Какое тело падало дольше? У какого тела больше конечная скорость? На какой высоте надо разместить площадку, чтобы второе тело упало как можно позже?

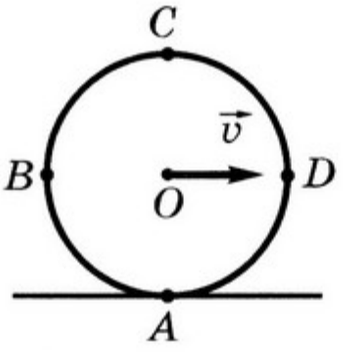
О-16. Когда шарик, падающий с вершины башни, пролетел l метров, другой шарик начал падать из точки, расположенной на h метров ниже вершины. Чему равна высота башни, если шарики упали одновременно?

5. РАВНОМЕРНОЕ ДВИЖЕНИЕ ПО ОКРУЖНОСТИ

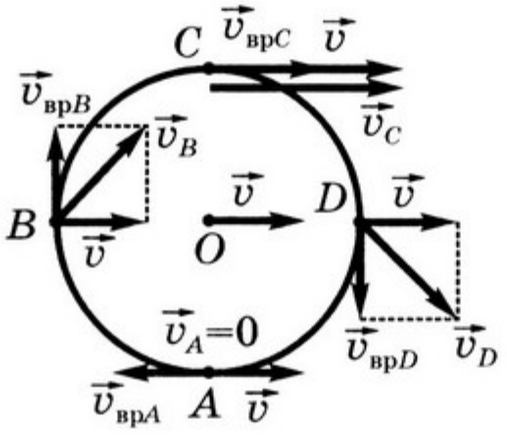
$$T = \frac{2\pi r}{v},\ \nu = \frac{1}{T},\ \omega = \frac{2\pi}{T},\ v = \omega r,\ a = \frac{v^2}{r}$$

Пример решения задачи

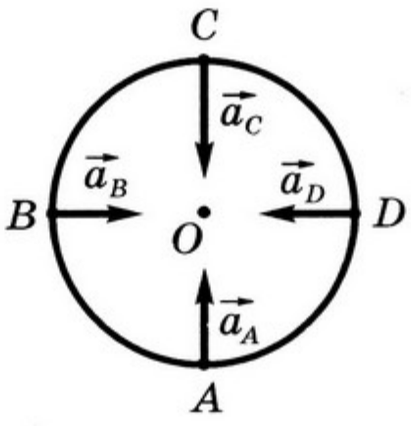
Обруч радиусом R катится без проскальзывания со скоростью v по горизонтальной дороге. Каковы модули и направления скоростей и ускорений точек A, B, C и D относительно дороги?



Решение. Катящийся обруч участвует одновременно в двух движениях: движется поступательно со скоростью $\vec{v}$ и при этом вращается относительно своего центра со скоростью $v_{вр}$. Скорости поступательного и вращательного движений точек A, B, C и D показаны на рисунке ниже. Поскольку обруч катится *без проскальзывания*, точка обруча A, соприкасающаяся в данный момент с дорогой, имеет скорость, равную *нулю*. Отсюда следует, что скорость поступательного движения равна по модулю скорости вращательного движения: $v = v_{вр}$. Поэтому скорость точки C вдвое больше скорости поступательного движения и направлена также горизонтально. Скорости же точек B и D равны по модулю $v\sqrt{2}$ и направлены под углом 45° к горизонту: скорость точки B — под углом вверх, а скорость точки D — под углом вниз.



Поскольку поступательное движение происходит с постоянной скоростью $\vec{v}$, т. е. без ускорения, все точки обруча имеют одинаковое по модулю ускорение $a = \frac{v^2}{R}$, обусловленное только вращением обруча и направленное к его центру.



Средний уровень

Решите устно

5.1. Автомобиль движется по криволинейной траектории с постоянной по модулю скоростью. Можно ли утверждать, что его ускорение в этом случае равно нулю?

5.2. Изменяется ли ускорение тела по модулю при равномерном движении по окружности?

5.3. Как направлена мгновенная скорость при криволинейном движении?

5.4. Каковы основные характеристики равномерного движения по окружности? Какие соотношения существуют между ними?

5.5. По какой линии полетит камень, вращающийся на нити, если нить внезапно оборвется?

5.6. Является ли линейная скорость постоянной величиной при равномерном движении тела по окружности?

Решите и запишите

5.7. Скорость крайних точек абразивного круга 94,2 м/с. Определите период вращения круга, если его диаметр 300 мм.

5.8. Найдите линейную скорость Земли при ее орбитальном движении. Средний радиус земной орбиты примите равным $1{,}5 \cdot 10^8$ км.

5.9. Тело движется по окружности радиусом 12 м с центростремительным ускорением 3 м/с^2. Определите модуль его скорости.

5.10. Автомобиль движется по закруглению дороги радиусом 100 м со скоростью 54 км/ч. Чему равно центростремительное ускорение автомобиля?

5.11. Шарик движется по окружности радиусом 3 м с постоянной по модулю скоростью так, что полный оборот он совершает за 10 с. Определите его скорость и ускорение.

5.12. Во сколько раз скорость конца минутной стрелки башенных часов больше скорости конца минутной стрелки наручных часов, если длина стрелки башенных часов 1,5 м, а длина стрелки наручных часов 1,5 см?

Достаточный уровень

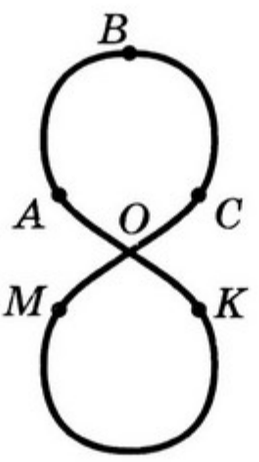
Решите устно

5.13. Гусеничный трактор движется со скоростью 9 км/ч. С какой скоростью относительно грунта движется его гусеница в ее верхней и нижней частях?

5.14. Сверху заднего колеса велосипеда устанавливают крыло, защищающее велосипедиста от слетающей с колеса грязи. Почему возможно попадание этой грязи на велосипедиста, ведь колесо и велосипедист движутся с одинаковой скоростью?

5.15. Почему верхние спицы катящегося колеса иногда сливаются для глаз, в то время как нижние видны раздельно?

5.16. Велосипедист делает «восьмерку» (см. рисунок). Как изменяется ускорение во время этого движения? Движение считайте равномерным.



5.17. Почему скорость обтачивания на токарном станке изделий большего диаметра меньше, чем при обтачивании изделий меньшего диаметра?

5.18. В каком направлении отлетают искры при заточке сверла на вращающемся точильном камне? Ответ поясните.

Решите и запишите

5.19. Автомобиль движется со скоростью 72 км/ч. Какова частота вращения колес, если они катятся по шоссе без проскальзывания, а внешний диаметр покрышек колес равен 60 см?

5.20. Диск диаметром 50 см равномерно перекатывают на расстояние 2 м за 4 с. Какова угловая скорость вращения диска?

5.21. Найдите радиус вращающегося колеса, если известно, что линейная скорость точки, лежащей на ободе колеса, в 2,5 раза больше линейной скорости точки, лежащей на 5 см ближе к оси колеса.

5.22. С какой скоростью должен лететь самолет вдоль экватора, чтобы пассажиры наблюдали «вечный полдень» (т. е. чтобы Солнце для них стояло все время в зените)? Радиус земли R примите равным 6400 км.

5.23. Во время полярного лета полярник решил совершить обход полюса пешком, идя «вслед за солнцем». По окружности какого радиуса должен идти полярник, если он идет со скоростью 4 км/ч?

5.24. Найдите скорость v и ускорение a точки земной поверхности, находящейся на широте 50°, за счет суточного вращения Земли. Радиус Земли $R = 6400$ км.

5.25. Определите центростремительное ускорение точек земной поверхности на экваторе, на широте 45° и на полюсе, вызванное суточным вращением Земли.

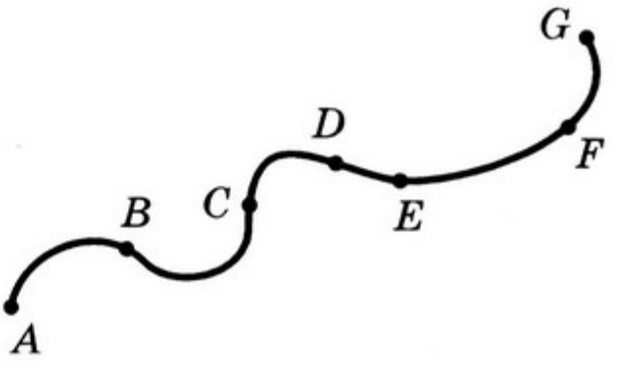
Высокий уровень

Решите устно

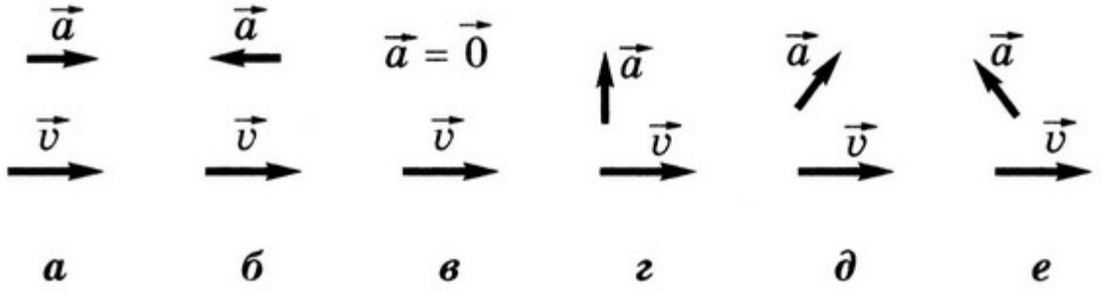
5.26. Тела 1 и 2 движутся по окружностям радиусами r_1 и r_2, причем $r_1 > r_2$. Ускорение какого тела больше, если: а) скорости тел одинаковы? б) периоды обращения одинаковы?

5.27. Скорость отдельных частей колец Сатурна не пропорциональна их расстоянию до оси вращения, проходящей через центр планеты. Что можно сказать о структуре колец по результатам этих астрономических наблюдений?

5.28. Тело равномерно движется по траектории, показанной на рисунке. На каких участках траектории его ускорение максимально? минимально?

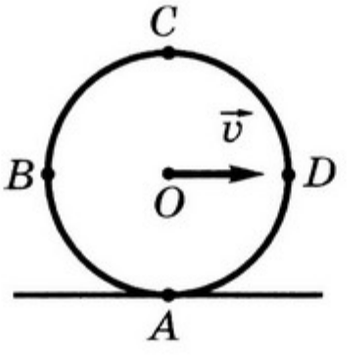


5.29. На рис. *а—е* показаны направления скорости и ускорения тел. Как *изменяются* модули и направления скоростей этих тел?



5.30. * Одинаковое ли расстояние проходят правые и левые колеса автомобиля на повороте дороги?

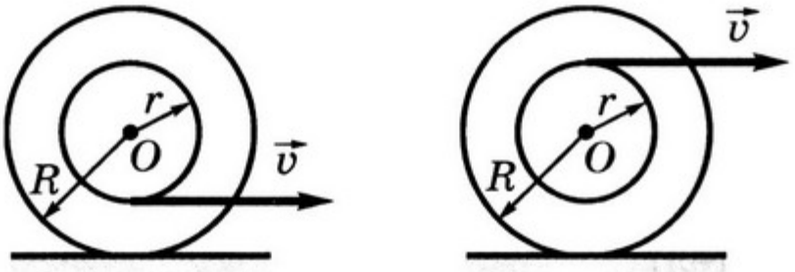
5.31. Диск радиусом R катится без проскальзывания со скоростью v по горизонтальной дороге. Какие точки диска имеют ту же по модулю скорость, что и центр диска O?



Решите и запишите

5.32. Пропеллер самолета радиусом 1,5 м вращается при посадке с частотой 2000 мин$^{-1}$. Посадочная скорость самолета относительно Земли равна 162 км/ч. Определите скорость точки на конце пропеллера. Какова траектория движения этой точки?

5.33. Катушка с нитью лежит на горизонтальном столе и может катиться по нему без проскальзывания. Внутренний радиус катушки r, внешний R. С какой скоростью $\vec{u}$ будет перемещаться ось катушки, если конец нити тянуть в горизонтальном направлении со скоростью $\vec{v}$? Рассмотрите два случая (см. рис. *а* и *б*).



а *б*

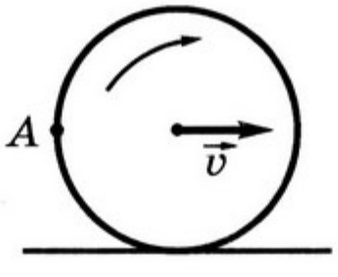
5.34. Диск радиусом 20 см катится без проскальзывания по горизонтальной дороге со скоростью 1 м/с. Каковы модули и направления скоростей и ускорений точек A, B и C относительно дороги?

5.35. Гладкий диск радиусом R, плоскость которого горизонтальна, вращается вокруг своей оси. От поверхности диска отрывается небольшое тело, которое без трения скользит по нему. На каком расстоянии от оси оторвалось тело, если за время, пока оно соскальзывало с диска, диск сделал полный оборот?

5.36. Гайку закручивают на болт за время τ. Длина болта l, резьба составляет угол α с плоскостью гайки. Найдите угловую скорость гайки, если радиус болта равен R.

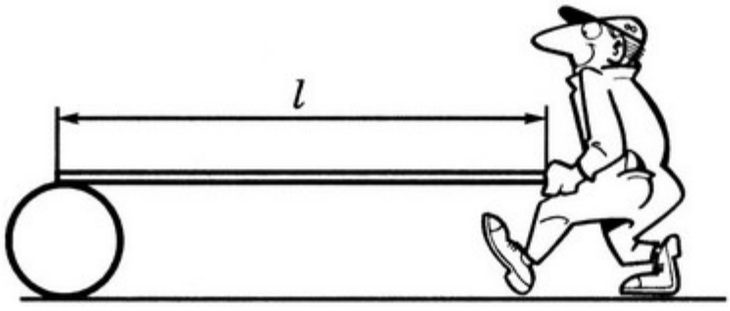
Олимпиадные задачи

О-17. С какой скоростью v должен ехать автомобиль, чтобы сорвавшийся с его колеса в точке A камешек (см. рисунок) попал в ту же точку колеса, от которой оторвался? Радиус колеса $R = 20$ см.



О-18. Между сдвоенными шинами заднего колеса грузовика застрял камешек. На каком расстоянии от грузовика должен ехать следующий за ним автомобиль, чтобы этот камешек, сорвавшись, не причинил ему вреда? Оба автомобиля едут со скоростью 90 км/ч.

О-19. Человек держит один конец горизонтальной доски длиной l, а другой ее конец лежит на катящемся по полу цилиндре (см. рисунок). Цилиндр катится без проскальзывания; отсутствует также скольжение доски по цилиндру. Какое расстояние пройдет человек, пока достигнет цилиндра, если длина доски равна l?



О-20. Тело бросают со скоростью v_0 под углом α к горизонту. Каков радиус r кривизны траектории: а) в верхней точке; б) в точке бросания; в) через время t после броска?

О-21. Точка обода колеса радиусом R при качении без проскальзывания движется по циклоиде. Каков радиус кривизны циклоиды в верхней точке?

О-22. С какой скоростью должен лететь горизонтально самолет на широте Санкт-Петербурга ($\varphi = 60°$), чтобы летчик видел Солнце все время на юге? Считайте радиус Земли равным 6400 км.

ДИНАМИКА

Принцип суперпозиции сил. Законы динамики. Инерциальные системы отсчета. Принцип относительности Галилея. *Пространство и время в классической механике.*

Силы в механике: тяжести, упругости, трения. Закон всемирного тяготения. Вес и невесомость. Момент силы. Условия равновесия твердого тела.

6. ЗАКОНЫ НЬЮТОНА

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

Пример решения задачи

В кабине лифта находится человек массой 80 кг. Каким будет его вес в тот момент, когда скорость лифта направлена вверх и равна 1 м/с, а ускорение направлено вниз и равно 1,8 м/с^2?

Дано:
$\upsilon = 1$ м/с
$a = 1{,}8$ м/с^2
$m = 80$ кг

P — ?

Решение.
Второй закон Ньютона для тела, покоящегося относительно лифта, имеет вид $\vec{N} + m\vec{g} = m\vec{a}$, где $\vec{N}$ — сила реакции опоры.
В проекции на ось y получаем $N - mg = -ma$, откуда $N = m(g - a)$. Согласно третьему закону Ньютона вес тела $\vec{P}$ (сила, с которой тело давит на опору) равен по модулю и противоположен по направлению силе реакции опоры $\vec{N}$. Поэтому $P = N = m(g - a) = 640$ Н. Таким образом, вес тела уменьшается, когда ускорение тела направлено вниз. Когда же ускорение направлено вверх, $P = m(g + a) > mg$, т. е. вес тела увеличивается. Модуль скорости и ее направление значения не имеют.

Ответ. 640 Н.

Средний уровень

Решите устно

6.1. Приведите примеры проявления инерции в природе и технике.

6.2. Почему пассажиров «толкает вперед» при резком торможении транспорта?

6.3. На горизонтальном участке пути маневровый тепловоз толкнул вагон. Какие тела действуют на вагон во время и после толчка? Как будет двигаться вагон под действием этих тел?

6.4. При каком условии теплоход, плывущий против течения, будет иметь постоянную скорость?

6.5. Почему шкаф с книгами бывает невозможно сдвинуть с места?

6.6. Почему иногда бывает так: двигатель работает, а автомобиль движется равномерно?

6.7. Тело свободно падает без начальной скорости. Как направлены скорость тела и действующая на него сила? Как направлено ускорение тела? Как изменяется скорость тела — увеличивается или уменьшается?

6.8. Тело брошено вертикально вверх. Как направлены скорость тела и действующая на него сила при подъеме тела? Как направлено ускорение тела? Как изменяется скорость тела — увеличивается или уменьшается?

6.9. Почему нагруженный автомобиль на булыжной мостовой движется более плавно, чем тот же автомобиль без груза?

6.10. Почему дальность полета артиллерийского снаряда зависит от длины ствола орудия?

6.11. Мяч ударяется в оконное стекло. На какое из тел (мяч или стекло) действует при ударе бóльшая сила?

6.12. Лежащая на столе книга давит на него с некоторой силой. Стол действует на книгу с такой же силой, направленной вверх. Можно ли найти равнодействующую этих сил?

6.13. Сила 10 Н действует на тело массой 500 г. Какая сила сообщит такое же ускорение телу массой 3 кг?

6.14. Тело массой 400 г приобретает под действием некоторой силы ускорение 1,5 м/с^2. Какое ускорение приобретет под действием этой же силы тело массой 1,2 кг?

Решите и запишите

6.15. Некоторая сила сообщает пустой тележке ускорение 1,5 м/с^2, а груженой тележке — 0,5 м/с^2. Во сколько раз масса груза отличается от массы тележки?

6.16. Сила 40 Н сообщает телу ускорение 0,6 м/с^2. Какая сила сообщит этому же телу ускорение 1,8 м/с^2?

6.17. Проекция скорости тела на направление его движения изменяется по закону $\upsilon_x = 1{,}2t$. Найдите проекцию силы на это направление, если масса тела 1,5 кг.

6.18. Проекция скорости автомобиля изменяется по закону $\upsilon_x = 8 - 2t$. Найдите результирующую силу, действующую на автомобиль, если масса автомобиля равна 2 т.

6.19. К телу массой 2,5 кг приложены две силы, направленные под углом 90° друг к другу, модули которых соответственно равны 3 Н и 4 Н. Каково ускорение тела?

6.20. Скорость материальной точки изменяется по закону $\upsilon_x = 0{,}5 + 4t$ под действием силы, проекция которой $F_x = 8$ Н. Какова масса материальной точки?

Достаточный уровень

Решите устно

6.21. Если закон инерции выполняется в некоторой системе отсчета, будет ли он выполняться в другой системе отсчета, которая движется относительно данной *поступательно, прямолинейно и равномерно*?

6.22. При повороте трамвая пассажира, сидящего лицом по ходу движения, «прижало» правым плечом к стенке вагона. В какую сторону повернул трамвай?

6.23. На брусок, лежащий на столе, поставили гирю. Почему брусок сохраняет состояние покоя, хотя на него действует вес гири?

6.24. В какую сторону может упасть споткнувшийся человек: вперед или назад?

6.25. Почему морские суда (танкеры), предназначенные для перевозки нефти, разделены перегородками на отдельные отсеки — танки?

6.26. Если прицепить к пассажирскому поезду груженый товарный вагон, ход поезда становится более плавным. Почему?

6.27. Почему машинист старается не останавливать поезд на подъеме?

6.28. Почему парашют бесполезен при прыжке с малой высоты?

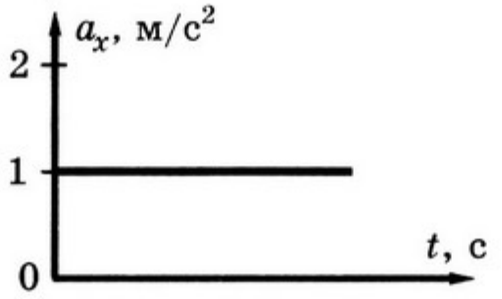
6.29. Одинаково ли сжимаются буфера при столкновении двух одинаковых вагонов? при столкновении груженого и порожнего вагонов?

6.30. Крейсер при столкновении с маленьким пароходом может потопить его почти без всяких для себя повреждений. Не противоречит ли это третьему закону Ньютона?

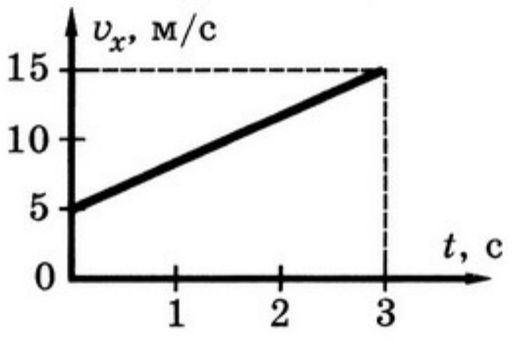
6.31. На весах уравновешен неполный сосуд с водой. Нарушится ли равновесие весов, если в воду опустить палец так, чтобы он не касался дна и стенок сосуда?

Решите и запишите

6.32. На рисунке изображен график изменения проекции ускорения тела, движущегося под действием силы 20 Н. Определите массу тела.



6.33. На рисунке изображен график изменения проекции скорости тела массой 3 кг. Определите проекцию силы, действующей на это тело.



6.34. Покоящаяся хоккейная шайба массой 250 г после удара клюшкой, длящегося 0,02 с, скользит по льду со скоростью 30 м/с. Определите среднюю силу удара.

6.35. Найдите проекцию силы, действующей на тело массой 5 кг, если тело движется прямолинейно и его координата изменяется по закону $x = 10 + 2t + t^2$.

6.36. Самолет массой 30 т касается посадочной полосы при скорости 144 км/ч. Какая сила действует на самолет при торможении, если самолет до остановки пробегает по полосе 800 м?

6.37. Груз массой 50 кг поднимают вертикально вверх при помощи каната в течение 2 с на высоту 5 м. Начальная скорость груза была равна нулю. С какой силой действует канат на груз, если движение груза равноускоренное?

6.38. В каком случае сила натяжения каната будет больше: 1) два человека тянут канат за концы с силами F, равными по модулю, но противоположными по направлению; 2) один конец каната прикреплен к стене, а другой конец человек тянет с силой $2F$?

Высокий уровень

Решите устно

6.39. Изменяется ли при переходе из одной инерциальной системы отсчета в другую перемещение тела? путь? скорость? ускорение? Изменяются ли эти величины при переходе из инерциальной системы отсчета в неинерциальную?

6.40. Вы играете в пятнашки. Почему вам трудно поймать партнера, который сворачивает то в одну, то в другую сторону?

6.41. Почему бегущий человек, стремясь быстро и круто обогнуть столб или дерево, обхватывает его рукой?

6.42. На шайбу во время игры постоянно действует то лед, то клюшка, то перчатка вратаря, то борт, то сетка ворот... В какие моменты сила — наибольшая, в какие — наименьшая? Почему вы так решили?

6.43. Давление пороховых газов на снаряд в канале ствола орудия достигает 35 МПа. За счет этого снаряд приобретает начальную скорость около 10 км/с. Тем не менее, огнестрельное орудие оказалось непригодным для запуска космических кораблей: для этого используют ракеты. Почему?

6.44. Почему удар молотом по тяжелой наковальне, положенной на грудь циркового артиста, оказывается безопасным для человека, а такой же удар непосредственно по телу может убить?

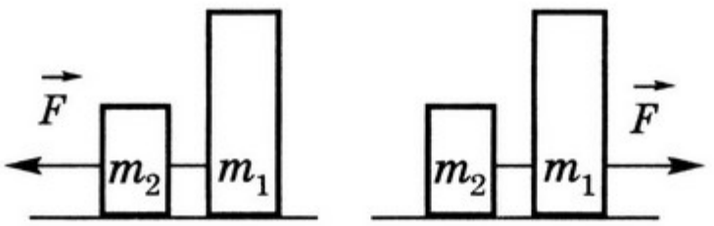
6.45. Через неподвижный блок перекинута веревка. На одном конце веревки, держась руками, висит человек, а на другом — груз. Вес груза равен весу человека. Что произойдет, если человек будет на руках подтягиваться вверх по веревке? Весом блока и веревки, а также трением можно пренебречь.

6.46. Можно ли привести в движение лодку, упираясь в мачту?

6.47. Человек, стоя на платформе весов, быстро приседает и выпрямляется. Как изменяются показания весов во время этого движения?

6.48. Лошадь тянет груженую телегу. По третьему закону Ньютона сила, с которой лошадь тянет телегу, равна силе, с которой телега тянет лошадь. Почему же все-таки телега движется за лошадью?

6.49. В каком случае сила натяжения нити между брусками больше, если $m_1 > m_2$? Считайте, что трением можно пренебречь.



а *б*

Решите и запишите

6.50. Тело массой 400 г, двигаясь прямолинейно с некоторой начальной скоростью, за 5 с под действием силы 0,6 Н приобрело скорость 10 м/с. Найдите начальную скорость тела.

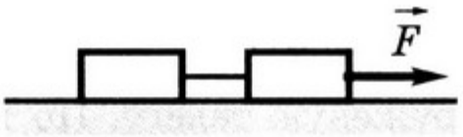
6.51. Тело массой 400 г соскальзывает с наклонной плоскости длиной 80 см, имея начальную скорость 2 м/с. Определите, какую скорость имело тело в конце наклонной плоскости, если равнодействующая всех сил, действующих на тело, равна 1,25 Н.

6.52. На однородный стержень длиной l действуют две растягивающие силы $\vec{F}_1$ и $\vec{F}_2$, приложенные к его концам. С какой силой F растянут стержень в сечении, находящемся на расстоянии x от точки приложения силы $\vec{F}_1$?

6.53. В вагоне поезда, идущего со скоростью $v = 72$ км/ч, взвешивают на пружинных весах тело массой $m = 5{,}0$ кг. Найдите показание P пружинных весов, когда поезд движется по закруглению радиусом $R = 400$ м.

6.54. На гладком столе лежат два связанных бруска (см. рисунок) массами $m_1 = 400$ г и $m_2 = 600$ г. К одному из них

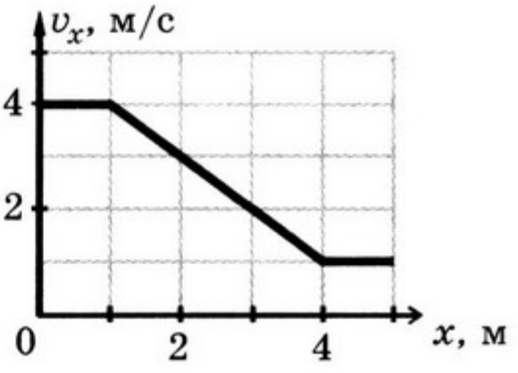
приложена горизонтальная сила $F = 2$ Н. Найдите силу T натяжения нити, если сила приложена: а) к первому бруску; б) ко второму бруску.



6.55. С какой силой P давит гонщик на кресло гоночного автомобиля на вираже, если масса гонщика $m = 70$ кг, скорость автомобиля $v = 200$ км/ч, радиус закругления дороги $R = 50$ м? Во сколько раз эта сила превосходит вес покоящегося гонщика?

6.56. На тело действуют три силы, равные по модулю. В результате тело остается в покое. Что можно сказать о направлении этих сил?

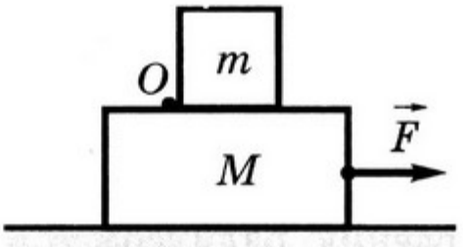
6.57. Тело массой 2 кг движется по прямой. График зависимости его скорости от координаты приведен на рисунке. Найдите модуль силы, действующей на тело в точке с координатой $x = 3$ м.



Олимпиадные задачи

О-23. Какие капли дождя падают быстрее — крупные или мелкие?

О-24. Брусок массой M находится на гладком горизонтальном столе, по которому он может двигаться без трения. На бруске стоит куб массой m, упирающийся в небольшой выступ O (см. рисунок). При каком минимальном значении модуля силы $\vec{F}$, приложенной к бруску, нижняя грань куба оторвется от бруска?



7. СИЛА УПРУГОСТИ. СИЛА ТРЕНИЯ

$$F_x = -kx,\ F_{тр} = \mu N$$

Пример решения задачи

1. Какова жесткость системы из двух пружин, соединенных: а) последовательно; б) параллельно? Жесткости пружин — k_1 и k_2.

Решение. Жесткость упругой системы определяется из соотношения $F = kx$, где F — сила упругости, а x — модуль *общего* удлинения системы.

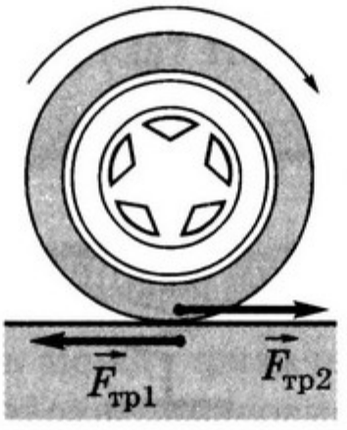
а) При последовательном соединении *каждая* из пружин растягивается силой F. Полное удлинение системы $x = x_1 + x_2$, т. е. $F/k = F/k_1 + F/k_2$. Отсюда $k = k_1k_2/(k_1 + k_2)$. Заметим, что в этом случае жесткость системы меньше, чем жесткость любой из пружин этой системы.

б) При параллельном соединении пружин $x = x_1 = x_2$, $F = F_1 + F_2$. Здесь x_1, x_2 — удлинения пружин, а F_1, F_2 — создаваемые этими пружинами силы упругости. Отсюда $k = F/x = (F_1 + F_2)/x = k_1 + k_2$.

2. Может ли сила трения разгонять тело?

Решение. Сила трения покоя часто «передает» механическое движение от одних тел к другим.

Например, сила трения покоя «разгоняет» автомобили. Колесо автомобиля, вращаясь, толкает землю *назад*, действуя на нее *силой трения покоя*, — ведь нижняя точка колеса *покоится* относительно дороги, если колесо катится без проскальзывания. При этом земля, согласно третьему закону Ньютона, толкает колесо (а вместе с ним и автомобиль, соединенный с колесом) *вперед*.



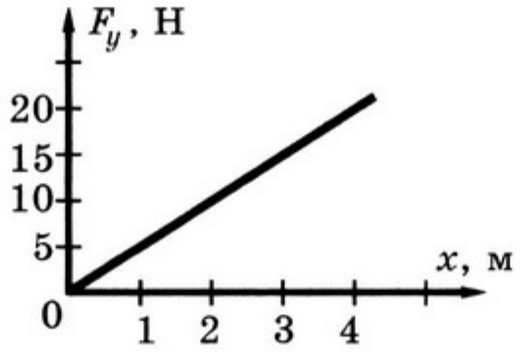
Решите устно

7.1. Когда возникает сила упругости?

7.2. Как по величине деформации тела можно судить о величине силы упругости?

7.3. Когда к резиновому шнуру подвесили гирю, он удлинился. Назовите силы взаимодействия. К каким телам приложены эти силы?

7.4. На рисунке приведен график зависимости величины силы упругости от деформации x. Чему равна при этом жесткость пружины?



7.5. Приведите примеры, когда трение вредно и когда полезно.

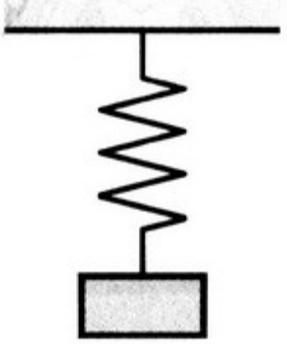
7.6. Назовите известные вам способы уменьшения трения; увеличения трения.

7.7. Почему шелковый шнурок развязывается чаще, чем шерстяной?

7.8. Может ли сила трения, действующая на тело, находящееся на наклонной плоскости, быть направлена вниз вдоль плоскости?

Решите и запишите

7.9. Укажите направление силы упругости, действующей на тело, изображенное на рисунке. К чему приложена сила упругости?



7.10. Упавший на пол мяч отскочил вверх. Какие силы действовали на мяч, когда он падал и когда отскочил? Изобразите их на рисунке. Почему мяч с проколом не отскакивает?

7.11. Чему равна жесткость пружины, если под действием силы 2 Н она растянулась на 4 см?

7.12. Когда длина дверной пружины увеличилась на 0,12 м, сила упругости пружины составила 4 Н. При каком удлинении пружины сила упругости равна 10 Н?

7.13. Две пружины равной длины, соединенные последовательно, растягивают за свободные концы. При этом первая пружина жесткостью 100 Н/м удлинилась на 5 см. Какова жесткость второй пружины, если ее удлинение равно 1 см?

7.14. При действии силы 10 кН стальная проволока удлиняется на 2 мм. Под действием какой силы проволока удлинится на 1,6 мм?

7.15. Брусок тянут по столу, прикладывая горизонтальную силу 1 Н. Какова масса бруска, если он движется равномерно и коэффициент трения между бруском и столом равен 0,2?

7.16. Ящик с деталями весит 500 Н. Какая сила требуется для равномерного перемещения этого ящика по горизонтальному полу, если сила трения составляет 0,05 веса ящика?

7.17. При помощи динамометра ученик перемещал равномерно деревянный брусок массой 200 г по горизонтально расположенной доске. Каков коэффициент трения, если динамометр показывал 0,6 Н?

7.18. Тело массой 2 кг лежит на наклонной плоскости, образующей угол 30° с горизонтом. Чему равна сила трения покоя, если коэффициент трения покоя 0,6? Растет или убывает она с ростом угла? Почему?

Достаточный уровень

Решите устно

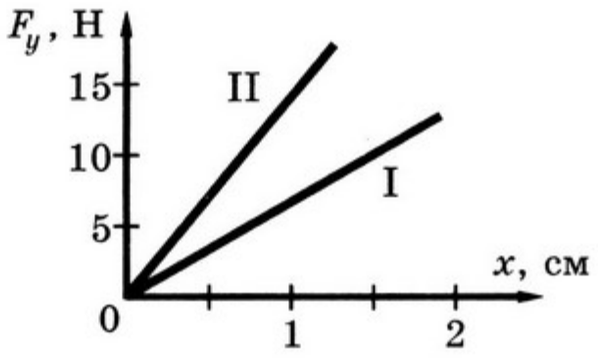
7.19. Какую зависимость между физическими величинами иллюстрирует монгольская пословица: «Натягивай лук по расстоянию до цели?»

7.20. Может ли тело двигаться равномерно по окружности под действием силы упругости? Какие условия должны быть выполнены для этого?

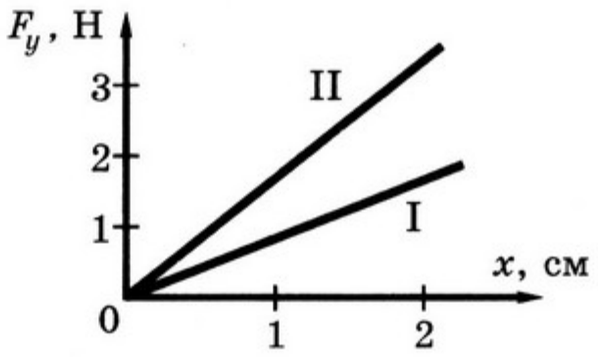
7.21. Если трение вдруг внезапно исчезнет, что вы будете кричать: «Ура!» или «Караул!»? Объясните свой ответ.

7.22. Так ли уж плохо то, что вбитые гвозди очень часто ржавеют?

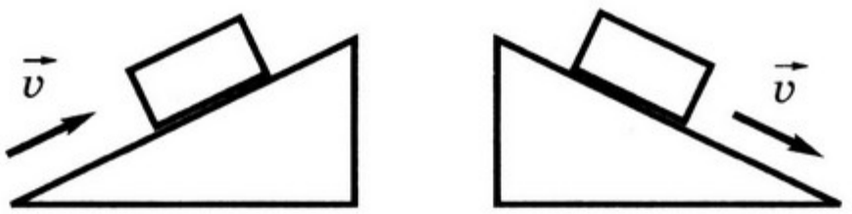
7.23. На рисунке приведены графики зависимости величины силы упругости от величины деформации для двух пружин. Какую из пружин надо растянуть сильнее, чтобы значения сил упругости пружин были одинаковыми?



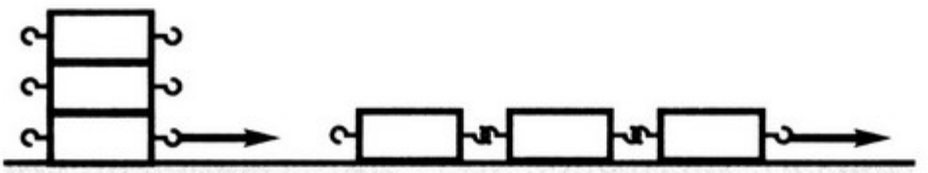
7.24. На рисунке приведены графики зависимости величины силы упругости для двух пружин от величины деформации. На какую из пружин надо повесить более тяжелый груз, чтобы деформация обеих пружин были одинаковой?



7.25. На рисунке изображено тело, движущееся по наклонной плоскости. Вектор скорости тела указан рядом с ним. Какое направление имеют силы трения, действующие на каждое тело?



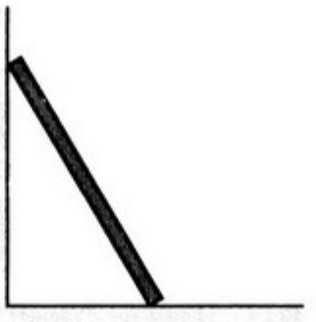
7.26. Одинаковые грузы положены на стол двумя разными способами (см. рисунок). Равны ли силы трения при равномерном движении грузов по поверхности стола?



а *б*

Решите и запишите

7.27. Лестница у стены занимает положение, показанное на рисунке. Изобразите схематически все силы, действующие на лестницу.



7.28. Пружина одним концом прикреплена к бруску массой 0,6 кг, покоящемуся на гладком горизонтальном столе. Свободный конец пружины стали перемещать прямолинейно вдоль стола с ускорением 0,2 м/с^2. Определите жесткость пружины, если последняя при этом растянулась на 2 см. Массой пружины можно пренебречь.

7.29. Каково удлинение горизонтальной пружины жесткостью 50 Н/м, если пружина сообщает тележке массой 500 г ускорение 2 м/с^2?

7.30. Подвешенное на тросе тело массой 10 кг поднимается вертикально вверх. С каким ускорением движется тело, если трос жесткостью 59 кН/м удлинился на 2 мм?

7.31. Бревно массой 60 кг удерживается неподвижно на наклонной плоскости пружиной, один конец которой прикреплен к бревну, а другой — к вершине наклонной плоскости. Определите жесткость пружины, если она удлинилась на 8 см. Трением можно пренебречь. Угол наклона плоскости равен 60°.

7.32. До какой скорости может разогнаться автомобиль за 3 с, если коэффициент трения между шинами и дорогой ра-

вен 0,5? Считайте, что сопротивлением воздуха можно пренебречь.

7.33. Брусок массой 1 кг тянут по горизонтальному столу, прикладывая горизонтальную силу 4 Н. При этом брусок движется с ускорением 1 м/с^2. Каков коэффициент трения между бруском и столом?

7.34. Как зависит тормозной путь автомобиля от его скорости? Найдите тормозной путь, если коэффициент трения между колесами и дорогой равен 0,5, а скорость автомобиля: а) 30 км/ч; б) 90 км/ч. Считайте, что сопротивлением воздуха можно пренебречь.

7.35. Брусок массой 4 кг лежит на столе, коэффициент трения $\mu = 0{,}25$. Какая сила трения действует на брусок, если его тянут в горизонтальном направлении с силой: а) 5 Н; б) 8 Н; в) 15 Н?

Высокий уровень

Решите устно

7.36. Жесткость резинового жгута k. Какова жесткость *половины* этого жгута? Ответ обоснуйте.

7.37. Жесткость резинового жгута k. Какова жесткость того же жгута, сложенного пополам? Ответ обоснуйте.

7.38. На столе стопкой лежат три разных бруска. Чтобы сдвинуть верхний брусок, надо приложить силу 7 Н, а чтобы вытянуть средний, придерживая (но не приподнимая) верхний, надо приложить силу 24 Н. Какую силу надо приложить, чтобы сдвинуть два верхних бруска вместе?

7.39. На столе лежит стопка из 10 одинаковых книг. Что легче: сдвинуть пять верхних или вытянуть из стопки четвертую сверху книгу, придерживая (но не приподнимая) остальные? Ответ поясните.

7.40. Как зависит сила трения покоя от качества поверхностей соприкасающихся тел? Уменьшится ли она до нуля при максимально гладких поверхностях соприкасающихся тел? Поясните свой ответ.

Решите и запишите

7.41. С какой силой надо ладонью прижимать книгу массой 1 кг к стене, чтобы книга не падала, если коэффициент трения

между книгой и стеной равен 0,2, а между книгой и ладонью — 0,3?

7.42. Два одинаковых груза массой по 200 г каждый соединены пружиной, жесткость которой 230 Н/м. На сколько растянется пружина, если за один груз тянуть всю систему вертикально вверх с силой 4,6 Н? Массой пружины можно пренебречь.

7.43. На подставке лежит груз, прикрепленный легкой пружиной к потолку. В начальный момент пружина не растянута. Подставку начинают опускать с ускорением a. Через какое время t груз оторвется от подставки? Жесткость пружины k, масса груза m.

7.44. Стальную деталь массой $M = 100$ кг поднимают из воды при помощи троса, жесткость которого $k = 55$ кН/м, с ускорением $a = 0{,}1$ м/с^2. Найдите удлинение x троса, если плотность стали $\rho_1 = 7800$ кг/м^3, а плотность воды — $\rho_2 = 1000$ кг/м^3. Силой сопротивления можно пренебречь.

7.45. Два груза массами M_1 и M_2, связанные шнуром, лежат на горизонтальной поверхности. Шнур выдерживает силу натяжения T. Коэффициент трения между каждым из грузов и поверхностью равен μ. С какой постоянной силой F можно тянуть первый груз параллельно шнуру, чтобы шнур не разорвался?

7.46. Угол α наклона плоскости постепенно увеличивают от 0 до 90°. На плоскости находится брусок массой m. Коэффициент трения равен μ. Постройте график зависимости силы трения $F_{тр}$ от угла α. Чему равно максимальное значение силы трения F_{max}?

Олимпиадные задачи

О-25. На горизонтальном участке дороги от равномерно движущегося поезда массой $M = 1000$ т оторвался последний вагон массой $m = 40$ т, проехал расстояние $s_в = 200$ м и остановился. Какое расстояние $s_п$ проехал поезд за время торможения вагона? Решите задачу в двух случаях: а) неизменной осталась скорость поезда; б) неизменной осталась сила тяги локомотива. В обоих случаях считайте, что сила сопротивления пропорциональна массе.

О-26. Кирпич массой m лежит на горизонтальной крышке стола. Коэффициент трения между кирпичом и столом равен μ. К кирпичу приложена горизонтальная сила $\vec{F}$.
а) Выразите аналитически и графически зависимость силы трения $F_{тр}$ и ускорения кирпича a от модуля силы $\vec{F}$.
б) Сделайте то же самое, когда сила $\vec{F}$ направлена под углом α к поверхности стола (учитывая случаи $\alpha > 0$ и $\alpha < 0$).

О-27. На диск проигрывателя на расстоянии r от оси положили монету массой m. Диск вращается с частотой n. Коэффициент трения между монетой и диском равен μ. Найдите зависимость силы трения, действующей на монету, от расстояния r.

8. ЗАКОН ВСЕМИРНОГО ТЯГОТЕНИЯ. СИЛА ТЯЖЕСТИ И ВЕС ТЕЛА[1]

$$F = G\frac{m_1 m_2}{R^2}, \quad g = G\frac{M}{R^2}, \quad \vec{F} = m\vec{g}, \quad \vec{P} = m(\vec{g} - \vec{a})$$

Пример решения задачи

Во сколько раз надо было бы увеличить скорость суточного вращения Земли, чтобы на экваторе ощущалась невесомость? Не будет ли от этого каких-либо неприятных побочных эффектов?

Решение. Невесомость на экваторе будет наблюдаться в случае, если центростремительное ускорение находящихся на экваторе тел равно ускорению свободного падения, то есть при $a = g$. Поскольку $a = \dfrac{4\pi^2 R_з}{T^2}$ (здесь T — продолжительность суток), получаем $T = 2\pi\sqrt{R_з/g}$.

Отсюда $T = 1$ ч 25 мин (что, естественно, совпадает с периодом обращения спутника по близкой к Земле орбите, так как центростремительное ускорение такого спутника обеспечивается силой тяжести). Значит, сутки следует укоротить в $n = T_0/T = 17$ раз (здесь $T_0 = 24$ ч).

Побочные эффекты будут довольно неприятными: например, Земля быстро потеряет атмосферу. Дело в том, что атмосфера из-за трения о Землю тоже начнет быстро вращаться, и в результате экваториальные воздушные массы смогут преодолеть земное тяготение. Возникнут мощные воздушные потоки от полюсов к экватору, а от экватора — в открытый космос.

Средний уровень

Решите устно

8.1. Как изменится сила притяжения между двумя материальными точками, если: а) масса одной из них удвоится; б) масса каждой материальной точки удвоится; в) масса каждой из них утроится?

[1] Если ускорение тела не оговорено, считается, что в инерциальной системе отсчета оно равно нулю.

8.2. Как изменится сила притяжения между двумя материальными точками, если расстояние между ними: а) удвоится; б) уменьшится вдвое; в) утроится?

8.3. Почему мы не замечаем гравитационного притяжения между окружающими нас телами?

8.4. Как двигались бы планеты, если бы сила притяжения Солнца внезапно исчезла?

8.5. Изменится ли заметно сила тяжести, действующая на самолет, во время его полета? Самолет летит вдоль одной параллели на постоянной высоте.

8.6. Имеют ли вес жидкости и газы, находящиеся в покое на поверхности Земли?

8.7. Действует ли сила тяжести на летящую в воздухе ласточку?

8.8. Спортсмен прыгает в длину и после толчка движется по параболе. В какой точке траектории он находится в состоянии невесомости?

Решите и запишите

8.9. Оцените, с какой силой притягиваются два человека массой 60 кг каждый, находясь на расстоянии 1 м друг от друга.

8.10. Оцените, с какой силой притягиваются два вагона массой 80 т каждый, если расстояние между ними 1 км.

8.11. Вычислите значение ускорения свободного падения на поверхности Луны и Солнца. Примите $R_{Л} = 1700$ км, $R_{С} = 700\,000$ км, $M_{Л} = 7{,}3 \cdot 10^{19}$ т, $M_{С} = 2{,}0 \cdot 10^{27}$ т.

8.12. Тело массой 10 кг висит на нити. Чему равны сила тяжести, действующая на тело, и вес тела? К чему приложена каждая из этих сил? Изобразите эти силы на чертеже. Чему будут равны вес тела и сила тяжести, если нить перерезать?

8.13. Какая сила тяжести действует на стальной брусок размером 2×5×10 см?

8.14. Сколько весит бензин объемом 15 л?

8.15. Сосуд объемом 20 л наполнен жидкостью. Какая это может быть жидкость, если ее вес равен 160 Н?

8.16. Вес медного шара объемом 120 см^3 равен 8,5 Н. Сплошной этот шар или полый?

Решите устно

8.17. Чему равен вес деревянного кубика, плавающего на поверхности воды?

8.18. Может ли тело массой 1 кг *весить* 20 Н?

8.19. На каком расстоянии от поверхности Земли сила притяжения космического корабля к ней станет в 100 раз меньше, чем на поверхности Земли?

8.20. К какому телу приложен вес мухи, ползущей по потолку?

8.21. Когда на вас действует бóльшая сила притяжения к Солнцу — в новогоднюю ночь или днем 1 января? Орбиту Земли считайте круговой.

8.22. Металлический брусок зажат в тисках. Какова физическая природа веса бруска?

8.23. Какова физическая природа веса карандаша в случае, изображенном на рисунке?



8.24. Находится ли в состоянии невесомости рыба в воде?

8.25. Камень брошен вертикально вверх. В какие моменты полета он находится в состоянии невесомости, если можно пренебречь сопротивлением воздуха? Изменится ли ответ, если камень брошен под углом к горизонту?

8.26. При движении по круговой орбите спутник движется с ускорением свободного падения. Как бы вы ответили в связи с этим на вопрос: падает спутник или не падает?

8.27. На какой высоте над поверхностью Земли ускорение свободного падения в 4 раза меньше, чем на поверхности Земли? Радиус Земли примите равным 6400 км.

Решите и запишите

8.28. Масса Луны в 81 раз меньше, чем масса Земли. Почему же ускорение свободного падения на поверхности Луны меньше земного всего лишь в 6 раз?

8.29. Человек массой 80 кг поднимается в лифте, движущемся равнозамедленно вертикально вверх с ускорением 1,5 м/с^2. Определите вес человека.

8.30. Оцените, во сколько раз отличаются силы притяжения вашего тела к Земле и к Солнцу.

8.31. Оцените массу Солнца, считая расстояние R от Земли до Солнца равным $1{,}5 \cdot 10^8$ км. Считайте орбиту Земли круговой.

8.32. Найдите скорость движения Луны относительно Земли и период ее обращения вокруг Земли, считая, что Луна движется по круговой орбите радиусом 384 000 км.

8.33. Парашютист, достигнув в затяжном прыжке скорости 55 м/с, раскрыл парашют, после чего за 2 с его скорость уменьшилась до 5 м/с. Найдите вес парашютиста во время торможения, если его масса 80 кг.

8.34. Определите силу тяжести, действующую на тело массой 12 кг, поднятое над Землей на расстояние, равное трети земного радиуса.

Высокий уровень

Решите устно

8.35. Справедливы ли законы Паскаля и Архимеда в состоянии невесомости?

8.36. Притяжение Луны Солнцем примерно в два раза больше, чем притяжение ее Землей. Почему же Луна является спутником Земли, а не самостоятельной планетой?

8.37. Если бы масса спутника, движущегося по околоземной орбите, уменьшилась вдвое, то как изменился бы период его обращения?

8.38. Повлияло бы на форму Земли значительное уменьшение длительности: а) суток; б) года; в) периода обращения Луны вокруг Земли?

8.39. Деформируется ли Земля под действием притяжения Луны и Солнца? Приводит ли это к каким-то заметным проявлениям на поверхности Земли?

8.40. Определите, в каких случаях вес пассажира лифта больше силы тяжести, а в каких — меньше: а) лифт разгоняется, двигаясь вниз; б) лифт тормозит, двигаясь вверх;

в) лифт разгоняется, двигаясь вниз; г) лифт тормозит, двигаясь вниз.

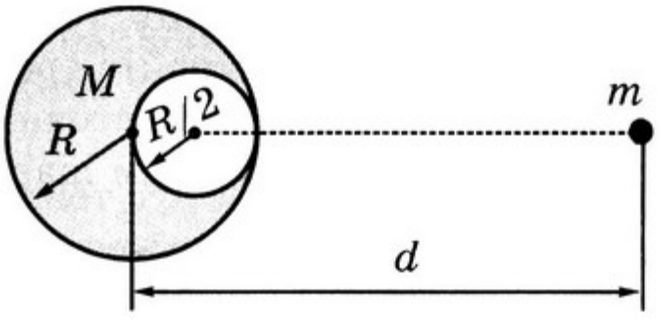
8.41. Испытывает ли бегущий человек состояния невесомости и перегрузки?

8.42. Определите, в каком случае вес автомобиля больше силы тяжести, а в каком — меньше: а) автомобиль едет по выпуклому мосту; б) автомобиль едет по вогнутому мосту.

Решите и запишите

8.43. Спутник движется по круговой орбите на высоте h. Выразите скорость спутника v и период его обращения T через h, радиус Земли R и ускорение силы тяжести на поверхности Земли g.

8.44. Найдите силу F притяжения маленького шарика массой m и большого однородного шара массой M, в котором имеется сферическая полость (см. рисунок).



8.45. На экваторе некоторой планеты тела весят втрое меньше, чем на полюсе. Период обращения этой планеты вокруг своей оси $T = 100$ мин. Найдите плотность ρ планеты, считая ее однородным шаром.

8.46. Чтобы установить постоянную радиосвязь через искусственный спутник Земли, удобно, чтобы он все время «висел» над одной и той же точкой земной поверхности. Найдите радиус орбиты r такого спутника, его скорость v и период обращения T. В какой плоскости должна лежать траектория полета?

8.47. Во сколько раз уменьшилась сила притяжения космонавта к Земле после того, как стартовавший с Земли космический корабль перешел на круговую околоземную орбиту на высоте $h = 200$ км? Как изменился вес космонавта?

8.48. Космический корабль имел начальный период обращения 88 мин. После проведения маневров период обращения стал равным 91 мин. Как изменились расстояние корабля

до поверхности Земли и скорость движения корабля? Обе орбиты круговые.

8.49. Какую перегрузку испытывает водитель, если автомобиль с места набирает скорость 180 км/ч за 10 с?

Олимпиадные задачи

О-28. Однажды межпланетный космический корабль попал на удивительную планету: внутри она была пустой, т. е. имела форму сферической оболочки постоянной толщины. Обитатели планеты жили на ее внутренней поверхности и перелетали из одного места в другое, просто чуть-чуть подпрыгнув: внутри планеты совершенно не ощущалась сила тяжести! Как это объяснить?

О-29. Известно, что при подъеме тела с поверхности Земли сила F его притяжения к Земле уменьшается. А как изменяется эта сила при погружении тела в шахту, доходящую до центра Земли? Постройте график зависимости $F(r)$ для тела массой m, где r — расстояние тела от центра Земли. Считайте Землю однородным шаром.

О-30. К какому уменьшению веса тел на экваторе по сравнению с полюсом приводит вращение Земли? В каком направлении вдоль экватора и с какой скоростью v должен лететь самолет, чтобы на нем этот эффект не наблюдался? Считайте Землю однородным шаром.

О-31. Как изменилась бы продолжительность земного года, если бы масса Земли стала равной массе Солнца, а расстояние между ними осталось тем же?

9. ПРИМЕНЕНИЕ ЗАКОНОВ ДИНАМИКИ

Средний уровень

Решите и запишите

9.1. В шахту опускают бадью массой 0,5 т с начальной скоростью, равной нулю. За 0,2 мин она прошла 35 м. Найдите силу натяжения каната, к которому подвешена бадья.

9.2. Поезд массой 10^6 кг за 1 минуту 40 секунд увеличил скорость с 54 км/ч до 72 км/ч. Найдите силу тяги, если коэффициент сопротивления движению равен 0,03.

9.3. Лыжник массой 60 кг, имеющий в конце спуска скорость 10 м/с, останавливается за 40 с на горизонтальном участке после окончания спуска. Определите силу сопротивления.

9.4. На одном конце нити, перекинутой через неподвижный блок, подвешены 2 груза, а на другом — один. Массы всех грузов одинаковы. С каким ускорением движется данная система тел?

9.5. При помощи ленточного транспортера с углом наклона 30° поднимают груз массой 40 кг. Какой должна быть сила трения, чтобы груз не скользил по ленте?

9.6. Мальчик массой 40 кг качается на качелях с длиной подвеса 5 м. С какой силой он давит на сиденье при прохождении среднего положения со скоростью 5 м/с?

Достаточный уровень

Решите и запишите

9.7. На одном конце нити, перекинутой через неподвижный блок, подвешены 3 одинаковых груза, на другом — 5 таких же. С каким ускорением движется система тел?

9.8. Два шара связаны нитью, перекинутой через неподвижный блок. Массы шаров 2 кг и 6 кг. Определите силу упругости и путь, пройденный каждым шаром за 1 с. Начальную скорость примите равной нулю.

9.9. Какую силу надо приложить для подъема вагонетки массой 600 кг по эстакаде с углом наклона 20°, если коэффициент сопротивления движению равен 0,05?

9.10. С каким ускорением скользит брусок вниз по наклонной плоскости с углом наклона 30° при коэффициенте трения 0,2?

9.11. Масса автомобиля с грузом равна 3 т, а скорость его движения — 20 м/с. Чему будет равна сила давления автомобиля на поверхность в верхней точке выпуклого моста, радиус кривизны которого 50 м?

9.12. Мальчик массой 50 кг качается на качелях с длиной подвеса 4 м. С какой силой он давит на сиденье при прохождении среднего положения со скоростью 6 м/с?

9.13. Коэффициент трения скольжения между шинами автомобиля и асфальтом 0,4. Определите минимальный радиус закругления на повороте, если автомобиль проходит его со скоростью 28 м/с.

9.14. С какой максимальной скоростью может ехать по горизонтальной плоскости мотоциклист, описывая дугу радиусом 90 м, если коэффициент трения резины о почву 0,4?

Высокий уровень

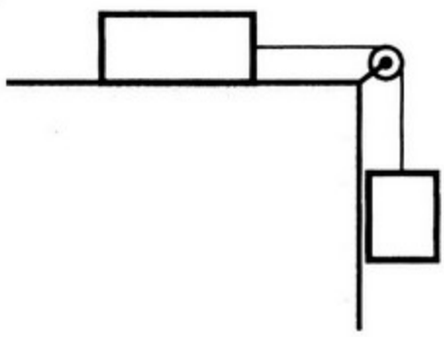
Решите и запишите

9.15. По горизонтальной плоскости движется груз массой 10 кг под действием силы 50 Н, направленной под углом 60° к горизонту. Определите, с каким ускорением движется груз. С какой силой он давит на плоскость? Трением между грузом и плоскостью пренебречь.

9.16. На тележке, движущейся горизонтально с ускорением a, установлен штатив, на котором подвешен шарик на нити. Найдите угол α отклонения нити от вертикали и силу T натяжения нити.

9.17. К концам шнура, перекинутого через блок, подвешены грузы с массами $m_1 = 100$ г и $m_2 = 150$ г. Найдите ускорения грузов, силу натяжения шнура T и показание F динамометра, на котором висит блок.

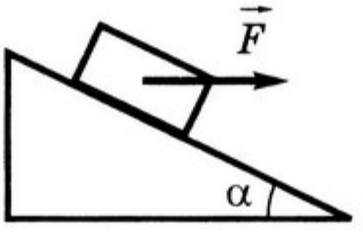
9.18. Брусок массой 400 г под действием груза массой 100 г проходит из состояния покоя путь 80 см за 2 с. Найдите коэффициент трения.



9.19. На горизонтальном столе лежит тело массой 500 г, которое приводится в движение грузом массой 300 г, подвешенным на одном конце нити, перекинутой через блок. Коэффициент трения между телом и столом равен 0,2. С каким ускорением будет двигаться тело?

9.20. Тело соскальзывает с наклонной плоскости без начальной скорости. Угол наклона плоскости к горизонту $\alpha = 30°$, длина наклонной плоскости $l = 2$ м, коэффициент трения тела о плоскость $\mu = 0{,}3$. С каким ускорением движется тело? Сколько времени длится соскальзывание?

9.21. На гладкой наклонной плоскости, образующей угол 30° с горизонтом, находится тело массой 50 кг, на которое действует горизонтально направленная сила 294 Н. Найдите ускорение тела и силу, с которой тело давит на плоскость.



9.22. Из верхней точки вертикального диска радиусом R прорезан желоб (см. рисунок). Как зависит время t скольжения грузика по желобу от угла β? Трением можно пренебречь.



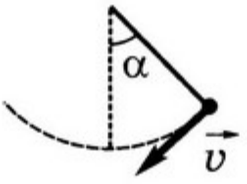
9.23. Шарик, подвешенный на нити длиной l, равномерно движется по окружности в горизонтальной плоскости. При этом нить все время образует с вертикалью угол φ (такую систему называют коническим маятником). Найдите период T вращения шарика.

9.24. На диске проигрывателя установлен вертикальный стержень, к которому подвешен шарик на нити длиной $l = 48$ см. Расстояние стержня от оси вращения диска $r = 10$ см. После включения проигрывателя нить отклоняется от вертикали на угол $\alpha = 45°$. Найдите угловую скорость ω и частоту n вращения диска.

9.25. Поезд движется по закруглению радиусом 765 м со скоростью 72 км/ч. Определите, на сколько внешний рельс

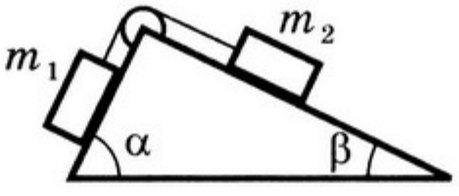
должен быть выше внутреннего, чтобы сила давления на рельсы была одинаковой. Расстояние между рельсами примите равным 1,5 м.

9.26. Найдите силу упругости нити в момент, соответствующий рисунку, если масса груза равна $m = 100$ г, скорость 2 м/с, угол $\alpha = 60°$, длина нити 40 см.

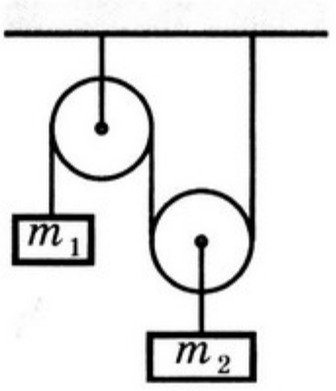


9.27. На столе лежат четыре связанных между собой одинаковых бруска массой по 2 кг. Нити, связывающие бруски, в начальный момент не натянуты; нити рвутся при натяжении 18 Н. К первому бруску прикладывают горизонтальную постепенно увеличивающуюся силу. При каком значении силы одна из нитей разорвется? Какая именно нить? Коэффициент трения равен 0,2.

9.28. Через блок, укрепленный на ребре призмы (см. рисунок), перекинута нить с грузами на концах. Найдите ускорение грузов a и силу натяжения нити T. Трением можно пренебречь. В начальный момент грузы движутся.

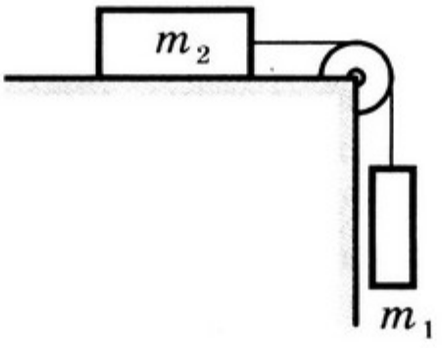


9.29. Найдите ускорения a_1 и a_2 показанных на рисунке грузов и силу натяжения нити T.

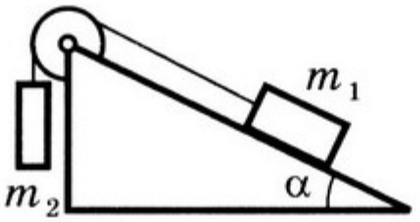


9.30. Два груза массами m_1 и m_2 связаны нитью, переброшенной через неподвижный блок (см. рисунок). Груз массой m_1 отпускают без толчка. С каким ускорением a относительно стола движутся грузы, если коэффициент

трения второго груза о стол равен μ? Какова сила T натяжения нити? Как изменится ответ, если вся система находится в лифте, движущемся с ускорением $\vec{a}_0$, направленным вверх?



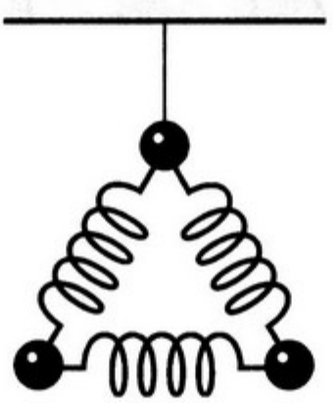
9.31. В показанной на рисунке системе $\alpha = 20°$, $m_1 = 2$ кг, $m_2 = 1$ кг. Коэффициент трения между первым грузом и наклонной плоскостью $\mu = 0{,}1$. Грузы отпускают без начальной скорости. а) Найдите ускорение a системы грузов и силу натяжения нити T. б) Как изменится ответ, если коэффициент трения станет равным 0,3?



9.32. На вираже летчик поворачивает корпус самолета по отношению к направлению движения на угол $\alpha = 10°$. Скорость полета $v = 360$ км/ч. Найдите радиус поворота R.

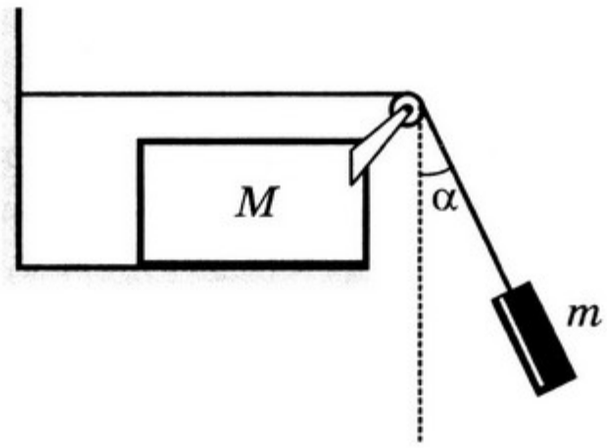
Олимпиадные задачи

О-32. Система из трех одинаковых шаров, связанных одинаковыми пружинами, подвешена на нити. Нить пережигают. Найдите ускорения шаров сразу после пережигания нити. Массами пружин можно пренебречь.

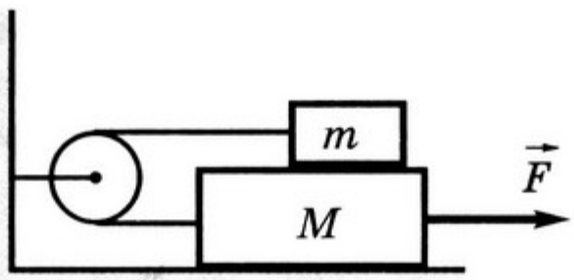


О-33. Автомобиль движется по выпуклому мосту радиусом $R = 40$ м. Какое максимальное горизонтальное ускорение может развить автомобиль в верхней точке, если скорость его в этой точке $v = 50{,}4$ км/ч, а коэффициент трения колес автомобиля о мост $\mu = 0{,}6$?

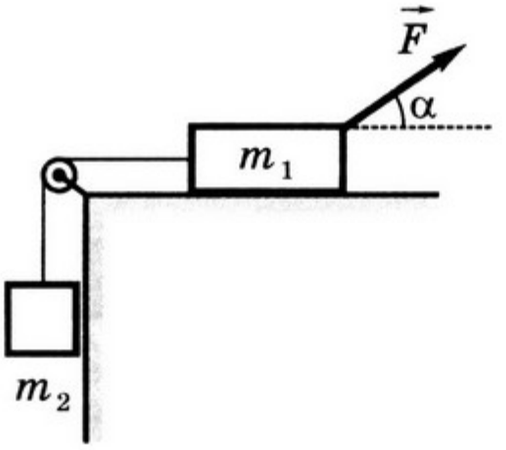
О-34. В механической системе, изображенной на рисунке, брусок массой M может скользить по рельсам без трения. В начальный момент подвешенный на нити груз отводят на угол α от вертикали и отпускают. Какова масса m этого груза, если угол, образуемый нитью с вертикалью, не меняется при движении системы?



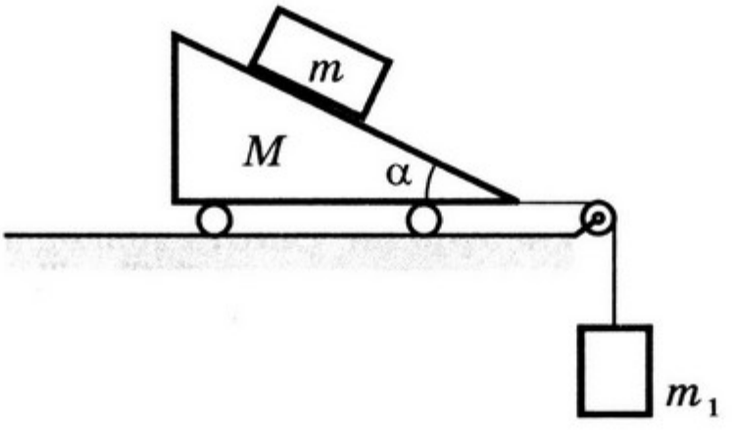
О-35. На гладком горизонтальном столе лежит брусок массой $M = 2$ кг, на котором находится брусок массой $m = 1$ кг. Оба бруска соединены легкой нитью, перекинутой через блок, масса которого равна нулю. Какую силу F нужно приложить к нижнему бруску, чтобы он начал двигаться вправо с постоянным ускорением $a = 0{,}5g$? Коэффициент трения между брусками равен 0,5.



О-36. Определите ускорение тел в системе, показанной на рисунке. Коэффициент трения между телом m_1 и плоскостью — 0,1. Трением в блоке, массами блока и нити можно пренебречь. Массы $m_1 = 1{,}5$ кг, $m_2 = 0{,}5$ кг, сила $F = 10$ Н. Угол α равен 30°.



О-37. Какой должна быть масса m_1, чтобы брусок массой m не скользил по призме массой $M = 50$ кг, если $m = 5$ кг, $\alpha = 30°$, а коэффициент трения бруска о призму $\mu = 0{,}2$?



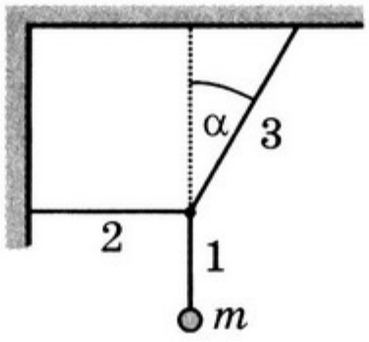
О-38. Металлическая замкнутая цепочка длиной $l = 62{,}8$ см насажена на диск. Диск раскручивают с помощью электродвигателя. Когда частота вращения диска достигает $n = 60$ с$^{-1}$, цепочка соскакивает с диска. Она ведет себя как жесткий обруч: может, например, катиться по столу, пока вращение не замедлится. Какова сила T натяжения цепочки в тот момент, когда она соскакивает с диска? Масса цепочки $m = 40$ г.

10. ЭЛЕМЕНТЫ СТАТИКИ

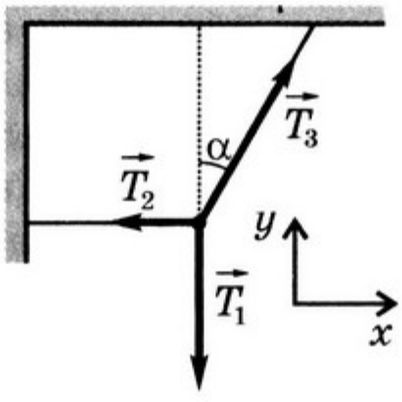
$$\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \ldots = 0, \quad M_1 + M_2 + \ldots = 0$$

Пример решения задачи

Найдите силы натяжения нитей 1, 2 и 3 в системе, показанной на рисунке, если угол α и масса груза m известны, а массой нитей можно пренебречь.



Решение. Узелок, которым связаны нити, находится в равновесии под действием сил реакции нитей $\vec{T}_1$, $\vec{T}_2$ и $\vec{T}_3$. Следовательно, $\vec{T}_1 + \vec{T}_2 + \vec{T}_3 = 0$. Сила $\vec{T}_1$ равна весу покоящегося груза массой m, поэтому $\vec{T}_1 = m\vec{g}$. Записывая условие равновесия в проекциях на оси координат, получаем:



(x) $\quad -T_2 + T_3 \sin\alpha = 0,$

(y) $\quad T_3 \cos\alpha - mg = 0.$

Из второго уравнения $T_3 = \dfrac{mg}{\cos\alpha}$. Подставляя это выражение в первое уравнение, получаем $T_2 = mg \operatorname{tg}\alpha$.

Средний уровень

Решите устно

10.1. Обязательно ли равновесие означает состояние покоя?

10.2. Почему легче отвернуть гайку длинным ключом, чем коротким?

10.3. Почему сломать длинную палку легче, чем короткую такой же толщины?

10.4. Когда легче везти груз в тачке: если а) он расположен ближе к колесу; б) дальше от колеса?

10.5. Почему жестянщики применяют ножницы с большими рукоятками и короткими лезвиями?

10.6. Почему согнутой в локте рукой можно поднять больший груз, чем вытянутой?

10.7. Как устойчивость тел и сооружений зависит от площади опоры?

10.8. Определите вид равновесия для следующих случаев:

а) колесо насажено на ось;

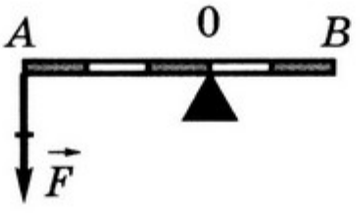
б) гимнаст висит на кольцах;

в) акробат идет по натянутому канату;

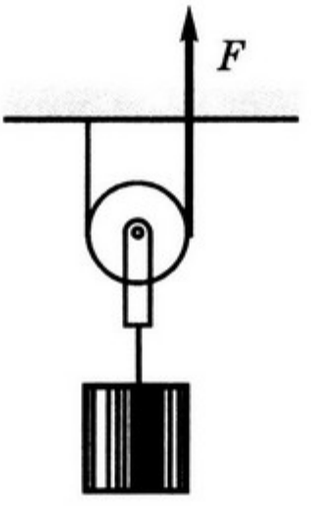
г) гимнаст делает стойку на брусьях.

Решите и запишите

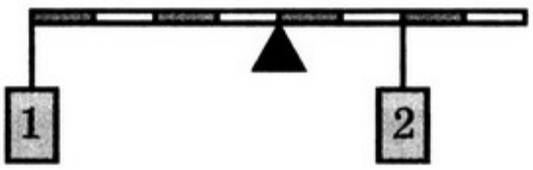
10.9. Какую силу надо приложить к рычагу в точке B, чтобы он остался в равновесии? Сделайте в тетради рисунок и покажите на нем все действующие силы.



10.10. С какой силой надо тянуть вверх конец каната, чтобы поднять груз, вес которого 50 Н?



10.11. Масса первого груза (см. рисунок) 2 кг. Каков вес второго груза?



10.12. Каковы массы каждого из грузов (см. рисунок), если их общая масса 50 кг?



10.13. Плечи рычага равны 25 см и 40 см. Меньшая из двух вертикальных сил, действующих на рычаг, равна 40 Н. Чему равна вторая сила, если рычаг находится в равновесии?

10.14. На земле лежит однородный стержень длиной 2 м и массой 100 кг. Какую силу необходимо приложить, чтобы приподнять стержень за один из его концов?

10.15. Каковы массы каждого из грузов (см. рисунок), если один из них тяжелее другого на 160 Н?



Достаточный уровень

Решите устно

10.16. При каком положении педали велосипеда момент действующей на нее силы, направленной вертикально: а) будет наибольшим; б) равен нулю?

10.17. Почему у автомашин, велосипедов и т. п. тормоза лучше ставить на задние, а не на передние колеса?

10.18. Может ли тело находиться в устойчивом равновесии, опираясь на одну точку? Приведите примеры, подтверждающие ваш ответ.

10.19. Почему не удается встать со стула, не подав корпус вперед?

10.20. Тепловоз равномерно тянет состав вагонов. Изменится ли сила тяги, если тепловоз будет толкать этот же состав?

Изменится ли сила тяги, если тепловоз поместить в середине состава?

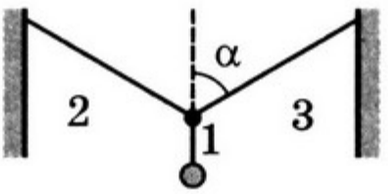
10.21. Изменится ли сила тяжести, действующая на тело, и положение центра тяжести этого тела, если его: а) согнуть; б) поднять; в) наклонить?

10.22. Зачем человек расставляет ноги шире при подъеме больших тяжестей?

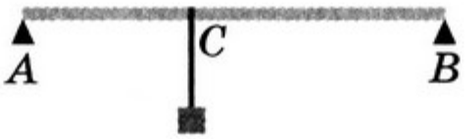
10.23. Как надо держать руки спортсмену, подтягиваясь на руках: широко разведя их или держа параллельно?

Решите и запишите

10.24. Фонарь подвешен на тросах так, как показано на рисунке. Каковы силы натяжения тросов 1, 2 и 3, если масса фонаря 10 кг, а угол $\alpha = 60°$?

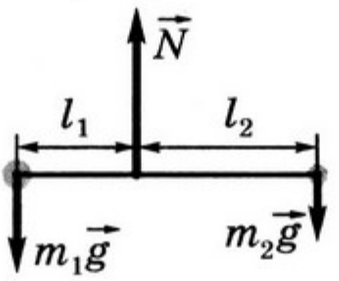


10.25. К горизонтальному стержню подвешен груз массой 50 кг (см. рисунок). Каковы силы давления стержня на опоры, если $AC = 40$ см, $BC = 60$ см? Массой стержня можно пренебречь.

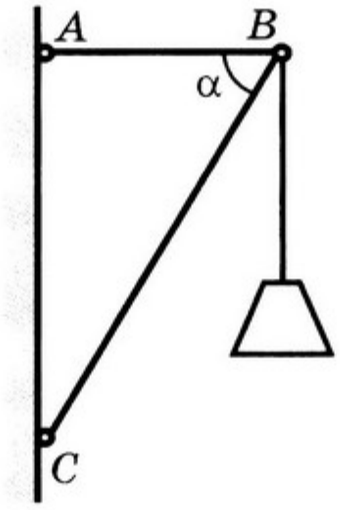


10.26. Легкий стержень длиной 1 м подвешен на двух тросах так, что точки крепления тросов находятся на расстоянии 10 см и 20 см от концов стержня. К середине стержня подвешен груз массой 21 кг. Каковы силы натяжения тросов?

10.27. Докажите, что центр тяжести системы из двух материальных точек массами m_1 и m_2 находится в точке, которая делит расстояние между материальными точками в соотношении $l_1 / l_2 = m_2 / m_1$.

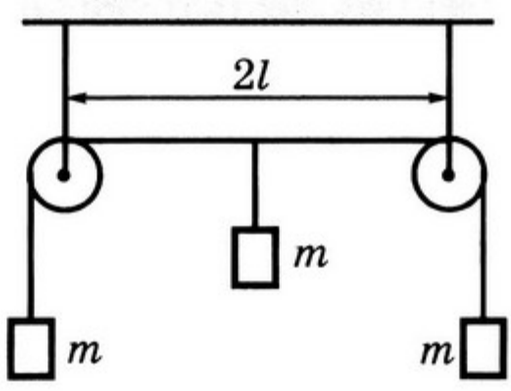


10.28. Невесомые стержни AB и BC шарнирно закреплены в точках A, B, C (см. рисунок). С какими силами растянуты или сжаты стержни, если $\alpha = 60°$, а масса подвешенного в точке B фонаря $m = 3$ кг?



10.29. Фонарь массой $m = 10$ кг висит посредине улицы шириной $l = 10$ м. Допустимая сила натяжения каната $T = 500$ Н. На какой высоте H надо закрепить концы каната, чтобы точка подвеса фонаря находилась на высоте $h = 5$ м?

10.30. На концах нити, переброшенной через два неподвижных блока, висят два одинаковых груза (см. рисунок). К середине нити прикрепляют такой же третий груз. На какое расстояние h опустится этот груз после установления равновесия? Расстояние между осями блоков равно $2l$. Трение в осях блоков считайте малым.



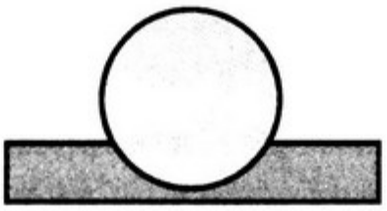
10.31. Два муравья толкают кусочек древесной коры с силами $F_1 = 2$ мН и $F_2 = 4$ мН. Силы направлены в одну сторону, расстояние между линиями действия сил 1,8 мм. Где и какую силу должен приложить третий муравей, чтобы кусочек коры оставался неподвижным? Трением можно пренебречь.

10.32. К стержню длиной $l = 120$ см и массой $m = 8$ кг подвешены два груза: к левому концу — весом $P_1 = 30$ Н, а к правому — весом $P_2 = 90$ Н. Стержень подвесили горизонтально на одной нити так, что он находится в равновесии. Где находится точка подвеса?

10.33. К однородной балке массой $m_1 = 400$ кг и длиной $l = 7$ м подвешен груз массой $m_2 = 700$ кг на расстоянии $a = 2$ м от одного из концов. Балка концами лежит на опорах. Какова сила давления на каждую из опор?

10.34. Чтобы измерить массу линейки, на один из ее концов положили груз массой 250 г и начали выдвигать этот конец за край стола. Линейка находилась в равновесии до тех пор, пока ее не выдвинули на четверть длины. Чему равна масса линейки? На сколько можно было бы выдвинуть линейку, если бы масса груза была 125 г?

10.35. В доске сделали лунку и положили в нее шар (см. рисунок). Глубина лунки в два раза меньше радиуса шара. На какой угол α нужно наклонить доску, чтобы шар выскочил из лунки?



10.36. На легком стержне укреплены три шара массами 1 кг, 2 кг и 3 кг. Расстояние между центрами соседних шаров — 30 см. Где находится центр тяжести системы?

10.37. Два приятеля несут цилиндрическое бревно длиной 4 м. Первый держит бревно на расстоянии 1 м от одного конца, а второй — на расстоянии 1,5 м от другого конца. В каком соотношении распределяется вес бревна между приятелями?

Высокий уровень

Решите устно

10.38. Длинный стержень легче удерживать в горизонтальном положении за середину, чем за конец. Почему?

10.39. Почему конькобежцы, разгоняясь, размахивают руками?

10.40. Почему по скользкому льду люди обычно идут маленькими шажками?

10.41. Рычаг, к которому подвешены два стальных груза, уравновешен. Нарушится ли равновесие, если оба груза поместить в воду? Зависит ли ответ от соотношения между массами грузов?

10.42. Как легче сдвинуть с места застрявшую в грязи телегу: прикладывая силу к корпусу телеги или к верхней части обода колеса? Обоснуйте свой ответ.

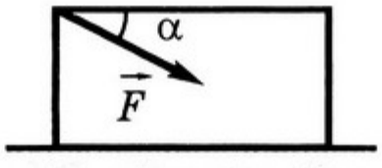
10.43. Докажите, что центр тяжести однородного тела, имеющего центр симметрии, совпадает с центром симметрии.

10.44. По лестнице, прислоненной к гладкой вертикальной стене, поднимается человек. Лестница начинает скользить лишь тогда, когда человек поднялся на определенную высоту. Почему?

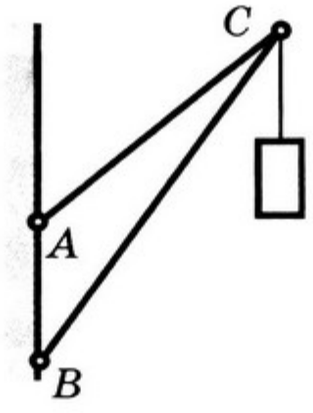
10.45. Может ли тело находиться в неустойчивом равновесии, опираясь на бесконечно много точек? Приведите примеры, подтверждающие ваш ответ.

Решите и запишите

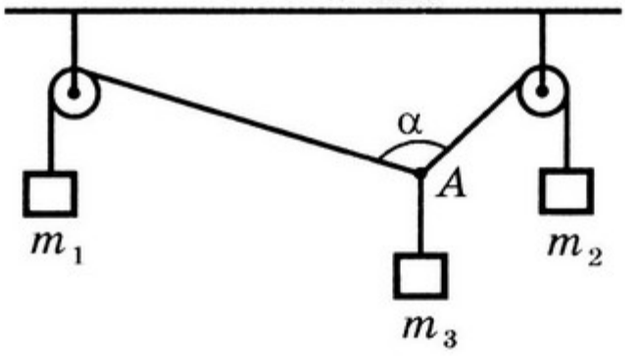
10.46. Ящик толкают по горизонтальной плоскости, прикладывая к нему силу, как показано на рисунке. Масса ящика m, коэффициент трения μ. При какой величине силы F ящик будет двигаться равномерно?



10.47. С какими силами растянуты или сжаты шарнирно закрепленные невесомые стержни (смотри рисунок), если $AB = 60$ см, $AC = 1{,}2$ м, $BC = 1{,}6$ м, а масса груза $m = 50$ кг?



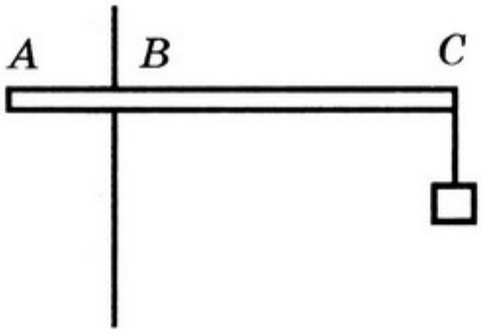
10.48. К концам нити, переброшенной через два блока, подвесили грузы m_1 и m_2 (см. рисунок). Какой груз m_3 надо подвесить к нити между блоками, чтобы при равновесии угол α был равен 120°? Рассмотрите случаи: а) $m_1 = m_2 = 4$ кг; б) $m_1 = 3$ кг, $m_2 = 5$ кг.



10.49. Если груз лежит на левой чашке неравноплечих весов, его уравновешивают гири массой $m_1 = 40$ г на правой чашке. Если же груз положить на правую чашку, его уравновесят гири массой $m_2 = 10$ г на левой чашке. Какова масса m груза? Во сколько раз одно плечо весов длиннее другого? Массой самих весов можно пренебречь.

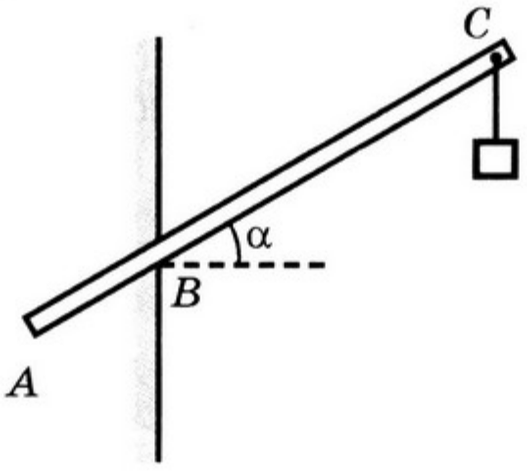
10.50. Доска массой $m = 70$ кг и длиной $l = 1{,}6$ м лежит на двух опорах, расположенных на расстояниях $a_1 = 40$ см и $a_2 = 20$ см от ее концов. Какую наименьшую вертикальную силу надо приложить к концу доски, чтобы приподнять этот конец? чтобы приподнять противоположный конец доски? Считайте $g = 10$ м/с^2.

10.51. Гладкий невесомый стержень AC длиной 1 м вставлен горизонтально с малым зазором по толщине на глубину $AB = 0{,}2$ м в вертикальную стену (см. рисунок). К концу C стержня подвешен груз весом $P = 100$ Н. Найдите силы реакции стенки в точках A и B.



10.52. Гладкий невесомый стержень AC длиной 1 м вставлен с малым зазором под углом $\alpha = 30°$ к горизонту в вертикаль-

ную стену (см. рисунок). К концу C стержня подвешен груз весом $P = 100$ Н.



Каковы силы реакции боковых стенок отверстия в точках A и B? С какой силой сжат стержень? Расстояние AB равно 0,2 м.

10.53. Колесо радиусом R и массой m стоит перед ступенькой высотой h. Какую горизонтальную силу F надо приложить к оси колеса, чтобы оно въехало на ступеньку?

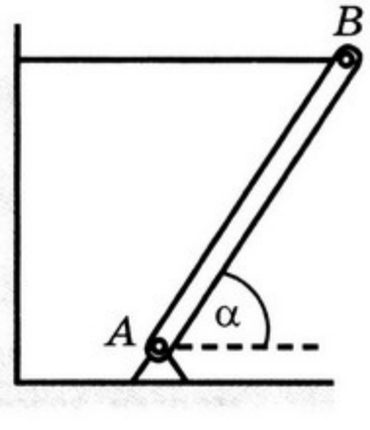
10.54. Однородный шар массой m и радиусом R подвешен на нити, конец которой закреплен на гладкой вертикальной стене. Найдите силу T натяжения нити и силу F давления шара на стену, если длина нити l.

10.55. Лестница опирается на гладкую вертикальную стену. Коэффициент трения между ножками лестницы и полом равен μ. Какой наибольший угол α_{max} может образовывать лестница со стеной? Центр тяжести лестницы совпадает с ее серединой.

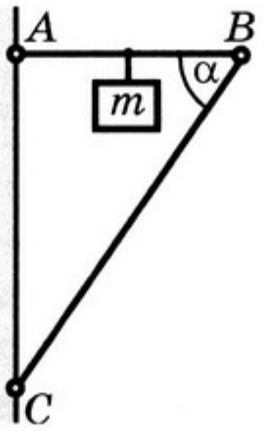
10.56. В вершинах треугольника помещены шарики равной массы. Найдите положение центра тяжести системы.

Олимпиадные задачи

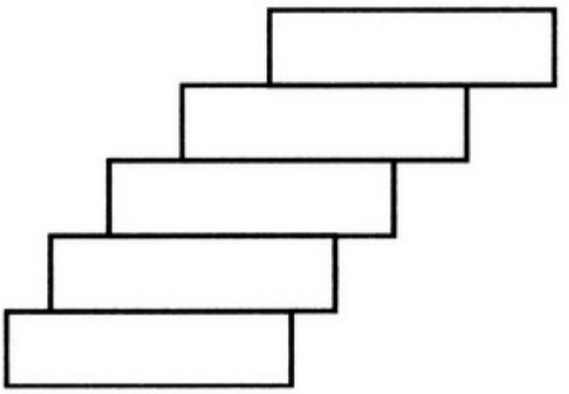
О-39. Тонкий однородный стержень укреплен на шарнире в точке A и удерживается в равновесии горизонтальной нитью (см. рисунок). Масса стержня $m = 1$ кг, угол его наклона к горизонту $\alpha = 45°$. Найдите величину и направление силы $\vec{N}$ реакции шарнира.



О-40. Два невесомых стержня AB и BC соединены шарнирно между собой и с вертикальной стеной (см. рисунок); угол между стержнями равен α. К середине стержня AB подвешен груз массой m. Каковы силы F_A и F_B давления стержня AB на шарниры A и B?

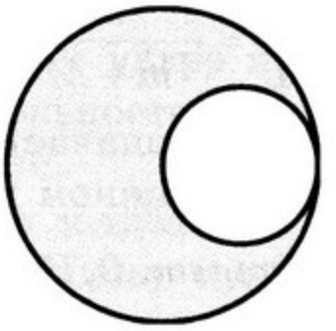


О-41. Пять кирпичей одинаковой длины l кладут без раствора один на другой так, что очередной кирпич выступает над нижележащим (см. рисунок). На какое наибольшее расстояние может выступать правый край самого верхнего кирпича над правым краем самого нижнего кирпича?



О-42. Десять шариков с массами 100 г, 200 г, 300 г, ..., 1000 г укреплены в указанном порядке на невесомом стержне длиной 90 см так, что расстояние между центрами соседних шариков равно 10 см. Найдите положение центра масс системы.

О-43. Однородная тонкая пластина имеет форму круга радиусом R, в котором вырезано круглое отверстие радиусом $R/2$ (см. рисунок). Где находится центр тяжести пластины?



ЗАКОНЫ СОХРАНЕНИЯ В МЕХАНИКЕ

Законы сохранения импульса и механической энергии. Использование законов механики для объяснения движения небесных тел и для развития космических исследований.

11. ИМПУЛЬС. ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ ИМПУЛЬСА

$$\vec{p} = m\vec{v}, \quad \Delta\vec{p} = \vec{F} \cdot \Delta t, \quad \vec{p}_1 + \vec{p}_2 + \ldots = \text{const}$$

Пример решения задачи

Лодка длиной 3 м покоится в стоячей воде. Человек, находящийся в лодке, переходит с носа на корму. На какое расстояние сдвинется при этом лодка относительно берега, если масса человека 60 кг, масса лодки 180 кг? Сопротивлением воды движению лодки можно пренебречь.

Дано:
$L = 3$ м
$m = 60$ кг
$M = 180$ кг

s — ?

Решение.
Выберем ось OX в направлении движения человека, а начало координат совместим с носом лодки. Пусть проекция скорости человека относительно лодки v_x, а проекция скорости лодки относительно воды u_x. Тогда согласно правилу сложения скоростей проекция скорости человека относительно воды $v_x + u_x$. Согласно закону сохранения импульса получаем $m(v_x + u_x) + Mu_x = 0$, откуда $\frac{u_x}{v_x} = -\frac{m}{m+M}$. Пусть человек переходит с носа на корму лодки за время τ, т. е. $L = v_x\tau$, за то же время координата носа лодки становится равной $x = u_x\tau$. Тогда $\frac{u_x}{v_x} = \frac{x}{L}$. С учетом этого, получаем: $\frac{x}{L} = -\frac{m}{m+M}$, откуда $x = -L\frac{m}{m+M} = -0{,}75$ (м). Знак «минус» означает, что лодка сместилась в направлении, противоположном движению человека.

Ответ. 0,75 м.

Решите устно

11.1. При каком условии импульс тела не изменяется?

11.2. Зависит ли импульс тела от выбора системы отсчета? Обоснуйте свой ответ.

11.3. Может ли человек, стоящий на идеально гладкой горизонтальной ледяной площадке, сдвинуться с места, не упираясь острыми предметами в лед?

11.4. Метеорит сгорает в атмосфере, не достигая поверхности Земли. Куда исчез при этом его импульс?

11.5. Некоторые морские животные (например, каракатицы) перемещаются в воде, выбрасывая из себя струю жидкости. Какое физическое явление лежит в основе такого движения? Как называется такой тип движения?

11.6. Надуйте детский резиновый шарик и, не завязывая отверстие, выпустите из рук. Что произойдет при этом? Почему?

11.7. Почему при ударе возникают большие силы?

11.8. От чего отталкивается ракета, разгоняясь в космическом пространстве?

Решите и запишите

11.9. Какое из тел имеет больший импульс: автобус массой 5 т, движущийся со скоростью 54 км/ч, или снаряд массой 4 кг, летящий со скоростью 500 м/с? Во сколько раз больше?

11.10. Движение материальной точки массой 4 кг описывается уравнением: $x = 20 + 2t - t^2$. Найдите импульс материальной точки через 1 с и через 4 с после начала отсчета времени.

11.11. С какой силой действует молоток массой 0,5 кг на гвоздь во время удара, если скорость молотка перед ударом 2 м/с? Считайте, что удар длился 0,01 с.

11.12. Средняя сила удара молотка массой 1 кг при ударе по гвоздю составляет 300 Н. Определите длительность удара, если скорость молотка перед ударом 3 м/с.

11.13. С какой скоростью должна лететь хоккейная шайба массой 160 г, чтобы ее импульс был равен импульсу пули массой 8 г, летящей со скоростью 600 м/с?

11.14. Шарик массой 150 г, движущийся со скоростью 20 м/с, неупруго соударяется с покоящимся шариком массой 250 г. С какой скоростью будут двигаться шарики после соударения?

11.15. Автомобиль массой 1 т, тронувшись с места, разогнался до скорости 20 м/с за 10 с. Какова равнодействующая сил, действующих на автомобиль при разгоне?

11.16. Вагон массой 30 т, движущийся горизонтально со скоростью 1,5 м/с, автоматически на ходу сцепляется с неподвижным вагоном массой 20 т. С какой скоростью движется сцепка?

11.17. Снаряд массой 100 кг, летящий горизонтально вдоль железнодорожного пути со скоростью 500 м/с, попадает в вагон с песком массой 10 т и застревает в нем. Какой стала скорость вагона, если до выстрела он двигался со скоростью 36 км/ч навстречу снаряду?

11.18. В проплывающую под мостиком лодку массой 150 кг опускают с мостика груз массой 50 кг. Какова будет после этого скорость лодки, если ее начальная скорость 4 м/с? Сопротивлением воды можно пренебречь.

Достаточный уровень

Решите устно

11.19. Два тела одинакового объема — стальное и свинцовое — движутся с одинаковыми скоростями. Сравните импульсы этих тел.

11.20. Два автомобиля движутся по прямой дороге навстречу друг другу. Масса первого автомобиля 1 т, масса второго автомобиля 3 т. Скорость первого автомобиля в три раза больше скорости второго автомобиля. Равны ли импульсы автомобилей?

11.21. На одинаковое ли расстояние можно бросить камень вперед: а) стоя на земле; б) стоя на коньках на льду?

11.22. На одинаковом расстоянии от берега находятся две лодки, одна — груженая, другая — порожняя. С какой лодки легче выпрыгнуть на берег? Почему?

11.23. Барон Мюнхгаузен, герой книги Э. Распе, рассказывает: «Схватив себя за косичку, я изо всех сил дернул вверх и без большого труда вытащил из болота себя и своего

коня, которого крепко сжал обеими ногами, как щипцами». Можно ли таким образом поднять себя?

11.24. Может ли гусеница, висящая на паутине, повернуться к наблюдателю другим боком?

11.25. Небольшую лодку притягивают канатом к большому теплоходу. Почему не наблюдается движение теплохода по направлению к лодке?

11.26. Чтобы сойти на берег, лодочник направился от кормы лодки к ее носовой части. Почему при этом лодка отошла от берега?

11.27. Можно ли двигать парусную лодку, направляя на паруса поток воздуха из мощного вентилятора, находящегося на лодке? Что случится, если дуть мимо паруса?

11.28. Почему при выстреле ружье отбрасывается назад? Почему советуют при выстреле ружье покрепче прижать к плечу?

Решите и запишите

11.29. Координата движущегося тела изменяется по закону $x = 4 + 3t - 0{,}5t^2$, а проекция импульса — по закону $p_x = 10 - 5t$. Найдите массу тела и действующую на него силу.

11.30. На тело массой 400 г, проекция начальной скорости которого $v_{0x} = -0{,}3$ м/с, действует в положительном направлении оси OX постоянная сила 2 Н. Запишите закон изменения скорости $v_x(t)$ и импульса $p_x(t)$ тела.

11.31. Материальная точка массой 400 г равномерно движется по окружности со скоростью 5 м/с. Найдите изменение импульса за одну четверть периода; половину периода; период.

11.32. С высоты 60 м без начальной скорости падает камень массой 500 г. На какой высоте его импульс будет равен 15 кг · м/с?

11.33. Вагонетка, масса которой 120 кг, движется по рельсам без трения со скоростью 6 м/с. С тележки соскакивает человек массой 80 кг под углом 30° к направлению ее движения. Скорость тележки уменьшается при этом до 5 м/с. Какой была скорость человека во время прыжка относительно земли?

11.34. Барон Мюнхгаузен соскочил с летящего ядра так, что скорость барона относительно земли стала равной нулю.

Какой стала после этого скорость ядра? Считайте, что начальная скорость ядра, равная 100 м/с, была направлена по горизонтали, масса барона вдвое больше массы ядра.

11.35. Снаряд, выпущенный из пушки, разорвался в верхней точке траектории на два осколка равной массы. Один из осколков полетел обратно и разбил пушку, из которой был выпущен снаряд. На каком расстоянии от пушки упал второй осколок, если разрыв произошел на расстоянии 2 км (по горизонтали) от пушки? Сопротивлением воздуха можно пренебречь.

11.36. Граната, летевшая в горизонтальном направлении со скоростью 10 м/с, разорвалась на 2 осколка массами 1 кг и 1,5 кг. Скорость большего осколка после взрыва осталась направлена горизонтально и возросла до 25 м/с. Определите величину и направление скорости меньшего осколка. Сопротивлением воздуха можно пренебречь.

11.37. Ледокол массой 5000 т, идущий с выключенным двигателем со скоростью 10 м/с, наталкивается на неподвижную льдину и толкает ее впереди себя. Скорость ледокола уменьшилась при этом до 2 м/с. Определите массу льдины.

11.38. От двухступенчатой ракеты массой 1000 кг в момент достижения скорости 171 м/с отделилась ее вторая ступень массой 400 кг, скорость которой при этом увеличилась до 185 м/с. Найдите, с какой скоростью стала передвигаться первая ступень ракеты. Скорости указаны относительно Земли.

Высокий уровень

Решите устно

11.39. В лодке на носу и корме сидят два одинаковых по массе спортсмена. Сдвинется ли лодка с места и в каком направлении, если спортсмены, одновременно пройдя по лодке, поменяются местами?

11.40. Почему пуля, вылетевшая из ружья, не разбивает оконное стекло на осколки, а образует в нем круглое отверстие?

11.41. Почему человек может бежать по тонкому льду, но не может стоять на нем, не проваливаясь?

11.42. Почему пуля, вылетевшая из ружья, не может отворить дверь, но пробивает в ней отверстие, тогда как давлением

пальца дверь отворить легко, но проделать отверстие невозможно?

11.43. Почему пуля пробивает в пустом тонкостенном стакане лишь два небольших отверстия, а стакан, наполненный жидкостью, разбивается при попадании пули вдребезги?

11.44. Обладает ли импульсом однородный диск, вращающийся вокруг своей геометрической оси? Ось диска неподвижна.

11.45. Опытный вратарь, ловя мяч, расслабляет руки и слегка подается назад вместе с мячом. Зачем?

Решите и запишите

11.46. Какова средняя сила давления на плечо при стрельбе из автомата, если масса пули 10 г, а скорость пули при вылете из ствола 300 м/с? Автомат производит ежесекундно 5 выстрелов.

11.47. Снаряд в верхней точке траектории на высоте 100 м разорвался на два осколка: 1 кг и 1,5 кг. Скорость снаряда в этой точке $v_0 = 100$ м/с. Скорость большего осколка v_2 оказалась горизонтальной, совпадающей по направлению с v_0 и равной 250 м/с. Определите расстояние между точками падения обоих осколков. Сопротивление воздуха можно не учитывать.

11.48. Пушка массой $M = 800$ кг выстреливает ядро массой $m = 10$ кг с начальной скоростью $v_0 = 200$ м/с относительно Земли под углом $\alpha = 60°$ к горизонту. Какова скорость u отката пушки? Трением можно пренебречь.

11.49. На сколько сместится неподвижная лодка массой $M = 280$ кг, если человек массой $m = 70$ кг перейдет с ее носа на корму? Расстояние от носа до кормы $l = 5$ м, сопротивление воды пренебрежимо мало.

11.50. Два рыбака ловят рыбу в озере, сидя в неподвижной лодке. Куда и на сколько сместится лодка, если рыбаки поменяются местами? Масса лодки $M = 280$ кг, масса одного рыбака $m_1 = 70$ кг, масса другого $m_2 = 140$ кг, расстояние между рыбаками $l = 5$ м. Сопротивлением воды можно пренебречь.

11.51. Мяч массой $m = 300$ г упал с высоты $H = 1{,}23$ м на асфальт и подскочил на ту же высоту. Продолжительность удара об асфальт $t = 0{,}01$ с. Найдите среднюю силу

удара $F_{ср}$. Как изменится эта сила, если мяч ударится о твердую поверхность, наклоненную под углом $\alpha = 30°$ к горизонту? Какой будет $F_{ср}$, если в обоих случаях мяч заменить пластилиновым шаром такой же массы? Продолжительность удара считайте такой же.

11.52. На гладком льду лежит цилиндрическое однородное бревно длиной l. Один из его концов стали медленно поднимать с помощью веревки. Когда угол между бревном и поверхностью льда стал равным α, вертикально натянутая веревка оборвалась. На какое расстояние сместится при падении бревна его нижний конец?

11.53. Конькобежец массой 60 кг бросает в горизонтальном направлении камень массой 2 кг со скоростью 15 м/с. На какое расстояние откатится при этом конькобежец, если коэффициент трения полозьев о лед равен 0,02?

11.54. На доске, лежащей на льду, стоит собака. С какой скоростью будет двигаться доска относительно льда, если собака побежит вдоль доски со скоростью 3 м/с относительно доски? Масса доски 5 кг, масса собаки 10 кг. Трением между доской и льдом можно пренебречь.

11.55. С лодки массой 300 кг выбирают канат, поданный на баркас массой 1200 кг. Расстояние между лодкой и баркасом 55 м. Определите пути, пройденные лодкой и баркасом до их встречи. Сопротивлением воды можно пренебречь.

11.56. Снаряд летит по параболе и разрывается в верхней точке траектории на два равных осколка. Первый осколок упал вертикально вниз, второй — на расстоянии s по горизонтали от места разрыва. Найдите скорость снаряда перед разрывом, если известно, что взрыв произошел на высоте h и время падения первого осколка равно t_0.

Олимпиадные задачи

О-44. Ракета влетела в пылевое облако со скоростью v относительно облака. Пылинки налипали на ракету, и, чтобы скорость движения не изменялась, пришлось включить двигатель, развивающий силу тяги F. Какая была бы нужна сила тяги для сохранения скорости, если бы: а) ракета влетела в то же облако со скоростью $2v$; б) влетела со скоростью v в другое облако, где концентрация частиц (т. е. число частиц в единице объема) в три раза больше?

О-45. На конце соломинки массой M и небольшой длины l, лежащей на гладком столе, сидит кузнечик, масса которого m. С какой скоростью v он должен прыгнуть, чтобы попасть на другой конец соломинки, если он прыгает под углом 45° к горизонту? Трением между столом и соломинкой можно пренебречь.

О-46. Деревянный брусок падает вертикально со скоростью $v = 3$ м/с на горизонтальную ленту транспортера, движущегося со скоростью $u = 1$ м/с. Брусок после удара не подскакивает. При каком коэффициенте трения брусок не будет проскальзывать по транспортеру? Считайте, что удар длится очень короткое время.

12. МЕХАНИЧЕСКАЯ РАБОТА. ЭНЕРГИЯ. ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ ЭНЕРГИИ

$$A = F \cdot s \cdot \cos\alpha,\ N = \frac{A}{t},\ E_к = \frac{mv^2}{2},\ E_п = mgh,\ E_п = \frac{kx^2}{2},$$
$$\Delta E_к = A,\ E_к + E_п = \text{const}$$

Пример решения задачи

Два шара равной массы движутся вдоль одной прямой со скоростями $\vec{v}_1$ и $\vec{v}_2$. Каковы будут скорости шаров $\vec{u}_1$ и $\vec{u}_2$ после столкновения?

Решение. Обозначим массу каждого из шаров m. Согласно закону сохранения импульса $m\vec{u}_1 + m\vec{u}_2 = m\vec{v}_1 + m\vec{v}_2$, а согласно закону сохранения энергии $\frac{mu_1^2}{2} + \frac{mu_2^2}{2} = \frac{mv_1^2}{2} + \frac{mv_1^2}{2}$. Направим ось x вдоль линии движения шаров. Тогда в проекциях на ось x законы сохранения импульса и энергии записываются в виде

$$mu_{1x} + mu_{2x} = mv_{1x} + mv_{2x},\ \frac{mu_{1x}^2}{2} + \frac{mu_{2x}^2}{2} = \frac{mv_{1x}^2}{2} + \frac{mv_{2x}^2}{2}.$$

Оба уравнения можно сократить на m, а второе уравнение, кроме того, умножить на 2, после чего мы получим два уравнения с двумя неизвестными u_{1x} и u_{2x}:

$$u_{1x} + u_{2x} = v_{1x} + v_{2x},\ u_{1x}^2 + u_{2x}^2 = v_{1x}^2 + v_{2x}^2.$$

Перегруппируем слагаемые в этих уравнениях так, чтобы все величины, относящиеся к первому шару, были слева от знака равенства, а относящиеся ко второму шару, — справа:

$$u_{1x} - v_{1x} = v_{2x} - u_{2x}, \quad (1)$$
$$u_{1x}^2 - v_{1x}^2 = v_{2x}^2 - u_{2x}^2. \quad (2)$$

Поскольку в условии сказано, что столкновение произошло, скорости шаров изменились, т. е. $u_{1x} \neq v_{1x}$, $u_{2x} \neq v_{2x}$, поэтому обе части первого уравнения отличны от нуля и, следовательно, второе уравнение можно почленно разделить на первое. В результате получим $u_{1x} + v_{1x} = v_{2x} + u_{2x}$. Решая это уравнение совместно с уравнением (1), получаем $u_{1x} = v_{2x}$, $u_{2x} = v_{1x}$. Это означает, что *в результате упругого столкновения шары равной массы обмениваются скоростями.*

В частности, если шар налетает на покоящийся шар такой же массы, он останавливается, передав второму шару весь импульс и всю кинетическую энергию.

Решите устно

12.1. Совершает ли работу сила тяжести, когда тело свободно падает?

12.2. Совершает ли работу сила тяжести, действующая на книгу, лежащую на столе?

12.3. Совершает ли ученик механическую работу, когда он держит портфель в руке?

12.4. Совершает ли работу сила трения скольжения? Может ли совершать работу сила трения покоя?

12.5. Какую работу совершает человек: а) поднимая полное ведро воды массой 10 кг на 1 м; б) держа это ведро на весу в течение 10 мин?

12.6. По морю плывет корабль. Совершает ли при этом работу сила тяжести?

12.7. Совершает ли работу сила тяжести, действующая на спутник, который движется вокруг Земли по круговой орбите?

12.8. Положительную или отрицательную работу совершает сила тяжести, когда тело скользит вниз по наклонной плоскости?

12.9. Какую работу — положительную или отрицательную — мы совершаем, растягивая пружину? Какую работу совершает при этом сила упругости?

12.10. Как изменяется потенциальная энергия пружины (увеличивается или уменьшается), когда пружина возвращается в недеформированное состояние? Зависит ли ответ от того, растянута была пружина или сжата?

12.11. Как изменяется потенциальная энергия пружины: а) когда ее растягивают? б) когда ее сжимают?

12.12. Тело соскальзывает по наклонной плоскости так, что его скорость остается неизменной. Изменяется ли при этом полная механическая энергия тела? Какие превращения энергии при этом происходят?

12.13. В чем сходство работ, совершаемых силой тяжести и силой упругости?

12.14. Что общего у потенциальных энергий тела, поднятого над землей, и упруго деформированного тела?

Решите и запишите

12.15. Какую работу совершает сила тяжести, действующая на дождевую каплю массой 20 мг при ее падении с высоты 2 км?

12.16. С плотины ежеминутно падает 18 000 $м^3$ воды с высоты 20 м. Какая при этом совершается работа?

12.17. Определите работу сил сопротивления, если автомобиль массой 2 т перемещается по горизонтальной дороге на 500 м. Коэффициент сопротивления равен 0,02.

12.18. Мощность двигателя подъемного крана равна 4 кВт. Груз какой массы он может поднять на высоту 15 м за 2 мин? Движение груза считайте равномерным.

12.19. За какое время подъемник мощностью 10 кВт поднимет груз массой 2 т на высоту 20 м, если груз перемещается равномерно?

12.20. Тело массой 500 г под действием силы за время 2 с переместилось равноускоренно на расстояние 10 м. Определите работу этой силы.

12.21. На каком пути работа силы при равноускоренном движении тела составила величину 350 Дж, если масса тела 7 кг, а ускорение тела 2 $м/с^2$?

12.22. До какой высоты поднялся при бросании мяч, если его потенциальная энергия относительно земли оказалась равной 60 Дж? Масса мяча 300 г.

12.23. На пружине подвешен груз 300 кг, под действием которого она удлинилась на 6 см. Определите энергию деформированной пружины.

12.24. Тело брошено вертикально вверх со скоростью 20 м/с. На какой высоте его кинетическая энергия будет равна потенциальной?

12.25. Тело брошено со скоростью 15 м/с под углом к горизонту. Определите его скорость на высоте 10 м. Сопротивлением воздуха можно пренебречь.

12.26. Камень брошен под углом к горизонту со скоростью 10 м/с. Пренебрегая сопротивлением воздуха, определите, на какой высоте скорость камня уменьшится вдвое.

Достаточный уровень

Решите устно

12.27. Лошадь тащит телегу. Какую работу совершает сила, приложенная к телеге со стороны лошади, — положительную

или отрицательную? Какую (по знаку) работу совершает сила трения?

12.28. При перетягивании каната первая команда слегка уступает второй. Какую (по знаку) работу совершает каждая из команд?

12.29. Тело равномерно движется по окружности под действием некоторой силы. Чему равна работа этой силы?

12.30. Мяч, брошенный вертикально вверх, упал обратно. Определите работу силы тяжести.

12.31. Если автомобиль с горизонтального участка дороги переходит на подъем, то при неизменной мощности двигателя скорость уменьшается. Почему?

12.32. За счет какой энергии взмывает вверх наполненный гелием воздушный шарик, вырвавшийся из рук?

12.33. Груз, подвешенный к пружине, совершает колебания в вертикальном направлении. Какие превращения энергии при этом происходят? При каких положениях груза потенциальная энергия системы «груз и пружина» максимальна?

12.34. Искусственный спутник Земли движется по круговой орбите. Обладают ли потенциальной энергией предметы, находящиеся в кабине спутника, относительно кабины? относительно Земли?

12.35. Спортсмены играют в волейбол на палубе прямолинейно и равномерно движущегося теплохода. Зависит ли кинетическая энергия мяча от скорости теплохода?

Решите и запишите

12.36. На тело действует сила, направленная вдоль оси OX и равная 20 Н. Координата тела изменяется по закону $x = 10 + 2t + t^2$. Какую работу совершает сила за 5 с?

12.37. Автомобиль массой 2 т трогается с места с ускорением 2 м/с^2 и разгоняется в течение 5 с на горизонтальной дороге. Какую работу совершает за это время сила тяги, если коэффициент сопротивления движению равен 0,01?

12.38. Подъемный кран должен в течение 8 ч поднять 3000 т строительных материалов на высоту 9 м. Какова мощность двигателя крана, если КПД установки 60%?

12.39. Электровоз движется со скоростью 54 км/ч. Определите силу тяги электровоза, если потребляемая им мощность 600 кВт, КПД равен 75%.

12.40. Автомобиль массой $M = 2$ т разгоняется с места, въезжая на гору с уклоном 0,02. Коэффициент сопротивления движению $\mu = 0{,}05$. Автомобиль набирает скорость $v = 97{,}2$ км/ч на участке длиной $s = 100$ м. Какую среднюю мощность развивает двигатель?

12.41. Камень массой $M = 10$ кг поднимают на высоту $h = 10$ м, прикладывая постоянную силу $F = 200$ Н. Какую работу A совершает эта сила? Чему равно изменение потенциальной энергии $\Delta E_{\text{п}}$? Как согласуются полученные ответы с законом сохранения энергии?

12.42. Автомобиль может удерживаться с помощью тормозов на участке горной дороги с наклоном, не превышающим $\alpha = 30°$. Каков тормозной путь s этого автомобиля на горизонтальном участке такой же дороги при скорости $v = 72$ км/ч?

12.43. Какую работу надо совершить, чтобы по плоскости с углом наклона 30° втащить груз массой 400 кг на высоту 2 м, прикладывая силу, совпадающую по направлению с перемещением? Коэффициент трения 0,3. Каков при этом КПД?

12.44. На какой высоте кинетическая энергия свободно падающего тела равна его потенциальной энергии, если на высоте 10 м скорость тела равна 8 м/с?

12.45. Камень массой 5 кг упал с некоторой высоты. Найдите кинетическую энергию камня в средней точке его пути, если он падал в течение 2 с.

12.46. Маятник массой 5 кг отклонен на угол 60° от вертикали. Какова сила натяжения нити при прохождении маятником положения равновесия?

Высокий уровень

Решите устно

12.47. Тело, брошенное с поверхности земли под углом к горизонту, упало на землю. Чему равна работа силы тяжести? Как изменилась потенциальная энергия этого тела?

12.48. Мыльный пузырь лопнул. Куда «исчезла» энергия, затраченная на выдувание пузыря?

12.49. С помощью понтонов поднимают затонувший корабль со дна моря. За счет какой энергии происходит этот подъем?

12.50. Когда тело упруго сталкивается со стенкой, импульс тела при ударе о стенку изменяется, а энергия остается практически той же. Почему?

12.51. У какого из грузовиков, груженого или порожнего, больше тормозной путь при одной и той же скорости движения? Коэффициент трения одинаков, сопротивление воздуха можно не учитывать.

12.52. С ледяной горки скатываются два мальчика разной массы на одинаковых санках. Одинаковый ли путь пройдет каждый из них по горизонтальному участку до остановки? Ответ объясните. Сопротивление воздуха можно не учитывать.

12.53. Чтобы завести механические часы, требуется меньше 1 мин времени. После этого часы работают больше суток. Не нарушается ли в этом случае закон сохранения механической энергии?

Решите и запишите

12.54. Сравните работы силы тяжести при свободном падении тела за первую и вторую половины времени падения.

12.55. Какая минимальная работа A совершается при подъеме на крышу веревки длиной $l = 40$ м и массой $m = 6$ кг? В начальный момент вся веревка свешивалась вертикально с края крыши.

12.56. Поперек шоссе лежит бревно длиной L и массой M. Чтобы освободить дорогу, бревно перетащили на траву, прикладывая силу, направленную вдоль бревна. Какую работу при этом совершили? Коэффициенты трения бревна об асфальт и траву равны соответственно μ_1 и μ_2.

12.57. Льдина площадью поперечного сечения 1 м^2 и толщиной 0,4 м плавает в воде. Какую работу надо совершить, чтобы полностью погрузить льдину в воду?

12.58. Баржа плывет по реке со скоростью v. Когда она проплывает под мостом, на нее плавно опускают ящик массой m. Ящик скользит по барже и останавливается, оставив след длиной L. Найдите полную работу A сил трения: а) в системе отсчета, связанной с баржей; б) в системе отсчета, связанной с Землей. Коэффициент трения между ящиком и баржей равен μ.

12.59. Санки массой $m = 20$ кг поднимают по гладкому склону на высоту $h = 2{,}5$ м, прикладывая силу $F = 120$ Н, направленную вдоль склона. Санки движутся с ускорением $a = 1$ м/с^2. Какую работу A совершает сила F при подъеме? Чему равно изменение потенциальной энергии $\Delta E_{\text{П}}$ санок? Чему равна кинетическая энергия $E_{\text{К}}$ санок на вершине горы?

12.60. Автомобиль движется вверх по пологому склону со скоростью $v_1 = 6$ м/с и спускается по той же дороге со скоростью $v_2 = 9$ м/с. С какой скоростью v будет ехать этот автомобиль по горизонтальному участку этой же дороги, если мощность двигателя все время остается неизменной? Сопротивлением воздуха можно пренебречь.

12.61. Легковой автомобиль поднимается по склону со скоростью $v = 60$ км/ч. Спускаясь по тому же склону с выключенным мотором, он движется равномерно с той же скоростью. Какую мощность N развивает двигатель на подъеме? Уклон равен 0,05. Масса автомобиля $m = 2$ т.

12.62. Санки съезжают с горы, длина основания которой $a = 5$ м, а высота $H = 2$ м, и проезжают до остановки еще $s = 35$ м по горизонтальной площадке. Найдите коэффициент трения, считая его одинаковым на всем пути.

12.63. Два железнодорожных вагона массами m_1 и m_2 медленно движутся в одну сторону со скоростями v_1 и v_2. Вагоны сталкиваются, и пружины буферов расталкивают их так, что удар можно считать упругим. Какова максимальная энергия E упругой деформации пружин?

12.64. Два упругих шара массами $m_1 = 200$ г и $m_2 = 100$ г подвешены рядом так, что их центры находятся на одном уровне. Первый шар отклоняют так, что он поднимается на высоту $H = 18$ см, и отпускают. На какую высоту поднимется каждый из шаров после удара?

12.65. Небольшое тело массой m соскальзывает без трения по наклонному желобу, переходящему в окружность радиусом R, и проходит «мертвую петлю», не отрываясь от желоба. С какой силой N давит тело на желоб в верхней точке окружности, если тело соскальзывает с высоты H? С какой минимальной начальной высоты $H_{\min}$ должно соскальзывать тело, чтобы оно при движении не отрывалось от желоба?

12.66. Небольшое тело массой m соскальзывает с вершины гладкой полусферы радиуса R. На какой высоте тело отделится от полусферы?

12.67. Шарик подвешен на невесомой нерастяжимой нити длиной 2 м. Какую минимальную скорость следует сообщить шарику, чтобы он описал окружность в вертикальной плоскости? Сопротивлением воздуха можно пренебречь.

12.68. Деревянный брусок висит на шнуре длиной l. В брусок выстрелили, пуля застряла в нем, и шнур отклонился от вертикали на угол α. Какова скорость пули v_0? Масса бруска M, масса пули m. Пуля летела горизонтально.

12.69. Человек прыгает в воду с высоты $h = 10$ м. На какую глубину H он бы при этом погрузился, если бы силы сопротивления воздуха и воды исчезли? Масса человека $m = 60$ кг, объем его тела $V = 66$ л.

12.70. Шар массой m, движущийся со скоростью v, налетел на покоящийся шар массой $m/2$ и после упругого удара изменил направление своего движения на угол $\alpha = 30°$. С какими скоростями движутся шары после удара?

12.71. Легкий теннисный мячик ударили ногой, и он полетел в направлении движения ноги. Какую скорость v приобрел мячик, если скорость движения ноги при ударе $u = 10$ м/с?

Олимпиадные задачи

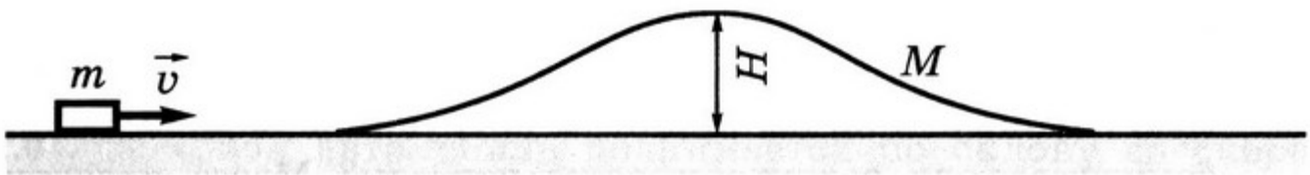
О-47. Ракета массой M с работающим двигателем неподвижно «зависла» над землей. Скорость вытекающих из ракеты газов равна u. Какова мощность N двигателя? Считайте, что уменьшением массы ракеты из-за расхода горючего можно пренебречь.

О-48. На гладком горизонтальном столе лежит клин массой M и высотой h. Угол наклона поверхности клина к горизонту равен α. С клина соскальзывает без трения небольшое тело массой m. Какую скорость $\vec{v}$ приобретет тело в конце спуска? Найдите модуль и направление скорости.

О-49. Вследствие нецентрального удара бильярдного шара о такой же неподвижный шар эти шары разлетаются всегда под одним и тем же углом. Каков этот угол? Столкновение бильярдных шаров можно считать упругим.

О-50. Шар массой m_1 налетает на неподвижный шар массой m_2. Происходит лобовое упругое соударение. Как зависит доля α переданной при соударении энергии от отношения масс шаров $k = m_1/m_2$? Постройте график зависимости α (k).

О-51. На гладкой горизонтальной поверхности покоится гладкая горка (см. рисунок). На горку налетает скользящее по поверхности небольшое тело. Каким может быть результат столкновения? При движении по горке тело не отрывается от нее.



О-52. Потенциальная энергия взаимодействия двух материальных точек имеет вид $E_{\text{П}} = C/r$, где r — расстояние между точками. Докажите, что эти материальные точки взаимодействуют с силой F, обратно пропорциональной квадрату расстояния между ними. При каких значениях C взаимодействие является притяжением?

О-53. Докажите, что кинетическую энергию системы движущихся материальных точек можно представить в виде $W = \dfrac{Mv_C^2}{2} + W_{\text{цм}}$, где M — суммарная масса всех материальных точек, v_C — скорость центра масс системы точек, $W_{\text{цм}}$ — кинетическая энергия материальных точек в системе отсчета их центра масс.

Механические колебания. Амплитуда, период, частота, *фаза* колебаний. Уравнение гармонических колебаний. Свободные и вынужденные колебания. Резонанс. *Автоколебания.* Механические волны. Длина волны. *Уравнение гармонической волны.*

13. МЕХАНИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ

$$T = \frac{1}{\nu} = \frac{2\pi}{\omega}, \quad T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}, \quad T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$$

Пример решения задачи

К пружине весов подвешена чашка с гирями. При этом удлинение пружины равно l_0, а период вертикальных колебаний чашки равен T_1. После того как на чашку положили добавочный груз Δm, период стал T_2. Каким стало удлинение пружины l в новом положении равновесия?

Решение. Обозначим m первоначальную массу груза. Тогда согласно закону Гука $mg = kl_0$ и $(m + \Delta m)g = kl$, где l — удлинение пружины в новом положении равновесия. Из этих уравнений получаем: $\frac{l}{l_0} = \frac{m + \Delta m}{m}$, откуда $l = \frac{m + \Delta m}{m} l_0$.

Отношение $\frac{m + \Delta m}{m}$ можно найти по изменению периода колебаний. Так как $T_1 = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$ и $T_2 = 2\pi\sqrt{\frac{m + \Delta m}{k}}$, получаем $\frac{m + \Delta m}{m} = \left(\frac{T_2}{T_1}\right)^2$. Следовательно, $l = \left(\frac{T_2}{T_1}\right)^2 l_0$.

Средний уровень

Решите устно

13.1. Материальная точка совершает незатухающие колебания. Какие из величин, характеризующих эти движения, являются постоянными и какие — переменными?

13.2. Как изменится период колебаний пружинного маятника, если амплитуду колебаний увеличить в два раза?

13.3. Равнодействующая каких сил играет роль возвращающей силы при: а) колебаниях груза, подвешенного на нити; б) вертикальных колебаниях груза, подвешенного на пружине?

13.4. Периоды колебаний двух математических маятников относятся как 3:2. Во сколько раз первый маятник длиннее второго?

13.5. Как изменится период колебаний математического маятника, если массу груза увеличить? уменьшить?

13.6. Когда период колебаний одного и того же математического маятника больше: зимой или летом?

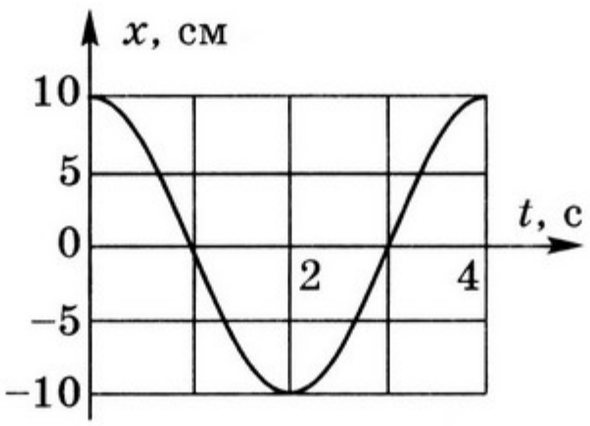
Решите и запишите

13.7. Сколько колебаний совершит материальная точка за 5 с при частоте колебаний 440 Гц?

13.8. Грузик, колеблющийся на пружине, за 8 с совершил 32 колебания. Найдите период и частоту колебаний.

13.9. Маятник длиной 1,5 м совершил за 5 мин 125 колебаний. Чему равно ускорение свободного падения?

13.10. На рисунке приведен график гармонического колебания. Найдите амплитуду, период и частоту колебания.



13.11. Какова длина математического маятника, если период его колебаний равен 3 с?

13.12. Математический маятник длиной 99,5 см за одну минуту совершил 30 колебаний. Определите период колебаний маятника и ускорение свободного падения в том месте, где находится маятник.

13.13. Найдите массу груза, который на пружине жесткостью 250 Н/м делает 20 колебаний за 16 с.

13.14. Груз массой 9,86 кг колеблется на пружине. Период колебаний равен 2 с. Какова частота колебаний груза? Чему равна жесткость пружины?

13.15. Груз, подвешенный на пружине, колеблется с периодом 0,5 с. Каково удлинение пружины, когда груз находится в равновесии?

Достаточный уровень

Решите устно

13.16. При каком условии колебания математического маятника можно считать гармоническими?

13.17. Как изменится период колебаний пружинного маятника, если амплитуду колебаний уменьшить в два раза?

13.18. В нашем теле происходит много переменных процессов. Какие из них можно считать колебаниями?

13.19. Сохраняется ли период колебаний часов-ходиков, если их перенести с Земли на Луну?

13.20. Колеблющаяся от ветра ветка каждые две секунды ударяет в оконное стекло. Найдите период и частоту колебаний ветки.

13.21. Изменится ли период колебаний качелей, если вместо одного человека на качели сядут двое такого же роста?

13.22. Как привести в колебания маятник, сообщив ему: а) потенциальную энергию; б) кинетическую энергию? Рассмотрите случаи маятника, подвешенного на нити и на пружине.

13.23. Куда нужно передвинуть чечевицу маятника (груз на стержне), если часы спешат?

13.24. Материальная точка совершает незатухающие колебания. Какой величиной является ли фаза колебаний — постоянной или переменной? Размерной или безразмерной?

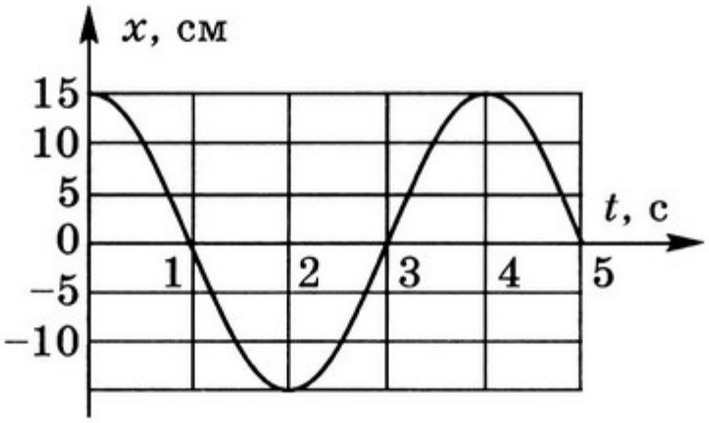
Решите и запишите

13.25. Напишите уравнение гармонических колебаний, если за 1 мин совершается 60 колебаний. Амплитуда колебаний — 8 см.

13.26. Уравнение колебательного движения материальной точки $x = 0{,}4 \cos 5\pi t$. Определите амплитуду, период колебаний и частоту, а также смещение материальной точки при $t = 0{,}1$ с.

13.27. Амплитуда колебаний — 2 см. Сколько времени прошло от начала колебаний, если смещение равно 1 см, а точка совершала колебания по закону $x = X_m \cos \omega t$.

13.28. По графику, приведенному на рисунке, найдите амплитуду, период и частоту колебаний. Напишите уравнение гармонических колебаний.



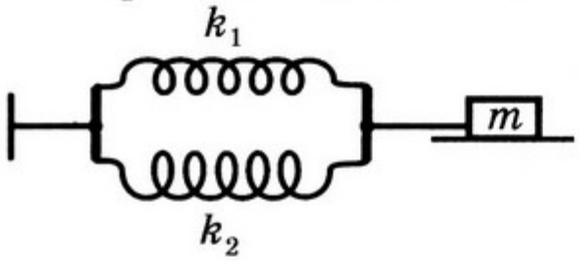
13.29. Маятник совершает гармонические колебания с амплитудой 6 см. Какую часть периода маятник находится не далее 3 см от положения равновесия?

13.30. * Математический маятник длиной 1 м колеблется с амплитудой 1 см. За какое время он пройдет путь, равный 1 см, если в начальный момент маятник проходит положение равновесия? За какое время маятник пройдет: а) первую половину этого пути; б) вторую половину этого пути?

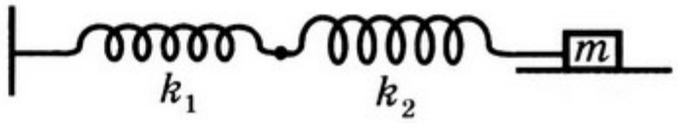
13.31. На нити длиной l подвешен шарик. Какую наименьшую горизонтальную скорость v надо сообщить шарику, чтобы он отклонился до высоты точки подвеса?

13.32. При увеличении длины математического маятника на 10 см его период колебаний увеличился на 0,1 с. Каким был начальный период колебаний?

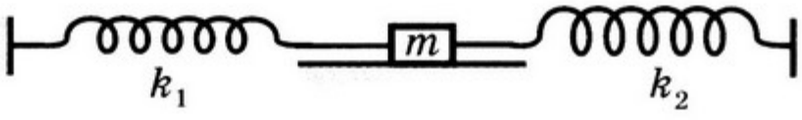
13.33. Найдите периоды T колебаний систем, изображенных на рис. *а*, *б*, *в*. Коэффициенты жесткости пружин равны k_1 и k_2, масса груза — m. Трение отсутствует.



а



б



в

13.34. Мальчик несет на коромыслах ведра с водой, период собственных колебаний которых 1,6 с. При какой скорости движения вода начнет особенно сильно выплескиваться, если длина шага мальчика равна 60 см?

Высокий уровень

Решите устно

13.35. Будут ли спешить или отставать часы с секундным маятником, отрегулированным для широты Москвы, если их перенести на полюс? на экватор?

13.36. Как изменится период колебаний качелей, если мальчик качался сначала сидя, а затем стоя?

13.37. В какой точке при колебаниях математического маятника: а) сила, возвращающая маятник в положение равновесия, наибольшая; б) сила натяжения нити наибольшая?

13.38.  Зависит ли скорость, с которой маятник проходит положение равновесия, от амплитуды колебаний? Почему?

13.39. Парусная лодка движется прямолинейно и равномерно, испытывая бортовую качку. Какой будет траектория движения кончика мачты для наблюдателя, стоящего на высоком берегу?

13.40.  В кабине лифта, находящегося на верхнем этаже небоскреба, совершает малые колебания подвешенный на нити шарик. Нить привязана к гвоздю, вбитому в стену кабины. Расстояние от гвоздя до других стен, потолка и пола кабины меньше длины нити. Трос лифта обрывается, и лифт начинает падать. Опишите движение шарика относительно лифта на протяжении падения.

Решите и запишите

13.41. В покоящемся лифте маятник совершает колебания с частотой 1 Гц. С каким ускорением a должна двигаться кабина лифта, чтобы этот маятник совершил 100 колебаний за 2 мин 30 с?

13.42. Длина маятника l, угол отклонения α. Определите скорость и ускорение маятника при прохождении через положение равновесия?

13.43. Горизонтальная подставка совершает вертикальные гармонические колебания с амплитудой $A = 5$ мм. При какой частоте колебаний лежащий на подставке брусок не отрывается от нее?

13.44. Два маятника, длины которых отличаются на 22 см, совершают в одном и том же месте Земли за некоторое время один — 30 колебаний, другой — 36 колебаний. Найдите длины маятников.

13.45. К пружине, имеющей жесткость k, подвешена чашка. На чашку с высоты h падает без начальной скорости липкий шарик массой m. Найдите амплитуду A возникающих колебаний. Массами пружины и чашки можно пренебречь.

13.46. Два одинаковых грузика массой m каждый соединены пружиной жесткостью k и лежат на гладком столе. Пружина сжата и удерживается в деформированном состоянии нитью. Нить пережигают. Каков будет период колебаний грузиков?

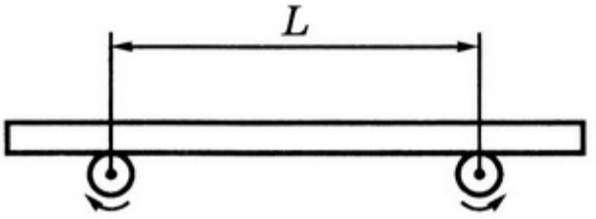
Олимпиадные задачи

О-54. Чему равен период T колебаний математического маятника длиной l: а) в лифте, ускорение которого направлено вверх и равно a; б) в лифте, ускорение которого направлено вниз ($a < g$); в) в поезде, движущемся горизонтально с ускорением a; г) на тяжелой тележке, съезжающей без трения с наклонной плоскости под углом α к горизонту? Чему равен во всех этих случаях период колебаний пружинного маятника?

О-55. На длинном легком шнуре подвешено цилиндрическое ведро, доверху наполненное водой. Ведро совершает малые колебания. Как будет изменяться, их период, если в дне ведра есть отверстие, из которого постепенно вытекает вода?

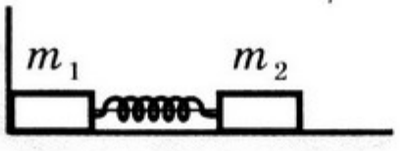
О-56. На два быстро вращающихся одинаковых валика положили горизонтально доску массой m (см. рисунок). Расстояние между осями валиков L, коэффициент трения между доской и валиками μ. Как будет двигаться доска?

Как изменится ответ, если оба валика изменят направление вращения?



О-57. Два грузика с массами m_1 и m_2, находящиеся на гладкой горизонтальной поверхности, соединены легкой пружиной. Жесткость пружины k. Каков период T свободных колебаний системы, если при колебаниях грузики движутся вдоль одной прямой?

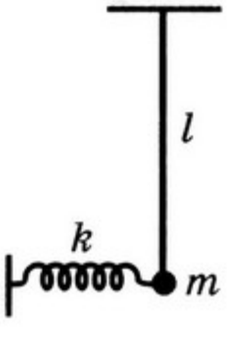
О-58. На гладком столе лежат два грузика массами $m_1 = 100$ г и $m_2 = 300$ г, соединенные легкой пружиной жесткостью $k = 50$ Н/м. Один из грузиков касается стенки (см. рисунок). Грузики связаны нитью длиной $l_0 = 6$ см, при этом пружина сжата на $\Delta l = 2$ см. Опишите движение грузиков после того, как нить пережигают.



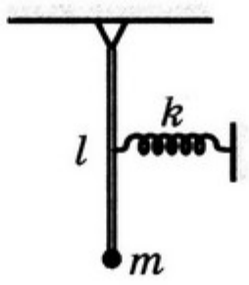
О-59. Горизонтальная подставка с лежащим на ней бруском совершает горизонтальные гармонические колебания с периодом $T = 0{,}5$ с. Коэффициент трения бруска о подставку $\mu = 0{,}1$. При какой амплитуде колебаний A брусок проскальзывает на подставке при колебаниях?

О-60. Найдите период колебаний жидкости в U-образном сосуде постоянного сечения. Длина всего столба жидкости равна $2H$.

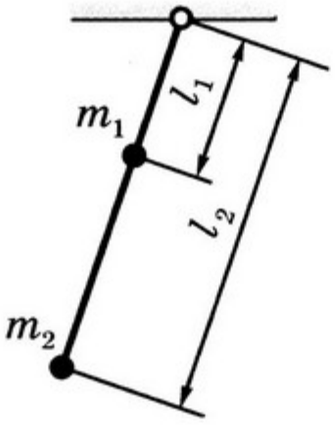
О-61. На рисунке показано положение равновесия колебательной системы — математического маятника с пружинной связью. Найдите период T малых колебаний системы. Каким станет период T', если пружину заменить тонкой полоской резины той же длины и жесткости?



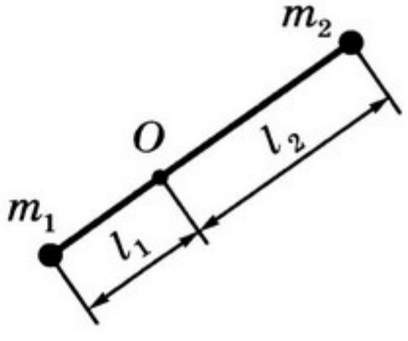
О-62. Во сколько раз изменится частота малых колебаний небольшого груза на легком стержне (см. рисунок), если к середине стержня прикрепить легкую горизонтальную пружину с жесткостью k? В равновесии стержень занимает вертикальное положение.



О-63. Найдите период T малых колебаний изображенного на рисунке маятника — невесомого стержня с двумя маленькими шариками.



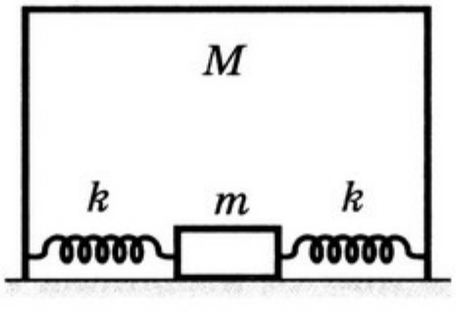
К задаче О-63



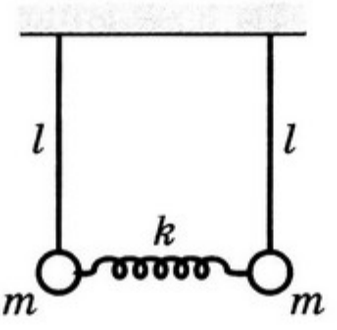
К задаче О-64

О-64. Невесомый стержень с закрепленными на нем грузами (см. рисунок) может вращаться вокруг горизонтальной оси O. Каков период T его малых колебаний?

О-65. Ящик массой M стоит на шероховатой горизонтальной поверхности с коэффициентом трения μ (см. рисунок). Внутри ящика находится брусок массой m, прикрепленный к нему двумя пружинами жесткостью k каждая. При какой амплитуде колебаний бруска ящик сдвинется с места? Трение между бруском и ящиком отсутствует.



О-66. Два одинаковых математических маятника длиной l связаны невесомой пружиной жесткостью k. На рисунке показано положение равновесия системы. Маятники отклоняют (в плоскости рисунка) на одинаковые по величине углы и отпускают. Найдите период T малых колебаний связанных маятников, если: а) маятники отклонены в одну сторону (колебания в одной фазе); б) маятники отклонены в противоположные стороны (колебания в противофазе).



14. МЕХАНИЧЕСКИЕ ВОЛНЫ. ЗВУК

$$\lambda = vT = \frac{v}{\nu}$$

Пример решения задачи

Как изменяются частота и длина звуковой волны при переходе из воздуха в воду?

Решение. Падающая на воду звуковая волна частоты ν вызывает колебания поверхности воды с *такой же* частотой. Колеблющиеся точки поверхности вызывают распространение в воде волн этой же частоты. Следовательно, при переходе границы раздела сред частота волны не изменяется. Однако скорость звука в воздухе v_1 отличается от скорости звука в воде v_2. Поскольку $\lambda = v/\nu$, получаем $\lambda_2/\lambda_1 = v_2/v_1$.

Так как скорость звука в воздухе $v_1 = 340$ м/с, а в воде — $v_2 = 1500$ м/с, то $v_2/v_1 = 4{,}4$.

Средний уровень

Решите устно

14.1. В чем различие поперечных и продольных волн?

14.2. Что такое поперечные волны, в каких средах они могут распространяться?

14.3. Что такое продольные волны, в каких средах они могут распространяться?

14.4. Продольными или поперечными являются волны, возбуждаемые смычком в струне? в воздухе?

14.5. Приведите примеры, доказывающие, что в воздухе звуки разных частот распространяются с одинаковой скоростью.

14.6. Приведите аргументы, доказывающие, что звуковая волна обладает энергией.

14.7. При полете большинство насекомых издают звук. Чем он вызывается?

14.8. Может ли возникнуть эхо в степи?

Решите и запишите

14.9. Определите скорость звука в воде, если источник звука, колеблющийся с периодом 0,002 с, возбуждает в воде волны длиной 2,9 м.

14.10. Лодка качается на волне с частотой 0,5 Гц. Какова скорость этой волны, если расстояние между соседними гребнями равно 3 м?

14.11. По поверхности воды в озере волна распространяется со скоростью 6 м/с. Каковы период и частота колебаний бакена, если длина волны — 3 м?

14.12. Расстояние до преграды, отражающей звук, равно 68 м. Через какое время человек услышит эхо?

14.13. Определите расстояние между вторым и пятым гребнями волны, если длина волны равна 0,6 м.

14.14. Период колебания частиц воды равен 2 с, а расстояние между смежными гребнями волн — 6 м. Определите скорость распространения этих волн.

14.15. Какова длина звуковой волны с частотой 200 Гц в воздухе и в воде?

Достаточный уровень

Решите устно

14.16. Поперечные волны в Земле, в отличие от продольных волн проникают лишь на глубину 3000 км. Почему? Какой вывод из этого можно сделать о состоянии ядра земного шара?

14.17. Для чего смычок перед игрой на скрипке натирают канифолью?

14.18. Для чего басовые струны обматывают металлической проволокой?

14.19. У скрипки имеется всего четыре струны. Однако с помощью этих немногих струн скрипач извлекает огромное количество весьма разнообразных звуков. Как это делается?

14.20. На какую характеристику волны (частоту или длину) реагирует человеческое ухо?

14.21. У радиоприемника сидят два человека: один с пониженным, а другой с нормальным слухом. Одинаковы ли для них в каждый данный момент: сила звука? громкость звука?

14.22. Почему летучие мыши даже в полной темноте не сталкиваются с препятствиями?

Решите и запишите

14.23. Мимо неподвижного наблюдателя, стоящего на берегу озера, за 6 с прошло четыре гребня волн. Определите период колебания частиц воды и длину волны, если скорость распространения волн 3 м/с.

14.24. Рыбак заметил, что за 10 с поплавок совершил на волнах 20 колебаний, а расстояние между соседними горбами равно 1,2 м. Какова скорость распространения волн?

14.25. С первого корабля на второй одновременно посылаются два звуковых сигнала — по воздуху и по воде. Один из сигналов был принят с опозданием на 2 с. Определите расстояние между кораблями, если принять скорость звука в воздухе равной 340 м/с, а в воде — 1480 м/с.

14.26. Герой одного из рассказов О'Генри дал пинок поросенку с такой силой, что тот полетел, «опережая звук собственного визга». С какой силой должен был ударить поросенка герой рассказа, чтобы описанный случай произошел в действительности? Массу поросенка примите равной 5 кг, а продолжительность удара — 0,01 с.

14.27. Волны в первой среде имеют длину λ_1, а после перехода во вторую среду — λ_2. Определите скорость распространения волн во второй среде, если их скорость в первой среде v_1.

Высокий уровень

14.28. Наливая воду в термос, мы слышим звук. Как меняется его тон по мере заполнения термоса?

14.29. Всегда ли справедливо выражение: «как аукнется, так и откликнется», т. е. всегда ли отраженный звук имеет ту же высоту тона, что и падающий?

14.30. На лодку набегают волны, поднятые теплоходом. Предложите способ определения длины волны.

14.31. Почему изменение курса или скорости хода может ослабить качку корабля?

14.32. Волна из среды A проникает в среду B, где ее скорость в k раз меньше. Какие характеристики волны изменяются? Как именно?

14.33. Как воспринималась бы музыка, если бы низкие и высокие, сильные и слабые звуки распространялись с различными скоростями?

Решите и запишите

14.34. Наблюдатель, находящийся на расстоянии 2 км 150 м от источника звука, слышит звук, пришедший по воздуху, на 4,8 с позднее, чем звук от того же источника, пришедший по воде. Определите скорость звука в воде. Скорость звука в воздухе принять равной 345 м/с.

14.35. Найдите собственные частоты колебаний воздушного столба в закрытой с обоих концов трубе длиной $l = 3{,}4$ м.

14.36. Над цилиндрическим сосудом высотой $H = 1$ м звучит камертон с частотой колебаний $\nu = 340$ Гц. В сосуд медленно наливают воду. При каких положениях уровня воды в сосуде звучание камертона значительно усиливается?

14.37. При какой глубине озера в нем могут «раскачаться» инфразвуковые колебания с частотой 7,5 Гц?

14.38. Первая резонансная частота открытой с обеих сторон органной трубы равна 300 Гц. Чему равна первая резонансная частота такой же трубы, закрытой с обоих концов? Закрытой с одного конца?

Олимпиадные задачи

О-67. Почему изменяется голос человека в барокамере, заполненной дыхательной смесью из кислорода и гелия? Как изменится в этой атмосфере тон духовых инструментов? Камертона? Камертона на резонаторном ящике?

О-68. Пуля летит со скоростью u, превышающей скорость звука v. Какую форму имеет фронт ударной волны, возникающей в воздухе при полете пули?

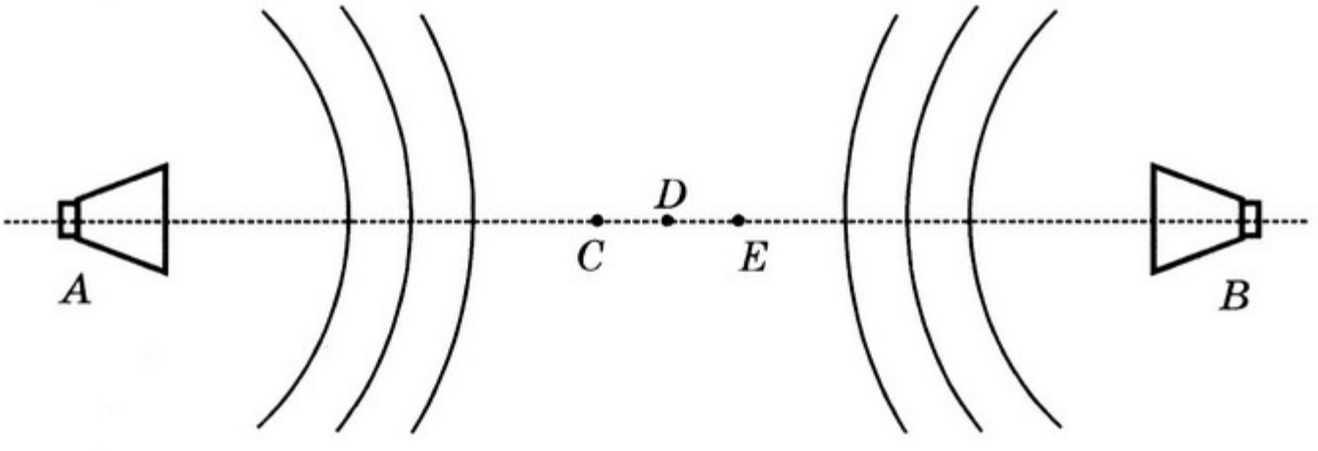
О-69. Реактивный самолет пролетел со скоростью, в два раза превышающей скорость звука, на высоте $h = 5$ км над наблюдателем. На каком расстоянии от наблюдателя был самолет, когда человек услышал звук?

О-70. Гоночный автомобиль с включенной сиреной мчится со скоростью $u = 306$ км/ч. Частота колебаний сирены $\nu_0 = 400$ Гц. Впереди на обочине стоит другой автомобиль с точно такой же включенной сиреной. Каждый из водителей различает звук сирены другого автомобиля,

потому что он выше, чем звук его собственной сирены. Кто из них слышит более высокий звук? Какова частота ν этого звука?

О-71. Морские волны движутся со скоростью u и набегают на берег с частотой ν_0, причем волновой фронт параллелен береговой линии. С какой частотой ν волны ударяются о катер, идущий от берега со скоростью v, направленной под углом α к береговой линии? Каким станет ответ, если катер изменит направление движения на противоположное?

О-72. Два одинаковых динамика A и B подключены к выходу одного генератора электрических колебаний частотой $\nu = 680$ Гц. Расстояние между динамиками 25 м. Амплитуда звуковых колебаний в точке C, находящейся посередине отрезка AB (см. схематический рисунок), максимальна и равна a. Какова амплитуда звуковых колебаний в точках D и E, если $CD = 6{,}25$ см, $CE = 12{,}5$ см? Каким будет ответ, если изменить полярность подключения одного из динамиков?



О-73. По шнуру слева направо бежит со скоростью v незатухающая гармоническая волна. При этом поперечное смещение точки O шнура изменяется по закону $y = A\cos\omega t$. Как зависит от времени смещение точки шнура, находящейся правее точки O на расстоянии x от нее?

О-74. Мотоциклист, движущийся по прямолинейному участку дороги, увидел, как человек, стоящий у дороги, ударил молотком по висящему рельсу, а через 2 с услышал звук. С какой скоростью двигался мотоциклист, если он проехал мимо человека через 36 с после начала наблюдения?

МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА И ТЕРМОДИНАМИКА

МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА

Атомистическая гипотеза строения вещества и ее экспериментальные доказательства. Модель идеального газа. Абсолютная температура. Температура как мера средней кинетической энергии теплового движения частиц. Связь между давлением идеального газа и средней кинетической энергией теплового движения его молекул.

Уравнение состояния идеального газа. Изопроцессы. *Границы применимости модели идеального газа.*

15. МОЛЕКУЛЯРНО-КИНЕТИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ

$$\nu = \frac{N}{N_A} = \frac{m}{M},\ m_0 = \frac{M}{N_A},\ p = \frac{1}{3} n m_0 \overline{v^2},\ p = nkT,\ \bar{E} = \frac{3}{2} kT$$

Пример решения задачи

В баллоне с углекислым газом содержится $N = 5 \cdot 10^{24}$ молекул, а средняя квадратичная скорость молекул $\overline{v} = 400$ м/с. Определите объем баллона, если давление газа равно 490 кПа.

Решение. Воспользуемся уравнением молекулярно-кинетической теории идеального газа. Концентрация молекул $n = N/V$, массу молекулы можно выразить через молярную массу углекислого газа: $m_0 = M/N_A$.

Отсюда $p = \frac{1}{3} \cdot \frac{N}{V} \cdot \frac{M}{N_A} \cdot \overline{v^2}$ и $V = \frac{1}{3} \cdot \frac{N}{p} \cdot \frac{M}{N_A} \cdot \overline{v^2}$. Проверка единиц величин $[V] = \frac{\text{м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{м}^2}{\text{Н} \cdot \text{моль} \cdot \text{моль}^{-1} \cdot \text{с}^2} = \text{м}^3$.

Произведя вычисления, получаем: $V = 0{,}04$ м^3.

15.32. Газ способен к неограниченному расширению. Почему же существует атмосфера Земли?

15.33. Объясните процесс склеивания с точки зрения молекулярно-кинетической теории.

15.34. Имеется два сосуда с одинаковым числом молекул газа в них. В каком случае давления в них будут одинаковыми?

15.35. Почему молекула при соударении со стенкой действует на нее с силой, пропорциональной скорости, а создаваемое ударами молекул давление газа пропорционально квадрату скорости?

15.36. На каком основании можно предполагать существование связи между температурой и кинетической энергией молекул?

15.37. Атмосферный воздух состоит из азота, кислорода, аргона и других газов. Одинакова ли средняя квадратичная скорость молекул этих газов?

15.38. Воздух состоит в основном из кислорода и азота. Молекулы какого из этих газов имеют: а) бóльшую среднюю кинетическую энергию; б) бóльшую среднюю квадратичную скорость?

15.39. В атмосфере на высоте в несколько сотен километров температура ионизированных газов достигает нескольких тысяч градусов. Почему там не сгорают спутники и ракеты?

15.40. Почему на Луне нет атмосферы?

Решите и запишите

15.41. Из открытого стакана за время $t = 20$ сут испарилась вода массой $m = 200$ г. Сколько молекул испарялось за $\tau = 1$ с?

15.42. На изделие, поверхность которого равна 25 см^2, нанесен слой хрома толщиной 2 мкм. Сколько атомов хрома содержит покрытие?

15.43. Где больше атомов: в стакане воды или в стакане ртути? Во сколько раз?

15.44. В озеро со средней глубиной $h = 5{,}0$ м и площадью $S = 4{,}0$ км^2 бросили кристаллик поваренной соли NaCl массой $m = 10$ мг. Спустя очень длительное время из озера зачерпнули стакан воды объемом $V = 200$ см^3. Сколь-

ко ионов натрия из брошенного кристаллика оказалось в этом стакане?

15.45. Определите плотность кислорода при давлении $1{,}3 \cdot 10^5$ Па, если средняя квадратичная скорость его молекул равна $1{,}4 \cdot 10^3$ м/с.

15.46. Определите суммарную кинетическую энергию хаотического поступательного движения молекул идеального газа в баллоне емкостью 10 л и давлением $4 \cdot 10^5$ Па.

15.47. Чему равна средняя кинетическая энергия хаотического движения молекул аргона, если 2 кг его, находясь в сосуде объемом 2 м^3, оказывают давление $3 \cdot 10^5$ Па?

15.48. Средняя энергия хаотического поступательного движения молекул некоторого идеального газа при 0 °С составляет $6{,}7 \cdot 10^{-12}$ Дж. Найдите число молекул этого газа.

15.49. Найдите среднюю энергию атомов аргона, если 2 кмоль этого газа в баллоне объемом 10 л создают давление 10^6 Па.

15.50. * Каковы средние кинетические энергии $\bar{E}$ поступательного движения и средние квадратичные скорости молекул кислорода и водорода при температуре $t = 27$ °С?

Высокий уровень

Решите устно

15.51. Может ли происходить диффузия в одном и том же веществе?

15.52. Почему диффузия в атмосфере не приводит к выравниванию плотности воздуха на разных высотах?

15.53. Объясните с точки зрения молекулярно-кинетической теории: а) возможность сжатия тела под давлением; б) расширение тела при нагревании; г) растворение соли в воде; д) текучесть жидкости и сохранение формы твердыми телами.

15.54. В закрытом сосуде находится газ, молекулы которого при ударах о стенки передают им часть своей кинетической энергии. В результате теплоизолированный сосуд должен был бы все время нагреваться. Почему же этого не происходит?

15.55. Почему барабанная перепонка уха не продавливается бомбардирующими ее молекулами воздуха?

15.56. Какой вид имело бы основное уравнение молекулярно-кинетической теории «одномерного» идеального газа, молекулы которого могут двигаться только вдоль одной прямой, перпендикулярной стенке сосуда?

15.57. В закрытом сосуде происходит полное сгорание кусочка угля с образованием углекислого газа. После этого сосуд охлаждают до начальной температуры. Сравните конечное давление в сосуде с начальным. Объемом угля по сравнению с объемом сосуда можно пренебречь.

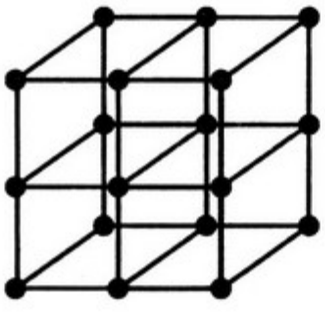
15.58. Один из двух одинаковых сосудов заполнен сухим воздухом, а другой — влажным, содержащим водяной пар. Температуры и давления в обоих сосудах одинаковы. Какой из сосудов легче?

15.59. Как изменилось бы давление в сосуде с газом, если бы внезапно исчезли силы притяжения между его молекулами?

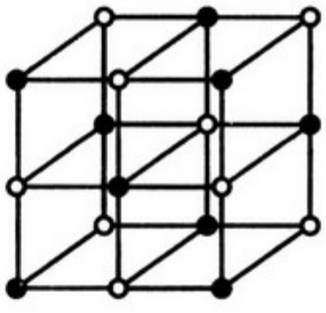
15.60. Молекулы одного газа имеют в Z раз большую массу, чем молекулы другого газа. Сравните их давления при одинаковых концентрациях молекул, если одинаковы: а) средние энергии; б) средние квадратичные скорости их молекул.

Решите и запишите

15.61. Какова плотность ρ кристалла с так называемой простой кубической решеткой (см. рисунок), если масса каждого атома m_0, а длина ребра кубической ячейки a?



К задаче 15.61



К задаче 15.62

15.62. Кристаллы поваренной соли NaCl имеют кубическую решетку, которая состоит из чередующихся ионов натрия и хлора (см. рисунок). Найдите расстояние a между центрами ближайших ионов. Плотность поваренной соли $\rho = 2200$ кг/м^3.

15.63. Многие металлы имеют так называемую гранецентрированную кубическую решетку: ионы расположены в вершинах кубической ячейки и в центрах ее граней. Какова плотность ρ металла, если его молярная масса равна M, а длина ребра кубической ячейки равна a?

15.64. Каково давление p атмосферного воздуха на поверхность, которая поглощает половину налетающих на нее молекул газа?

15.65. В закрытом сосуде при давлении p_0 находится смесь из одного моля кислорода и двух молей водорода. Между газами происходит реакция с образованием водяного пара. Какое давление установится в сосуде после охлаждения до первоначальной температуры? Конденсации пара не происходит.

15.66.  В герметично закрытом баллоне находится смесь из $m_1 = 0{,}50$ г водорода и $m_2 = 8{,}0$ г кислорода при давлении $p_1 = 2{,}35 \cdot 10^5$ Па. Между газами происходит реакция с образованием водяного пара. Какое давление p установится в баллоне после охлаждения до первоначальной температуры? Конденсации пара не происходит.

15.67. В комнате объемом 60 м^3 испарили капельку духов, содержащую 10^{-4} г ароматического вещества. Сколько молекул ароматического вещества попадает в легкие человека при каждом вдохе? Объем вдыхаемого воздуха 1 дм^3. Молярная масса ароматического вещества 1 кг/моль.

15.68.  При повышении абсолютной температуры азота в 2 раза каждая вторая молекула диссоциировала на атомы. Во сколько раз изменилось давление газа?

15.69. На пути молекулярного пучка стоит «зеркальная» стенка. Найдите давление, испытываемое этой стенкой, если скорость молекул в пучке $v = 10^3$ м/с, а концентрация $n = 5 \cdot 10^{17}$ м$^{-3}$, масса $m = 3{,}32 \cdot 10^{-27}$ кг. Рассмотрите три случая: а) стенка расположена перпендикулярно скорости пучка и неподвижна; б) пучок движется по направлению, составляющему со стенкой угол $\alpha = 45°$; в) стенка движется навстречу молекулам со скоростью $u = 50$ м/с.

15.70. Два одинаковых теплоизолированных сосуда разделены между собой краном и оба заполнены кислородом так, что в первом сосуде концентрация молекул в три раза больше, чем во втором. Средняя квадратичная скорость

молекул в первом сосуде 400 м/с, а во втором — 600 м/с. Какой станет средняя квадратичная скорость молекул после открытия крана? Какая температура установится в сосудах?

15.71. Оцените суммарную кинетическую энергию поступательного движения молекул, находящихся в воздухе классной комнаты. Увеличится ли эта энергия при включении отопления?

Олимпиадные задачи

О-75. Смесь газов m состоит из $m_1 = 34$ г азота и некоторого количества (m_2) углекислого газа. Молярная масса смеси $M = 32$ г/моль. Определите массу углекислого газа в смеси.

О-76. Сосуд C сообщается с окружающим пространством через малое отверстие. Температура газа в окружающем пространстве T, давление p. Газ настолько разрежен, что молекулы при пролете в сосуд и из сосуда не сталкиваются друг с другом. В сосуде поддерживается температура $4T$. Каким будет давление в сосуде?

О-77. Для улучшения теплоизоляции в колбе термоса между двойными стеклянными стенками газ находится при таком низком давлении, что длина свободного пробега молекул значительно больше расстояния между стенками колбы. Оцените давление газа в колбе термоса, если известно, что 1 кг горячей воды в нем остывает от 100 °С до 94 °С за 1 час. Между стенками колбы находится гелий.

О-78. Стенки сосуда, в котором находится газ с температурой T, имеют температуру T_c. В каком случае давление газа на стенки сосуда больше: когда стенки сосуда холоднее газа ($T_c < T$) или когда теплее ($T_c > T$)?

16. УРАВНЕНИЕ СОСТОЯНИЯ ИДЕАЛЬНОГО ГАЗА

$$\frac{pV}{T} = \text{const (при } m = \text{const)}, \quad pV = \frac{m}{M}RT$$

Пример решения задачи

Выразите среднюю квадратичную скорость молекул газа через молярную массу газа M и его абсолютную температуру T.

Решение. Из основного уравнения молекулярно-кинетической теории $p = \frac{1}{3}nm_0\overline{v^2}$, с учетом того, что $n = \frac{N}{V}$ и $Nm_0 = m$, получаем $p = \frac{1}{3}\frac{Nm_0}{V}\overline{v^2} = \frac{1}{3}\frac{m}{V}\overline{v^2}$, откуда $pV = \frac{1}{3}m\overline{v^2}$. Сравнивая эту формулу с уравнением Менделеева–Клапейрона $pV = \frac{m}{M}RT$, получаем $\overline{v^2} = \frac{3RT}{M}$. Следовательно, $v_{\text{ср. кв}} = \sqrt{\frac{3RT}{M}}$.

Средний уровень

Решите устно

16.1. Какие параметры характеризуют состояние газа? Связаны ли они между собой? Приведите примеры.

16.2. Что означает выражение «изменение состояния газа»?

16.3. Какое соотношение между давлением, объемом и температурой для данной массы газа? Как называется это соотношение?

16.4. Какая форма уравнения состояния содержит больше информации: уравнение Клапейрона или уравнение Менделеева—Клапейрона?

16.5. Выразите в кельвинах значения температуры: –23 °С, 57 °С, 270 °С.

Решите и запишите

16.6. Определите массу водорода, находящегося в баллоне емкостью 20 л под давлением 830 кПа при температуре 17 °С.

16.7. Какова температура $1{,}6 \cdot 10^{-2}$ кг кислорода, находящегося под давлением 10^6 Па и занимающего объем $1{,}6 \cdot 10^{-3}$ м^3?

16.8. В сосуде вместимостью 500 см^3 содержится 890 г водорода при температуре 17 °С. Найдите давление газа.

16.9. Газ массой 16 г при давлении 1 МПа и температуре 112 °С занимает объем 1,6 л. Определите, какой это газ.

16.10. Объем газа при давлении 720 кПа и температуре 15 °С равен 0,6 м^3. При какой температуре та же масса газа займет объем 1,6 м^3, если давление станет равным 225 кПа?

16.11. Объем водорода при температуре 50 °С и давлении $0{,}98 \cdot 10^5$ Па равен $2{,}5 \cdot 10^{-3}$ м^3. Каков объем этой же массы водорода при 0 °С и давлении 10^5 Па?

16.12. Когда из сосуда выпустили 2/5 газа, давление в нем уменьшилось на 70 %. Как при этом изменилась абсолютная температура газа?

16.13. Каково количество вещества в газе, если при температуре −13 °С и давлении 500 кПа объем газа равен 30 л?

16.14. Определите плотность азота при температуре 27 °С и давлении 100 кПа.

16.15. Сколько весит воздух, занимающий объем 150 л при температуре 15 °С и давлении 150 кПа?

Достаточный уровень

Решите устно

16.16. Газ уменьшался в объеме при $T = \text{const}$ и $p = \text{const}$. Как это могло произойти? Можно ли этот процесс изменения состояния газа описать уравнением $\frac{pV}{T} = \text{const}$?

16.17. Почему газовая постоянная R называется универсальной?

16.18. Как можно экспериментально проверить справедливость уравнения состояния газа?

16.19. При переходе определенной массы газа из одного состояния в другое давление газа уменьшается, а температура увеличивается. Как изменяется объем газа?

16.20. Во всем объеме V_0 газ имеет одинаковое давление p_0 и температуру T_0. Как изобразить на графике состояние этого газа в различных осях координат: а) p и T; б) p и V; в) V и T?

Решите и запишите

16.21. Герметично закрытый сосуд полностью заполнен водой. Каким стало бы давление p внутри сосуда, если бы силы взаимодействия между молекулами воды исчезли? Температура в сосуде постоянна: $t = 27\,^{\circ}\text{C}$.

16.22. Сколько молекул воздуха выходит из комнаты объемом 120 м^3 при повышении температуры от 15 °C до 25 °C? Атмосферное давление считайте равным 10^5 Па.

16.23. Два баллона, имеющие объемы V_1 и V_2, содержат газы при одинаковой температуре T и давлениях p_1 и p_2 соответственно. Баллоны соединены трубкой с краном. Какое давление p установится в баллонах, если открыть кран? Температура не изменяется, газы в химическую реакцию не вступают.

16.24. Когда из сосуда выпустили некоторое количество газа, давление в нем упало на 40 %, а абсолютная температура — на 10 %. Какую часть газа выпустили?

16.25. Цилиндрический сосуд делится на две части тонким металлическим подвижным поршнем. Каким будет равновесное положение поршня, если в одну часть сосуда помещено некоторое количество кислорода, а в другую — такое же по массе количество водорода? Общая длина сосуда 85 см.

16.26. В озере на глубине 100 м при температуре 8 °C находится в равновесии шарик массой 40 г, наполненный воздухом. Найдите массу воздуха внутри шарика, если атмосферное давление 10^5 Па. Шарик считайте тонкостенным, изготовленным из резины.

16.27. Определите плотность смеси, состоящей из 4 г водорода и 32 г кислорода, при температуре 7 °C и давлении 93 кПа.

16.28. Гофрированный (способный легко изменять объем) герметически закрытый сосуд с газом перенесли из смеси воды со льдом в кипящую воду. При этом объем газа увеличили в полтора раза. Увеличилось или уменьшилось давление газа? На сколько процентов изменилось давление?

Высокий уровень

Решите устно

16.29. Может ли молярная масса смеси газов быть меньше, чем молярная масса газа: а) более легкого; б) более тяжелого?

16.30. На улице в банки разного объема взяли пробы воздуха, закрыли их герметически и увеличили его температуру на 200 К. Останутся ли давления в банках равными?

16.31. Одинаковое ли количество воздуха необходимо для накачивания автомобильной шины до нужного давления, если производить эту работу летом и зимой? Ответ обоснуйте.

Решите и запишите

16.32. В один и тот же сосуд поместили одинаковые массы двух различных газов. Равна ли молярная масса смеси полусумме молярных масс газов?

16.33. По газопроводу течет углекислый газ при давлении 5×10^5 Па и температуре 17 °С. Какова скорость движения газа по трубе, если за 5 мин через площадь поперечного сечения 6 см^2 протекает 2,5 кг углекислого газа?

16.34. В легкой герметичной оболочке воздушного шарика находится водород. Определите подъемную силу шарика. Считайте, что оболочка сделана из не упругого материала и может свободно растягиваться. Масса водорода 8 г.

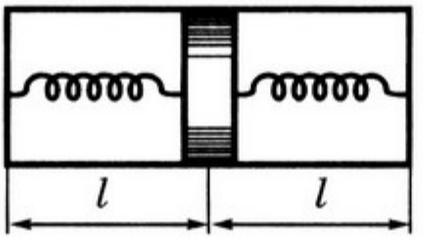
16.35. Оболочка аэростата, находящегося на Земле, наполнена водородом на $\alpha = 7/8$ своего объема при температуре $t_1 = 17$ °С. Аэростат поднялся на высоту, где давление $p_2 = 80$ кПа и температура $t_2 = -3$ °С. Какова масса водорода, который в результате расширения вышел через клапан при подъеме? Объем оболочки $V = 800$ м^3. На поверхности Земли считайте атмосферное давление $p_1 = 100$ кПа.

16.36. Во сколько раз изменится подъемная сила воздушного шара, если наполняющий его гелий заменить водородом? Весом оболочки шара можно пренебречь.

16.37. В цилиндре под поршнем площадью $S = 100$ см^2 и массой $m_1 = 50$ кг находится воздух при температуре $t_1 = 7$ °С. Поршень находится на высоте $h_1 = 60$ см от дна цилиндра. Воздух в цилиндре нагревают до $t_2 = 47$ °С, а на поршень ставят гирю массой $m_2 = 100$ кг. На сколько опустится или поднимется поршень по сравнению со своим начальным положением? Атмосферное давление $p_a = 100$ кПа, трением поршня о стенки цилиндра можно пренебречь.

16.38. Какой радиус r должен иметь наполненный гелием воздушный шар, чтобы он мог подняться в воздух, если масса 1 м^2 оболочки шара $m_0 = 50$ г? Температура воздуха $t = 27\,^\circ$C, давление $p_a = 100$ кПа, разностью давлений внутри шара и снаружи можно пренебречь.

16.39. В цилиндре длиной 2 м поршень соединили с днищами пружинами одинаковой жесткости 1500 Н/м (см. рисунок). Вначале из цилиндра откачан воздух, пружины находятся в ненапряженном состоянии. На какое расстояние переместится поршень, если в одну из частей цилиндра ввести 28 г азота? Температура азота 0 °C.



16.40. Баллон с газом разделен на две части теплоизолирующей перегородкой с очень малым отверстием[1]. По разные стороны перегородки все время поддерживаются температуры T_1 и T_2. Каково отношение давлений p_1 и p_2 в различных частях баллона?

16.41. В баллоне объемом 0,2 м^3 находится газ под давлением 10^5 Па при температуре 17 °C. После подкачивания газа давление повысилось до $3 \cdot 10^5$ Па, а температура увеличилась до 47 °C. На сколько увеличилось число молекул газа в баллоне?

16.42. Закрытый с обоих концов цилиндр наполнен газом при давлении 100 кПа и температуре 30 °C и разделен легкоподвижным теплонепроницаемым поршнем на две равные части длиной по 50 см. На какую величину ΔT нужно повысить температуру газа в одной половине цилиндра, чтобы поршень сместился на 20 см, если во второй половине цилиндра температура не изменилась? Определите установившееся давление газа в сосуде.

16.43. В баллоне находится смесь газов массами m_1, m_2, ..., m_n и молярными массами M_1, M_2, ..., M_n при температуре T. Какова молярная масса смеси (т. е. молярная масса газа,

[1] Это означает, что молекулы проходят в отверстие только «поодиночке», т. е. макроскопическое движение газа вблизи отверстия не может возникнуть.

который при массе, равной массе смеси, создавал бы такое же давление при такой же температуре)?

16.44. В цилиндрическом сосуде длиной L и площадью поперечного сечения S, разделенном тонкой подвижной перегородкой, находятся два газа: в одной части кислород массой m_1 при температуре T_1, в другой — водород массой m_2 при температуре T_2. Какое давление установится в сосуде, если убрать перегородку и сообщить смеси газов температуру T_3?

16.45. Тонкий поршень массой m находится в равновесии посередине герметично закрытого цилиндра длиной $2l$. В каждой половине цилиндра находится ν молей газа при температуре T. Найдите период τ малых колебаний поршня, считая, что температура газа при колебаниях остается неизменной. Трением можно пренебречь.

Олимпиадные задачи

О-79. Пробирка массой m содержит один моль идеального газа массой M при температуре T. Пробирка находится в вакууме и закрыта очень легкой пробкой. Оцените скорость пробирки после того, как пробка вылетит из бутылки и весь газ выйдет из пробирки наружу.

О-80. В сосуде объемом 1 м^3 находится смесь газов — гелия и кислорода. При температуре $t = -2\,^\circ\text{C}$ и давлении $p = 9 \cdot 10^4$ Па плотность этой смеси $\rho = 0{,}44$ кг/м^3. Каким станет давление в сосуде, если из него удалить половину молекул кислорода?

О-81. Изготовлена модель парового реактивного двигателя. Водяной пар нагревается спиртовкой, мощность теплопередачи которой котлу 100 Вт. Пар из котла выходит через отверстие площадью 0,2 мм^2. Определите силу тяги реактивного двигателя.

О-82. Герметически закрытый бак высотой $h = 5{,}0$ м заполнен водой доверху. На дне его находится пузырек воздуха. Давление у дна бака $p_0 = 0{,}15$ МПа. Каким станет давление p у дна, если пузырек всплывет? Стенки бака считайте абсолютно жесткими, воду — несжимаемой.

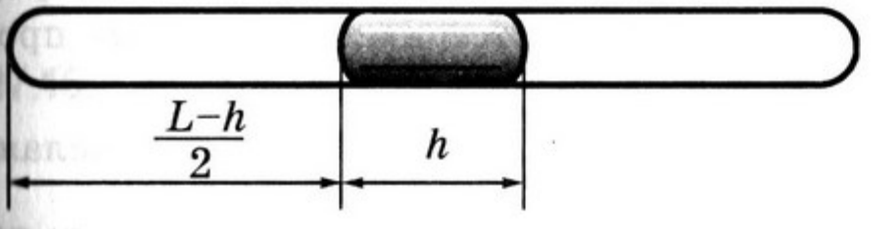
17. ГАЗОВЫЕ ЗАКОНЫ[1]

$$p_1V_1 = p_2V_2, \quad \frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2}, \quad \frac{p_1}{p_2} = \frac{T_1}{T_2}$$

Пример решения задачи

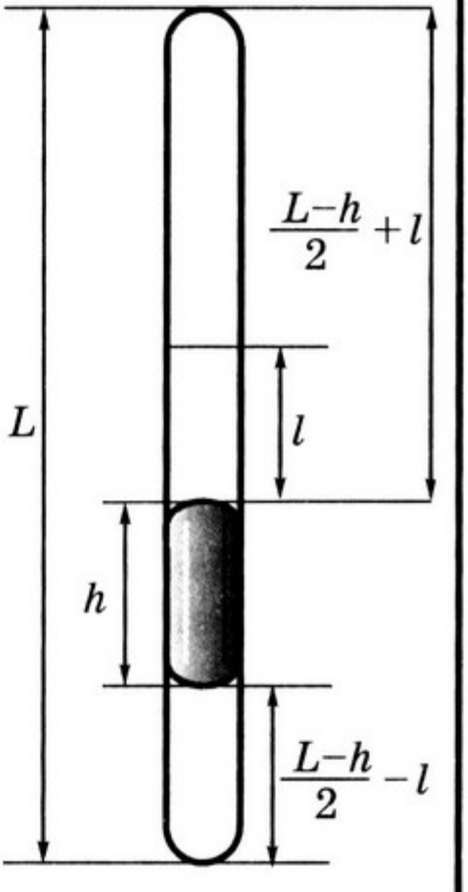
Посредине откачанной и запаянной с обоих концов горизонтальной трубки длиной $L = 1$ м находится столбик ртути высотой $h = 20$ см. Когда трубку поставили вертикально, столбик ртути опустился на $l = 10$ см. До какого давления была откачана трубка?

Решение. При горизонтальном положении трубки (рис. *а*) в обеих ее концах газ занимает одинаковый объем $V_1 = \frac{L-h}{2}S$, где S — площадь поперечного сечения трубки, и находится под одинаковым давлением p_1.



а

Когда трубку поставили вертикально (рис. б), объем воздуха в верхней части трубки стал равным $V_2 = \left(\frac{L-h}{2} + h\right) \cdot S$ при некотором давлении p_2. В нижней части трубки объем газа будет $V_3 = \left(\frac{L-h}{2} - l\right) \cdot S$, а давление p_3. Давление воздуха в трубке изменяется изотермически.



б

Согласно закону Бойля–Мариотта для верхней части трубки

$$p_1\left(\frac{L-h}{2}\right) \cdot S = p_2\left(\frac{L-h}{2} + l\right) \cdot S,$$

[1] В задачах этого раздела массы газов считаются постоянными, если иное не оговорено.

откуда получаем, что $p_1(L-h)=p_2(L-h+2l)$. Для нижней части трубки соответственно $p_1(L-h)=p_3(L-h-2l)$. С другой стороны, разность давлений равна давлению столбика ртути, поэтому $p_3S=p_2S+\rho ghS$. Исключив из написанных уравнений p_2 и p_3, найдем, что $p_1=\dfrac{\rho gh\left[(L-h)^2-4l^2\right]}{4l(L-h)}=5\cdot10^4$ (Па).

Ответ. 50 кПа.

Средний уровень

Решите устно

17.1. Почему в гараже шины колес автомобиля нагнетают воздухом зимой до большего давления, чем летом?

17.2. При надувании щек и давление, и объем воздуха во рту возрастают, а температура остается неизменной. Не противоречит ли это закону Бойля–Мариотта?

17.3. Иногда из водопроводного крана вода вытекает белая, будто молоко. Чем это объясняется?

17.4. Баллоны электрических ламп заполняют азотом при пониженном (до 50 кПа) давлении. Почему?

17.5. Объясните, для чего перед использованием медицинской банки внутрь нее вносят горящий, смоченный спиртом, ватный тампон.

17.6. Как изменится давление газа в цилиндре, если поршень медленно опустить на 1/3 высоты цилиндра?

17.7. Иногда из бутылки, наполненной газированной водой, вылетает пробка, если бутылка поставлена в теплое место. Почему?

17.8. Почему у глубоководных рыб плавательный пузырь выходит через рот наружу, если их извлечь из воды?

Решите и запишите

17.9. При каком давлении газ, занимавший объем $2{,}3\cdot10^{-4}$ м^3, будет сжат до объема $2{,}25\cdot10^{-4}$ м^3, если температура газа остается неизменной? Первоначальное давление газа равно $0{,}95\cdot10^5$ Па.

17.10. Газ сжали от первоначального объема 0,6 м^3 до объема 0,4 м^3. Давление его при этом повысилось на $2 \cdot 10^5$ Па. Каково первоначальное давление газа?

17.11. В цилиндре под поршнем изобарно охлаждают 0,2 м^3 газа от 50 °С до 0 °С. Каков объем охлажденного газа?

17.12. Наружный воздух, поступающий через вентиляционную камеру в туннель метрополитена, предварительно подогревают от –20° до +30 °С. Во сколько раз изменяется объем воздуха?

17.13. При изохорном охлаждении идеального газа, взятого при температуре 480 К, его давление уменьшилось в 1,5 раза. Какой стала конечная температура газа?

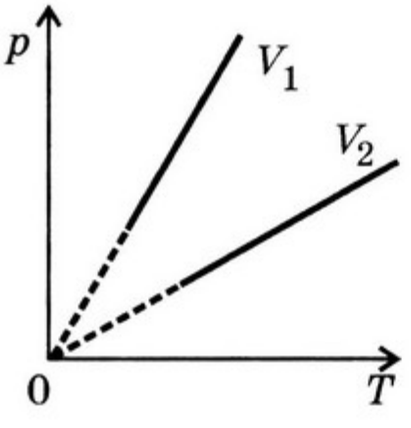
17.14. На сколько градусов надо нагреть газ, находящийся в закрытом сосуде при 27 °С, чтобы его давление увеличилось в 2 раза?

17.15. Температура газа в закрытом сосуде возросла на 150 °С, а давление увеличилось в 1,5 раза. Определите начальную температуру газа.

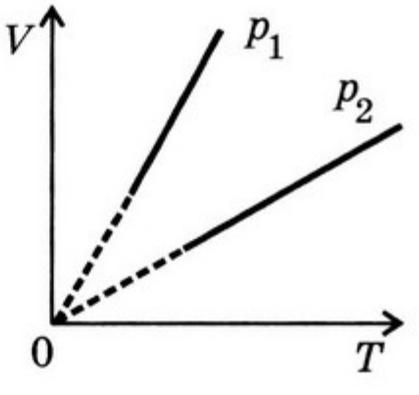
17.16. При изобарном процессе объем газа увеличился на 20 %. Определите конечную температуру газа, если его начальная температура была равна 17 °С.

17.17. В результате изобарного процесса температура газа возросла на 50 %, а объем стал равен 60 л. Каков начальный объем газа?

17.18. На рисунке изображены две изохоры для двух идеальных газов. Сравните объемы V_1 и V_2. Массы газов постоянны.



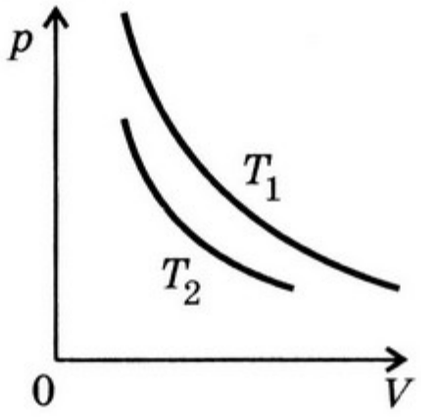
К задаче 17.18



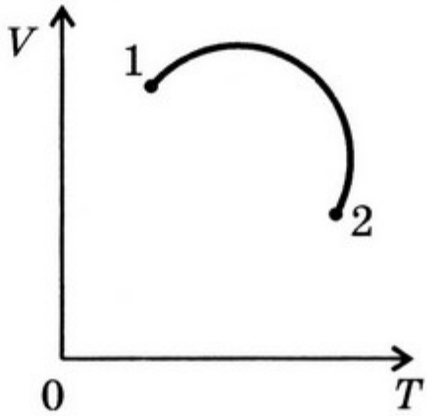
К задаче 17.19

17.19. На рисунке изображены две изобары для двух газов. Газы можно считать идеальными. Сравните давления p_1 и p_2. Массы газов постоянны.

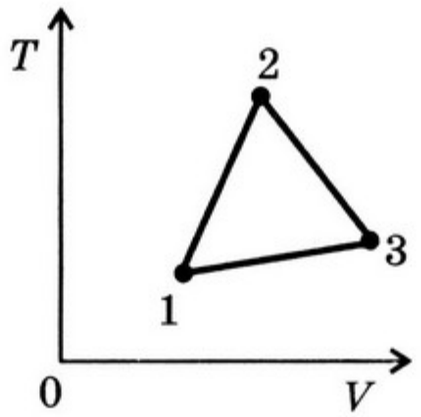
17.20. На рисунке изображены две изотермы для двух газов. Газы можно считать идеальными. Сравните температуры T_1 и T_2. Массы газов постоянны.



17.21. Идеальный газ переведен из состояния 1 в состояние 2. Увеличивалось или уменьшалось давление газа данной массы в течение процесса 1–2?



17.22. Определите, как изменялось давление данной массы идеального газа в процессе 1–2–3.



Достаточный уровень

Решите устно

17.23. Почему в изотермическом процессе при уменьшении объема газа его давление увеличивается?

17.24. Почему мыльные пузыри, наполненные воздухом, некоторое время поднимаются, а потом опускаются?

17.25. Давление некоторой массы идеального газа увеличили изотермически вдвое. Как при этом изменится плотность газа?

17.26. На сколько гардусов надо изобарно нагреть газ, чтобы он занял объем, в 2 раза превышающий объем при 0 °С?

17.27. Абсолютную температуру данной массы идеального газа увеличили в 2 раза. Как при этом изменяется плотность газа, если нагревание проводилось изобарно?

17.28. Абсолютную температуру данной массы идеального газа увеличили в 2 раза. Как при этом изменяется плотность газа, если нагревание проводилось изохорно?

Решите и запишите

17.29. Давление данной массы газа при постоянной температуре увеличилось на $1/n$ часть первоначального. На какую долю первоначального объема V_1 при этом уменьшился объем газа?

17.30. На какой глубине радиус пузырька воздуха вдвое меньше, чем у поверхности воды, если атмосферное давление у поверхности воды p_0?

17.31. Под водой на глубине $h = 5{,}0$ м отломили нижний конец запаянной стеклянной трубки, и в нее вошло $m = 1{,}95$ г воды. Каким было давление p_0 в запаянной трубке? Объем трубки $V = 2{,}0$ см^3, атмосферное давление $p_a = 10^5$ Па.

17.32. Открытую с двух концов вертикальную стеклянную трубку длиной $l = 0{,}5$ м наполовину погружают в ртуть. Затем трубку закрывают сверху и вынимают. Какова длина x оставшегося в трубке столбика ртути? Атмосферное давление $H = 750$ мм рт. ст.

17.33. Сколько ртути войдет в стеклянный баллончик объемом V_0, нагретый до температуры t_0, при остывании до t_1, если плотность ртути при температуре t_1 равна ρ?

17.34. В шинах автомобиля температура воздуха $t_1 = 14$ °С, а его давление $p_1 = 500$ кПа. Во сколько раз уменьшится площадь соприкосновения колес с дорогой, если после поездки температура в шинах повысится до $t_2 = 57$ °С? Атмосферное давление $p_a = 100$ кПа. Изменением объема шины можно пренебречь.

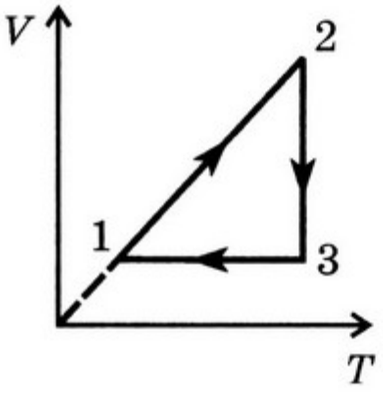
17.35. В сосуд с ртутью опускают открытую с двух концов стеклянную трубку, оставляя над поверхностью часть трубки длиной $l = 60$ см. Затем трубку закрывают сверху и погружают еще на $a = 30$ см. Какой станет высота h столба воздуха в трубке? Атмосферное давление $H = 760$ мм рт. ст.

17.36. Рабочий объем цилиндра поршневого насоса 0,5 л. Насос соединен с баллоном вместимостью 3 л, содержащим воздух при давлении $1{,}01 \cdot 10^5$ Па. Найдите давление воздуха в баллоне после пяти рабочих ходов поршня в случае работы насоса в разрежающем режиме.

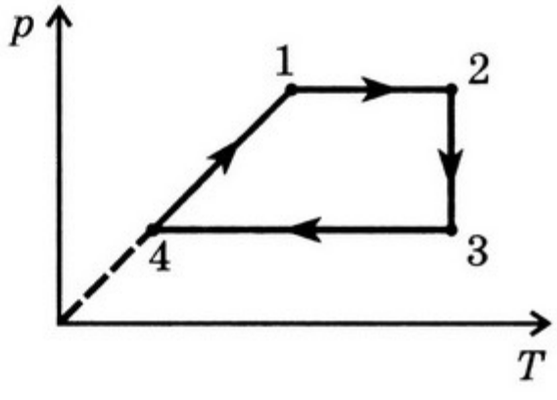
17.37. Нагревается или охлаждается газ, расширяющийся по закону: а) $pV^2 = \text{const}$; б) $p = \text{const}$; в) $p/V = \text{const}$?

17.38. В ванночку, наполненную теплой водой, опрокинут стакан. Расстояние от уровня воды до дна стакана равно h, а уровень воды внутри и вне стакана одинаков. Когда температура воды и стакана понизилась до 288 К, уровень воды в стакане повысился на $\frac{1}{20}h$. Определите начальную температуру воды в ванночке.

17.39. Постройте графики процесса, происходящего с идеальным газом (см. рисунок), в координатах p, T и p, V. Масса газа постоянна.



К задаче 17.39

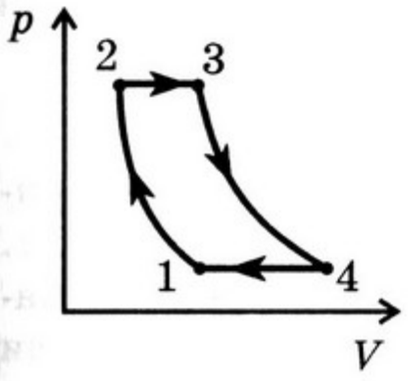


К задаче 17.40

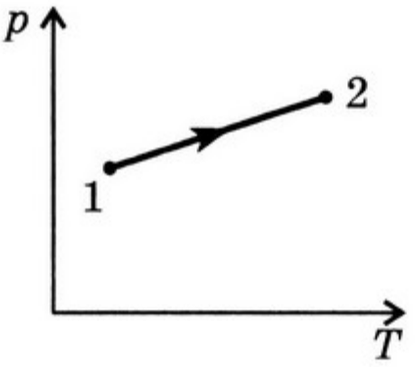
17.40. Постройте графики процесса, происходящего с идеальным газом (см. рисунок), в координатах p, V и V, T. Масса газа постоянна.

17.41. Постройте графики процесса, происходящего с идеальным газом (см. рисунок), в координатах p, T и V, T. Масса газа постоянна. Участки графика 1–2 и 3–4 соответствуют изотермическим процессам.

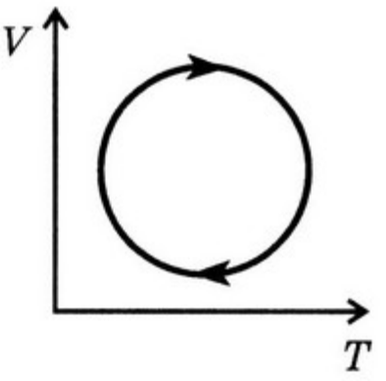
17.42. Сравните объем данной массы идеального газа в состояниях 1 и 2 (см. рисунок).



К задаче 17.41



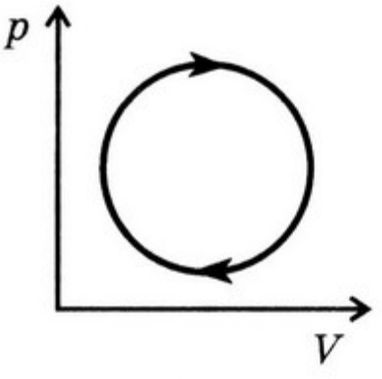
К задаче 17.42



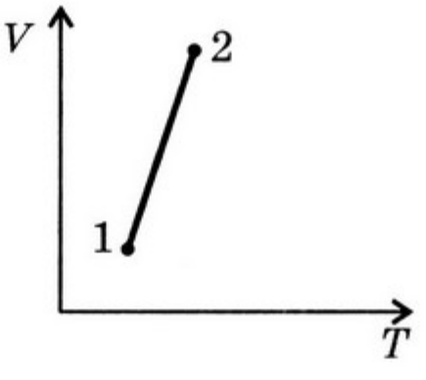
К задаче 17.43

17.43. Как менялось давление идеального газа в ходе процесса, график которого изображен на рисунке? Укажите точки на графике, соответствующие наибольшему и наименьшему давлению.

17.44. Укажите точку, в которой достигалась наибольшая температура идеального газа в ходе процесса, график которого изображен на рисунке (дайте графическое решение).



К задаче 17.44



К задаче 17.45

17.45. Поршень в цилиндре с газом неплотно прилегает к стенке и пропускает газ наружу. На рисунке показана зависимость объема газа от температуры при изобарном процессе. Укажите направление процесса.

Высокий уровень

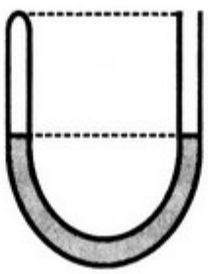
Решите устно

17.46. Какие отступления от закона Бойля–Мариотта можно предсказать, если учитывать силы притяжения и отталкивания между молекулами газа?

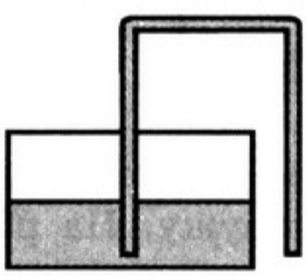
17.47. Время пробега реактивного самолета по взлетной полосе аэродрома с повышением температуры наружного воздуха увеличивается. Как это можно объяснить?

Решите и запишите

17.48. В левом, запаянном колене U-образной трубки (см. рисунок) находится столб воздуха высотой $h_1 = 30$ см. Ртуть в обоих коленах находится на одном уровне. Какой будет высота h_2 столба воздуха в левом колене, если в правое колено долить ртуть доверху? Атмосферное давление $H = 760$ мм рт. ст.



17.49. Цилиндрический сосуд высотой $h = 60$ см до половины заполнен ртутью и герметично закрыт крышкой с сифонной трубкой, заполненной ртутью (см. рисунок). Трубка имеет колена равной длины и почти достигает дна сосуда. При каком давлении p воздуха в сосуде ртуть перестанет вытекать через трубку? На сколько сантиметров понизится уровень ртути за время истечения? Считайте, что начальное давление воздуха в сосуде равняется атмосферному ($H = 760$ мм рт. ст.).

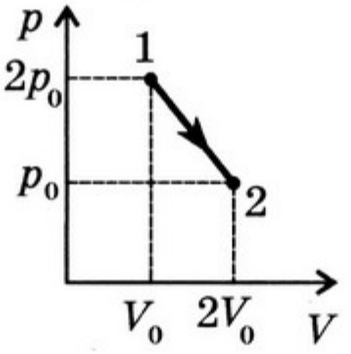


17.50. Компрессор нагнетает воздух в резервуар емкостью V, захватывая при каждом качании объем воздуха ΔV. Первоначально давление в резервуаре равно атмосферному p_a. Какое давление p_N установится в резервуаре после N качаний компрессора? Считайте, что температура воздуха при сжатии не изменяется.

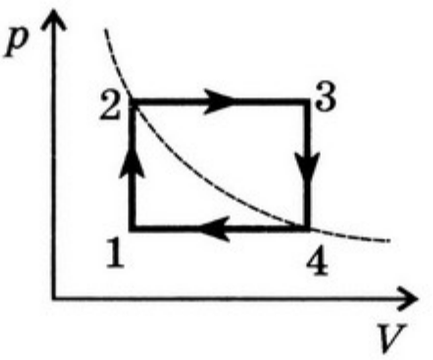
17.51. Поршневым воздушным насосом с емкостью ΔV откачивают воздух из сосуда емкостью V. Начальное давление

равно атмосферному p_a. Каково давление p_N в сосуде после N качаний насоса? Температуру можно считать неизменной.

17.52. Один моль идеального газа переводят из состояния 1 в состояние 2 (см. рисунок). Найдите максимальную температуру T_{max} газа в ходе процесса.

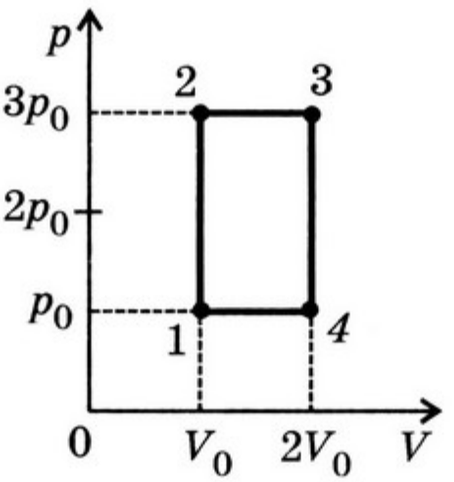


17.53. Какова температура идеального газа в состоянии 2 (см. рисунок), если состояния 2 и 4 лежат на одной изотерме? Температуры T_1 и T_3 в состояниях 1 и 3 считайте заданными.

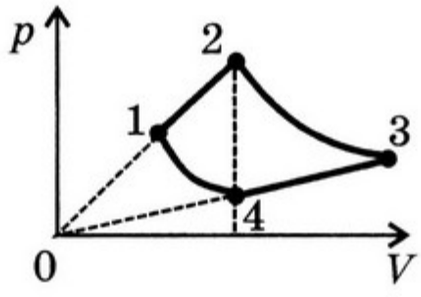


17.54. Открытую с обеих сторон стеклянную трубку длиной 60 см опускают в сосуд с ртутью на 1/3 длины. Затем, закрыв верхний конец трубки, вынимают ее из ртути. Какой длины столбик ртути останется в трубке? Атмосферное давление примите равным 760 мм рт. ст.

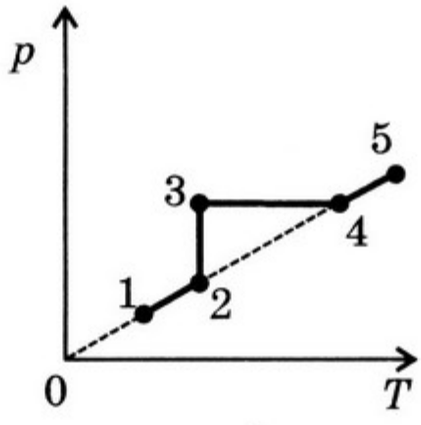
17.55. Изменение состояния идеального газа постоянной массы изображено на рисунке. В точке 1 температура газа T_0. Определите температуру газа в точках 2, 3, 4.



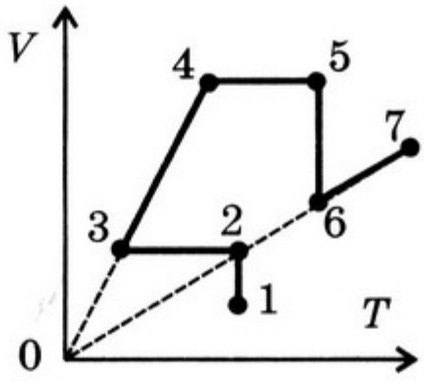
17.56. Моль идеального газа участвует в тепловом процессе 1-2-3-4-1, изображенном в координатах p, V. Продолжения отрезков прямых 1–2 и 3–4 проходят через начало координат, а кривые 1–4 и 2–3 являются изотермами. Изобразите этот процесс в координатах V, T и найдите объем V_3, если известны объемы V_1 и $V_2 = V_4$.



17.57. С идеальным газом некоторой массы был произведен процесс, изображенный на рисунке. Вычертите эту диаграмму в координатах p, V и V, T.



17.58. С идеальным газом некоторой массы был произведен процесс, изображенный на рисунке. Вычертите эту диаграмму в координатах p, V и p, T.



17.59. В баллон объемом 8 л налили 10 г воды. Затем баллон герметично закрыли и нагрели от 20 °C до 180 °C. Вся вода при этом испарилась. Какое давление установилось внутри баллона?

О-83. Какую наибольшую разность давлений можно измерить с помощью U-образных ртутных манометров, соединенных последовательно короткой трубкой, если каждый из них позволяет измерить давление до 10^5 Па?

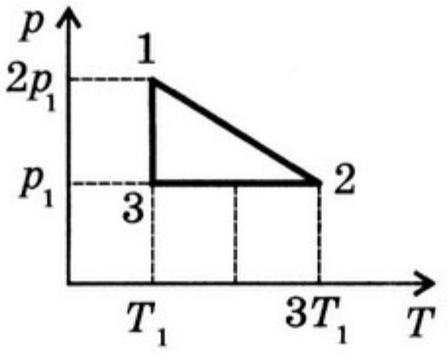
О-84. Докажите, что подъемная сила аэростата с герметичной эластичной оболочкой, наполненной более легким газом, чем воздух, не зависит от высоты подъема аэростата при любом законе изменения давления с высотой. Считайте, что температура газа в аэростате равна температуре окружающего воздуха.

О-85. Произведение давления газа на его объем (pV) не меняется с изменением объема при постоянной температуре, только если предположить, что газы, с которыми мы имеем дело, являются идеальными.

Определите, будет уменьшаться или увеличиваться произведение pV при очень сильном сжатии газа, если не делать предположения об идеальности последнего.

О-86. В закрытом сосуде объемом 10 л находится сухой воздух при следующих условиях: давление 10^5 Па, температура 20 °С. В сосуд наливают воду массой 3 г и нагревают его до температуры 100 °С. Каким станет давление в сосуде после нагревания? Тепловым расширением сосуда можно пренебречь.

О-87. Над идеальным газом совершают процесс 1–2–3, изображенный на диаграмме в координатах p, T. Найдите отношение максимального и минимального объемов.



Первый закон термодинамики. Адиабатный процесс. Второй закон термодинамики *и его статистическое истолкование.* Принципы действия тепловых машин. КПД тепловой машины. Проблемы энергетики и охрана окружающей среды.

18. ЗАКОНЫ ТЕРМОДИНАМИКИ

$$\Delta U = Q + A, \quad U = \frac{3}{2}\nu RT, \quad A = -p\Delta V$$

Пример решения задачи

В двух закрытых стеклянных колбах при одинаковой температуре находятся равные массы гелия и неона. Сосуды нагрели так, что температура газов изменилась одинаково. Какому из газов сообщили большее количество теплоты? Во сколько раз большее? Молярные массы гелия и неона $M_{He} = 4 \cdot 10^{-3}$ кг/моль, $M_{Ne} = 20 \cdot 10^{-3}$ кг/моль.

Решение. Согласно первому закону термодинамики $Q = \Delta U + A_г$. В данном случае процесс происходит при постоянном объеме (закрытые стеклянные колбы). Поэтому работа газа равна нулю и, следовательно, $Q = \Delta U$. Так как внутренняя энергия одноатомного газа $U = (3/2)\nu RT$, то $Q = \Delta U = (3/2)\nu R\Delta T$. Поскольку температура газов изменилась на одну и ту же величину, то $Q_{He}/Q_{Ne} = \nu_{He}/\nu_{Ne}$. Количество вещества $\nu = m/M$, где m — масса газа, M — его молярная масса. По условию массы газов равны, поэтому $\nu_{He}/\nu_{Ne} = M_{Ne}/M_{He}$.

Следовательно, $Q_{He}/Q_{Ne} = M_{Ne}/M_{He} = 5$.

Комментарий. При одинаковом изменении температуры ***средняя энергия молекул*** в обоих газах ***увеличилась на одну и ту же величину***. А при равной массе газов в сосуде с гелием содержится в 5 раз больше молекул, чем в сосуде с неоном, так как масса одной молекулы гелия в 5 раз меньше массы одной молекулы неона.

Пример решения задачи

Одну и ту же массу одноатомного идеального газа нагревают один раз при постоянном объеме, а другой раз — при постоянном давлении. В каком случае газу передается большее количество теплоты, если изменение температуры ΔT в обоих случаях одинаково? Во сколько раз большее?

Решение. Так как изменение температуры газа в обоих случаях одинаково, его внутренняя энергия в обоих случаях увеличивается на одну и ту же величину (внутренняя энергия газа зависит только от температуры).

Если нагревание происходит при постоянном объеме, то газ не совершает работу, и поэтому все подведенное к газу количество теплоты идет только на увеличение его внутренней энергии. В случае же нагревания при постоянном давлении газ ***расширяется*** и, следовательно, сообщаемое газу тепло идет не только на увеличение его внутренней энергии, но ***и на совершение работы.*** Поэтому в случае изобарного процесса надо подвести к газу большее количество теплоты.

Чтобы ответить на второй вопрос задачи, запишем первый закон термодинамики $Q = \Delta U + A_{\text{г}}$ применительно к обоим процессам. Для изохорного процесса $A_{\text{г}} = 0$,

поэтому $Q_1 = \Delta U = \frac{3}{2}\nu R\Delta T$. Для изобарного процесса

$$Q_2 = \Delta U + A_{\text{г}} = \frac{3}{2}\nu R\Delta T + p\Delta V.$$

Согласно уравнению состояния газа, $pV = \nu RT$, поэтому $p\Delta V = \nu R\Delta T$. Таким образом,

$$Q_2 = \Delta U + A_{\text{г}} = \frac{3}{2}\nu R\Delta T + \nu R\Delta T = \frac{5}{2}\nu R\Delta T.$$

Итак, $Q_2/Q_1 = 5/3$.

Отсюда следует, что при изохорном процессе 3/5 подведенного к газу количества теплоты идет на увеличение внутренней энергии газа, а 2/5 — на совершение работы.

Средний уровень

Решите устно

18.1. Какие вы знаете способы изменения внутренней энергии?

18.2. От каких физических величин зависит внутренняя энергия газа?

18.3. Можно ли повысить температуру газа, не сообщая ему некоторое количество теплоты? Обоснуйте ваш ответ.

18.4. Куда расходуется кинетическая энергия движущегося вагона при остановке?

18.5. Может ли быть изменение внутренней энергии отрицательной величиной?

18.6. Из колбы с газом откачали половину газа. Изменилась ли при этом внутренняя энергия, если температура газа осталась прежней? Ответ поясните.

18.7. Чем различаются работы, совершенные при расширении и сжатии газа?

18.8. В каком случае работа газа отрицательна?

18.9. Может ли газ совершить работу без изменения внутренней энергии?

18.10. Кусок мягкой проволоки несколько раз согнули и разогнули. В какую форму энергии перешла затраченная при этом энергия?

18.11. При каком процессе внутренняя энергия газа не изменяется?

18.12. Можно ли сообщить газу некоторое количество теплоты, не вызывая при этом повышения его температуры?

18.13. В каких из указанных ниже процессов газ не совершает работу: а) изохорное нагревание; б) изобарное нагревание; в) изобарное расширение; г) изохорное охлаждение; д) изобарное сжатие?

18.14. Приведите примеры адиабатных процессов в природе и технике.

Решите и запишите

18.15. В баллоне находится аргон массой 2 кг при температуре 20 °С. Чему равна внутренняя энергия газа?

18.16. Внутренняя энергия некоторой массы одноатомного газа при 32 °С равна 1 Дж. Сколько молекул содержится в этой массе газа?

18.17. Определите внутреннюю энергию 3 моль одноатомного идеального газа при температуре 127 °С.

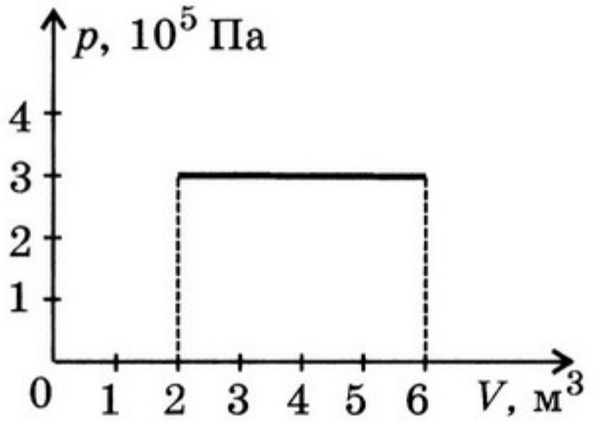
18.18. Какова температура одноатомного идеального газа, если известно, что внутренняя энергия 2 моль составляет 8,31 кДж?

18.19. Идеальный газ занимает объем 5 л и имеет давление 200 кПа. Какова его внутренняя энергия?

18.20. Какую работу совершает газ, расширяясь изобарно при давлении $2 \cdot 10^5$ Па от объема 1,6 л до объема 2,5 л?

18.21. При изобарном расширении газа была совершена работа 600 Дж. На сколько изменился объем газа, если давление газа было $4 \cdot 10^5$ Па?

18.22. На рисунке показана изобара газа в координатах p, V. Определите работу, совершенную газом в процессе расширения.



18.23. Некоторый газ занимал объем 20 л. Каким стал объем газа, если при изобарном расширении была совершена работа 496 Дж? Давление газа 80 кПа.

18.24. При изобарном сжатии газа до объема 0,3 м^3 внешние силы совершили работу 20 кДж. Каков начальный объем газа, если его давление равно 10^5 Па?

18.25. На сколько изменилась внутренняя энергия газа, если ему сообщили количество теплоты 30 кДж и совершили над ним работу 70 кДж?

18.26. На сколько изменилась внутренняя энергия газа, который совершил работу 150 кДж, получив количество теплоты 175 кДж?

18.27. В ходе изотермического расширения газу было передано количество теплоты 500 Дж. Какую работу совершил газ?

18.28. При изохорном нагревании газу было передано 400 Дж теплоты. Какую работу совершил газ? Чему равно изменение внутренней энергии газа?

18.29. Для изобарного нагревания газа, количество вещества которого 800 моль, на 500 К ему сообщили количество теплоты 9,4 МДж. Определите работу газа и изменение его внутренней энергии.

18.30. Одноатомному газу (ν = 2 моль) передано количество теплоты 1,2 кДж. При этом газ совершил работу 600 Дж. На сколько изменилась температура газа?

Достаточный уровень

Решите устно

18.31. Если из стакана вылить часть воды, то суммарная кинетическая энергия молекул уменьшится. Означает ли это, что температура воды уменьшится?

18.32. Моль какого газа — водорода или гелия — имеет бóльшую внутреннюю энергию при одинаковой температуре?

18.33. Почему при адиабатном расширении газа его температура понижается? Как при этом изменяется его внутренняя энергия? Ответ поясните.

18.34. В одном из двух одинаковых баллонов хранится гелий, а в другом — водород. Оба газа находятся в одинаковых условиях. Какой из газов обладает большей внутренней энергией?

18.35. Почему газированная вода прохладнее негазированной?

18.36. Можно ли работу идеального газа характеризовать изменением его потенциальной энергии?

18.37. Какую работу совершает моль газа, если его изохорно нагреть на один градус?

18.38. Каково соотношение между полученным от нагревателя количеством теплоты и совершенной механической работой при изотермическом расширении газа?

18.39. Почему изотермическое расширение газа возможно только при подведении к нему некоторого количества теплоты?

18.40. При каких из указанных ниже процессов газ получает тепло: а) изохорное нагревание; б) изобарное нагревание; в) изотермическое сжатие; г) адиабатное расширение?

18.41. При каких из указанных ниже процессов газ совершает положительную работу: а) изохорное нагревание; б) изобарное нагревание; в) изотермическое сжатие; г) адиабатное расширение?

18.42. Если открыть вентиль баллона со сжатым газом, баллон даже летом может покрыться инеем. Объясните это явление.

Решите и запишите

18.43.  После включения отопления воздух в комнате нагрелся от температуры T_0 до температуры T. Во сколько раз изменилась внутренняя энергия воздуха, находящегося в комнате?

18.44. Один моль паров ртути и один моль гелия имеют одинаковую температуру. Какой из газов имеет бóльшую внутреннюю энергию? Во сколько раз?

18.45. Один грамм паров ртути и один грамм гелия имеют одинаковую температуру. Какой из газов имеет бóльшую внутреннюю энергию? Во сколько раз бóльшую?

18.46. Какова внутренняя энергия одноатомного газа, занимающего при температуре 400 К объем 2,5 л, если концентрация его молекул 10^{20} см$^{-3}$?

18.47. Определите работу расширения 20 л газа при изобарном нагревании от 27 °С до 120 °С. Давление газа 80 кПа.

18.48. В цилиндре под поршнем находится кислород. Определите массу кислорода, если известно, что работа, совершаемая при нагревании газа от 273 К до 473 К, равна 16 кДж. Трение можно не учитывать.

18.49. В результате изобарного расширения 5 моль идеального газа его температура возросла на 80 К. Чему равна работа газа?

18.50.  Объем некоторой массы газа увеличивается вдвое. В каком случае газ совершает бóльшую работу — при изобарном расширении или при изотермическом?

18.51.  Газ находится в вертикальном цилиндре, герметично закрытом сверху поршнем. Одинаковое ли количество теплоты получит газ при нагревании на 10 К, если: 1) поршень закреплен; 2) поршень легко перемещается?

18.52. Гелий массой 1,1 кг изобарно нагрели на 810 К. Найдите: 1) работу, совершенную газом; 2) количество теплоты, сообщенное газу; 3) изменение внутренней энергии.

18.53. Объем кислорода массой 160 г, температура которого 27 °С, при изобарном нагревании увеличили вдвое. Найдите работу газа при расширении, количество теплоты, которое пошло на нагревание кислорода, изменение его внутренней энергии.

18.54. Какая часть количества теплоты, сообщенного одноатомному газу в изобарном процессе, идет на увеличение внутренней энергии и какая часть — на совершение работы?

18.55. Для нагревания 10 г неизвестного газа на 1 К при постоянном давлении требуется 9,12 Дж, при постоянном объеме — 6,49 Дж. Какой это может быть газ?

18.56. Для повышения температуры газа, имеющего массу 20 кг и молярную массу 0,028 кг/моль, на 50 К при постоянном давлении необходимо затратить количество теплоты 0,5 МДж. Какое количество теплоты следует отнять от этого газа при постоянном объеме, чтобы его температура понизилась на 50 К?

Высокий уровень

Решите устно

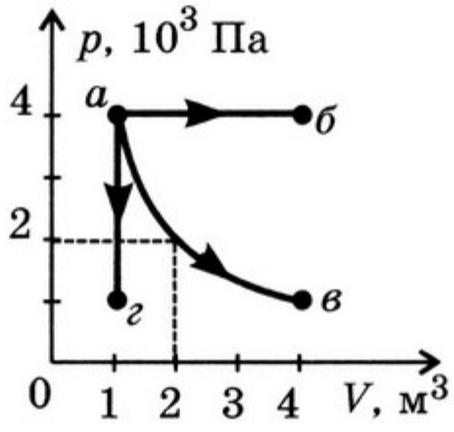
18.57. Можно ли определить внутреннюю энергию моля кислорода, используя формулу внутренней энергии одноатомного идеального газа? Ответ обоснуйте.

18.58. Почему при вколачивании гвоздя в дерево шляпка его мало нагревается, а когда гвоздь вбит, достаточно нескольких ударов, чтобы сильно нагреть шляпку?

18.59. Можно ли утверждать, что работа и количество теплоты — это некоторые особые формы энергии в природе? Почему?

18.60. Чем отличается внутренняя энергия идеального и реального газов?

18.61. На рисунке показаны различные процессы изменения состояния идеального газа. а) Назовите процессы. б) В каком процессе совершается бóльшая работа? Чему она равна?



18.62. В надувном шарике и стальном баллоне содержатся одинаковые массы воздуха. В каком случае для нагревания воздуха на 1 К потребуется большее количество теплоты?

18.63. В тонкостенном металлическом цилиндре газ очень медленно сжали поршнем. Изменилась ли внутренняя энергия газа? Ответ поясните.

18.64. Объем газа уменьшают вдвое: в первый раз — быстро, а во второй — медленно. В каком случае: а) сразу после

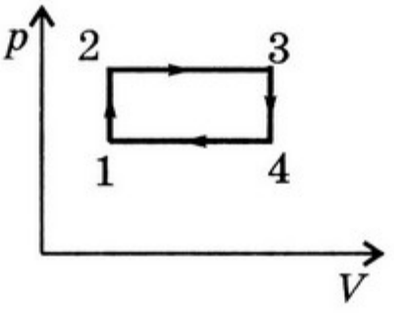
сжатия давление газа больше; б) при сжатии совершили бóльшую работу? Почему?

18.65. Сравните работы, которые совершают одинаковые массы водорода и кислорода при изобарном нагревании, если температура газов изменяется одинаково?

18.66. В каком случае изменение давления газа будет большим: при адиабатическом или изотермическом уменьшении его объема? Почему?

Решите и запишите

18.67. На рисунке показан график циклического процесса. На каких этапах процесса газ получал тепло, на каких отдавал? Какое количество теплоты больше: полученное от нагревателя или отданное холодильнику? Газ считайте идеальным, его массу — неизменной.



18.68. В цилиндре под поршнем находится сухой воздух. С ним поочередно происходят следующие процессы: изохорное нагревание, изобарное расширение, изотермическое расширение. Затем воздух изобарно возвращается в исходное состояние. Начертите график процесса в координатах p, V. Укажите, на каких этапах процесса воздух получает тепло и на каких отдает.

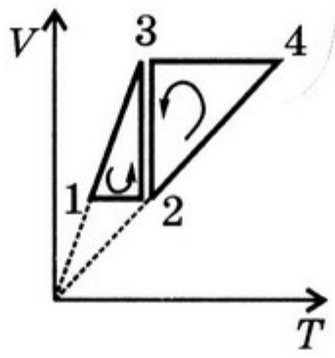
18.69. Докажите, что молярные теплоемкости[1] идеального газа при постоянном давлении C_p и при постоянном объеме C_V связаны соотношением $C_p - C_V = R$, где R — универсальная газовая постоянная.

18.70. Чему равны молярные теплоемкости одноатомного идеального газа при постоянном объеме C_V и при постоянном давлении C_p? Найдите их отношение $\gamma = C_p/C_V$. Каково примерное значение этого отношения для жидкости?

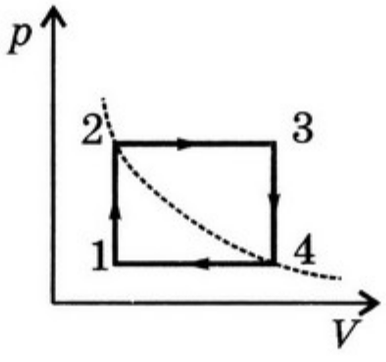
---

[1] Молярная теплоемкость численно равна количеству теплоты, необходимому для нагревания одного моля вещества на 1 К.

18.71. На рисунке изображены два замкнутых процесса, происходящих с идеальным газом: 1–2–3–1 и 3–2–4–3. В каком из них газ совершает бóльшую работу?



18.72. Найдите работу A', совершенную одним молем идеального газа за цикл (см. рисунок). Температуры газа в состояниях 1 и 3 равны, соответственно T_1 и T_3, а точки 2 и 4 лежат на одной изотерме.

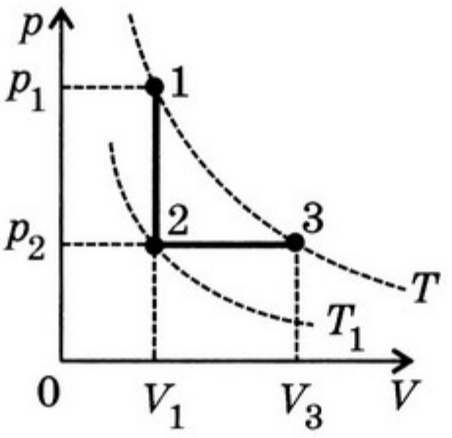


18.73. Газ, находящийся в цилиндре под поршнем, сжимают. В каком случае над газом совершается бóльшая работа: при медленном сжатии или при быстром? В каком случае конечная температура выше? Сосуд с газом не теплоизолирован. Конечный объем газа в обоих случаях одинаков.

18.74. Газ находится в вертикальном цилиндре, площадь дна которого $S = 10$ см^2. Цилиндр закрыт перемещающимся без трения поршнем массой $m = 9{,}8$ кг. Начальный объем газа $V_0 = 5{,}0$ л, температура $t_0 = 0\,^\circ$C. Давление наружного воздуха $p_a = 100$ кПа. Какое количество теплоты Q необходимо передать газу при этих условиях для нагревания на $\Delta T = 10$ К? Известно, что повышение температуры газа на ту же величину при закрепленном поршне потребовало бы количества теплоты $Q_1 = 90$ Дж.

18.75. Масса m идеального газа, находящегося при температуре T, охлаждается изохорически так, что давление падает в

n раз. Затем газ расширяется при постоянном давлении. В конечном состоянии его температура равна первоначальной. Определите совершенную газом работу. Молярная масса газа M.

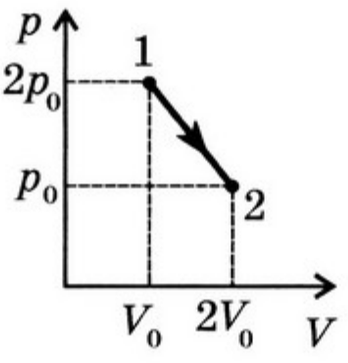


18.76. Кислород нагревают при постоянном давлении. Какое количество теплоты Q необходимо сообщить газу, чтобы его объем удвоился? Начальная температура $t_1 = 0\,°C$, количество вещества $\nu = 1$ моль.

Олимпиадные задачи

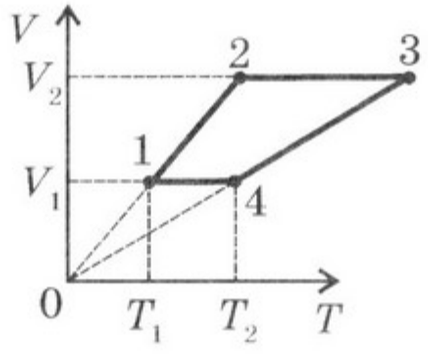
О-88. Волейбольный мяч массой 200 г и объемом 8 л накачан до избыточного давления 0,2 атм. Мяч был подброшен на высоту 20 м и после падения на твердый грунт подскочил почти на ту же высоту. Оцените максимальную температуру воздуха в мяче при ударе о грунт. Температура наружного воздуха 300 К, теплоемкость воздуха при постоянном объеме $C_V = 700$ Дж/К. Атмосферное давление $p_0 = 1$ атм.

О-89. Какое количество теплоты получает одноатомный газ при *нагревании* в ходе процесса, изображенного на рисунке? Получает или отдает тепло газ при охлаждении? Чему равно это количество теплоты?

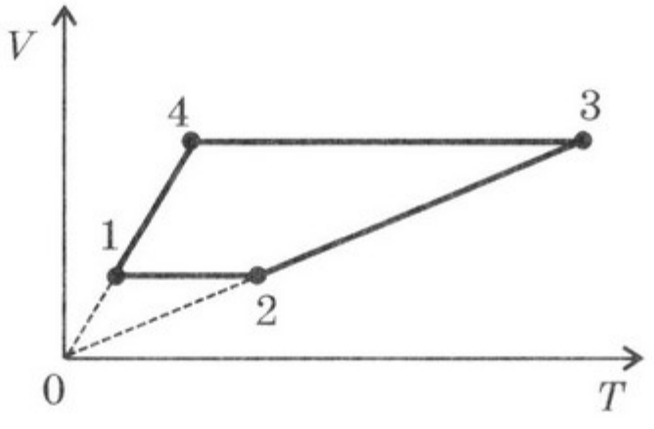


О-90. В длинной, расположенной горизонтально теплоизолированной трубе между двумя одинаковыми поршнями (массой m каждый) находится $\nu = 1$ моль одноатомного газа при температуре T_0. В начальный момент поршни сближаются, причем скорости поршней направлены в одну сторону и равны 3υ и υ. До какой наибольшей температуры T нагреется газ? Массой газа по сравнению с массой поршней можно пренебречь. Поршни тепло не проводят. Трение пренебрежимо мало. Атмосферное давление можно не учитывать.

О-91. Один моль идеального газа совершает процесс, изображенный на рисунке. Найти работу газа за цикл.

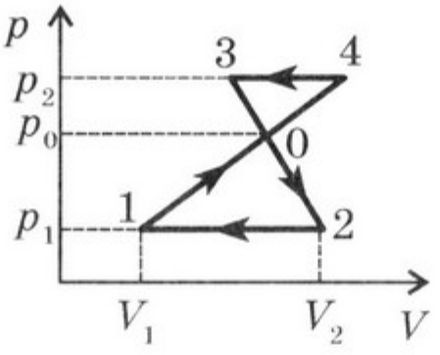


О-92. Над идеальным газом массой 20 г и молярной массой 28 г/моль совершается циклический процесс. Какова работа газа за один цикл, если температуры в точках 1 и 2 равны 300 К и 496 К соответственно? При расширении газа на участке 2–3 его объем увеличивается в два раза.

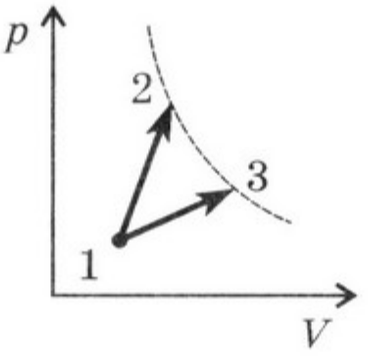


О-93. Над идеальным двухатомным газом совершают процесс, в котором давление и объем газа связаны соотношением $p = \alpha V$. Чему равна молярная теплоемкость газа при его расширении в таком процессе? Молярная теплоемкость при постоянном объеме $C_V = \dfrac{5}{2}R$.

О-94. Определите работу, которую совершает идеальный газ в замкнутом цикле 1–4–3–2–1, изображенном на рисунке, если $p_1 = 10^5$ Па, $p_0 = 3 \cdot 10^5$ Па, $p_2 = 4 \cdot 10^5$ Па, $V_2 - V_1 = 10$ л и участки цикла 4–3 и 2–1 параллельны оси V.



О-95. Над газом совершают два тепловых процесса, нагревая его из одного и того же начального состояния до одинаковой конечной температуры. На pV–диаграмме процессы изображены прямыми линиями 1–3 и 1–2. Определите, при каком из процессов газу сообщается большее количество теплоты.

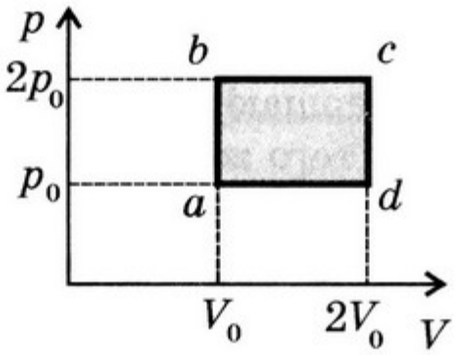


19. ТЕПЛОВЫЕ ДВИГАТЕЛИ

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

Пример решения задачи

На рисунке изображен циклический процесс для некоторой массы одноатомного идеального газа. На каких этапах процесса газ получает тепло, а на каких — отдает? Какое количество теплоты больше — полученное или отданное? На сколько больше? Вычислите КПД цикла.



Решение. Этап a–b : $A_г = 0$, так как объем газа не изменяется. $\Delta U > 0$, так как при изохорном повышении давления температура газа (и, следовательно, его внутренняя энергия) увеличивается. $Q_{a-b} > 0$. Этап b–c : $A_г > 0$, так как газ расширяется. $\Delta U > 0$, так как при изобарном расширении температура газа (и, следовательно, его внутренняя энергия) увеличивается. $Q_{b-c} > 0$. Аналогично на этапе c–d: $\Delta U < 0$, $A_г = 0$, поэтому $Q_{c-d} < 0$. На этапе d–a: $\Delta U < 0$, $A_г < 0$, поэтому $Q_{d-a} < 0$. Применим первый закон термодинамики $Q = \Delta U + A_г$ ко всему циклу в целом. После завершения цикла газ возвращается в исходное состояние, поэтому изменение его внутренней энергии равно нулю: $\Delta U = 0$. Значит, $Q = A_г$. Газ совершил за цикл ***положительную*** работу, численно равную площади, заключенной внутри цикла в координатах p, V.

Следовательно, полученное газом количество теплоты больше, чем отданное им, на величину $Q = A_г = (p_2 - p_1)(V_2 - V_1)$. Итак, газ получает тепло только на этапах a–b и b–c.

КПД равен $\eta = A_{пол}/Q$, где $A_{пол}$ — полезная работа, совершенная газом за цикл, а Q — количество теплоты, ***полученное*** газом. $A_{пол} = p_0 V_0$. В изохорном процессе a–b $A_г = 0$, поэтому

$Q_{a-b} = \Delta U_{a-b} = U_b - U_a$. Внутренняя энергия одноатомного идеального газа $U = \frac{3}{2}\nu RT = \frac{3}{2}pV$, следовательно,

$$Q_{a-b} = U_b - U_a = \frac{3}{2}(2p_0V_0 - p_0V_0) = \frac{3}{2}p_0V_0.$$

В изобарном процессе b–c газ совершает работу, а его температура и, следовательно, внутренняя энергия увеличиваются. Поэтому

$$Q_{b-c} = A_{b-c} + \Delta U_{b-c} = 2p_0V_0 + \frac{3}{2}(2p_0 \cdot 2V_0 - p_0 \cdot 2V_0) = 5p_0V_0.$$

Отсюда $Q = Q_{a-b} + Q_{b-c} = \frac{3}{2}p_0V_0 + 5p_0V_0 = \frac{13}{2}p_0V_0$.

Следовательно, $\eta = \frac{p_0V_0}{\frac{13}{2}p_0V_0} \cdot 100\% = \frac{2}{13} \cdot 100\% \approx 15\%$.

Итак, КПД данного цикла равен примерно 15%.

Средний уровень

Решите устно

19.1. Из каких основных частей состоит любой тепловой двигатель?

19.2. При каких процессах возможно получение максимальной работы за счет внутренней энергии топлива?

19.3. Как понизить температуру газа перед сжатием, не допуская при этом теплопередачи?

19.4. Почему в тепловых двигателях нельзя использовать внутреннюю энергию океана?

19.5. Можно ли было бы пользоваться ветряными двигателями, если бы температура атмосферного воздуха была везде одинакова?

19.6. Газ расширяется самопроизвольно. Может ли происходить самопроизвольное сжатие газа?

19.7. Станет ли коэффициент полезного действия теплового двигателя равным 100 %, если исчезнет трение между частями машины?

19.8. Что общего у огнестрельного оружия и теплового двигателя?

19.9. Каковы пути повышения КПД тепловых двигателей?

19.10. Как влияют тепловые двигатели на окружающую среду?

Решите и запишите

19.11. Каков КПД идеальной паровой турбины, если пар поступает в турбину с температурой 480 °С, а оставляет ее при температуре 30 °С?

19.12. Идеальный тепловой двигатель получает от нагревателя 7,2 МДж теплоты и передает холодильнику 6,4 МДж в каждую секунду. Каков КПД двигателя?

19.13. КПД идеального теплового двигателя 40 %. Газ получил от нагревателя 5 кДж теплоты. Какое количество теплоты отдано холодильнику?

19.14. Температура нагревателя тепловой машины 150 °С, а холодильника 25 °С; машина получила от нагревателя $4 \cdot 10^4$ Дж энергии. Как велика работа, совершенная машиной?

19.15. В идеальной тепловой машине за счет каждого килоджоуля энергии, получаемой от нагревателя, совершается работа 300 Дж. Определите КПД машины и температуру нагревателя, если температура холодильника 280 К.

19.16. Каков КПД теплового двигателя мощностью 50 кВт, если за 10 с он передал окружающей среде количество теплоты 1 МДж?

Достаточный уровень

Решите устно

19.17. Может ли быть приближенно обратимым процесс, в котором трение или теплопередача играют существенную роль?

19.18. Холодную ложку опустили в стакан с горячим чаем. Через некоторое время ложка стала теплой, а чай в стакане немного остыл. Возможен ли обратный процесс?

19.19. При каких условиях падение шарика на опору будет обратимым процессом?

19.20. Почему невозможно построить тепловой двигатель без холодильника?

19.21. Почему двигатели внутреннего сгорания имеют более высокий КПД, чем паровые машины?

19.22. Что является нагревателем и что является холодильником в ракетном двигателе?

19.23. Иногда газ при охлаждении отдает меньшее количество теплоты, чем было затрачено на его нагревание. Не противоречит ли это закону сохранения энергии?

19.24. Почему работа теплового двигателя должна состоять из повторяющихся циклов расширения и сжатия газа?

Решите и запишите

19.25. В идеальном тепловом двигателе абсолютная температура нагревателя в 3 раза выше, чем температура холодильника. Нагреватель передал газу 40 кДж теплоты. Какую работу совершил газ?

19.26. Газ совершает цикл Карно. Абсолютная температура нагревателя в три раза выше абсолютной температуры холодильника. Определите долю теплоты, отдаваемой холодильнику.

19.27. Автомобиль движется со скоростью 72 км/ч. Мощность двигателя 60 кВт, его КПД равен 30%. Определите расход бензина на 1 км пути.

19.28. Двигатель мотороллера развивает мощность 3,31 кВт при скорости 58 км/ч. Сколько километров пройдет мотороллер, расходуя 3,2 л бензина, если КПД двигателя 20%?

19.29. Реактивный самолет имеет четыре двигателя, каждый из которых развивает силу тяги $F = 30$ кН. Коэффициент полезного действия двигателей равен 25 %. Найдите расход керосина на перелет длиной $l = 4000$ км.

19.30. Холодильник, потребляющий мощность P, превратил воду в лед за время τ. Какое количество теплоты Q передал холодильник воздуху в комнате, если масса воды m, а ее начальная температура t? Теплоемкостью самого холодильника можно пренебречь, температура образовавшегося льда 0 °С.

Высокий уровень

Решите устно

19.31. В одной половине сосуда, разделенного перегородкой, заключен газ, а в другой создан вакуум. Что произойдет с газом, если перегородку удалить? Вернется ли газ самопроизвольно через некоторое время в одну половину сосуда?

19.32. В какие моменты газ внутри теплового двигателя имеет максимальное и минимальное значения внутренней энергии?

19.33. Когда КПД теплового двигателя будет бóльшим: при увеличении на один градус температуры нагревателя или при таком же понижении температуры холодильника?

19.34. Возможно ли с помощью обратимого цикла совершить работу, не передавая теплоту холодильнику?

19.35. Чем отличается действие бытового холодильника от действия теплового двигателя и что у них общего?

19.36. Как изменится температура в комнате, если открыть дверцу работающего холодильника?

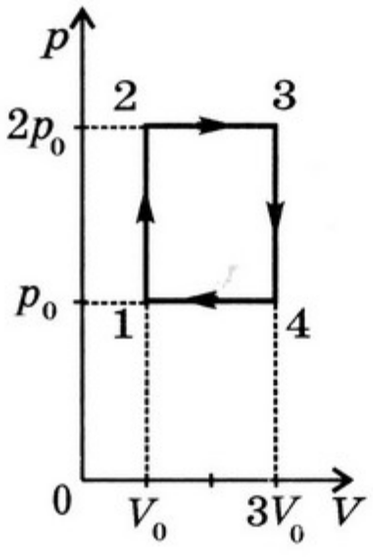
Решите и запишите

19.37. Во сколько раз количество теплоты, переданное воздуху в комнате при работе теплового насоса, больше энергии, полученной из электросети?

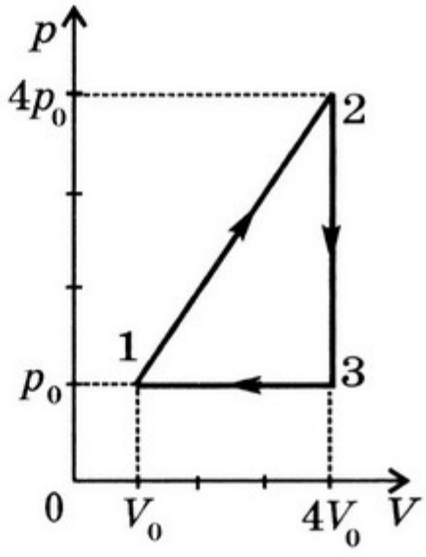
19.38. Из-за несовершенства теплоизоляции холодильник получает от воздуха в комнате количество теплоты 420 кДж за 1 ч. Температура в комнате 20 °С. Какую минимальную мощность должен потреблять холодильник от сети, чтобы поддерживать внутри холодильного шкафа температуру –5 °С? Считайте, что холодильник работает по циклу Карно.

19.39. Газовая нагревательная колонка потребляет $V_0 = 1{,}2$ м^3 метана (CH_4) в час. Найдите температуру t подогретой воды, если вытекающая струя имеет скорость $\upsilon = 0{,}5$ м/с. Диаметр водяной струи $d = 1{,}0$ см, начальная температура воды и газа $t_0 = 11$ °С. КПД нагревателя $\eta = 0{,}6$.

19.40. На рисунке показан цикл из двух изохор и двух изобар. Найдите КПД цикла, если рабочее тело — одноатомный идеальный газ.



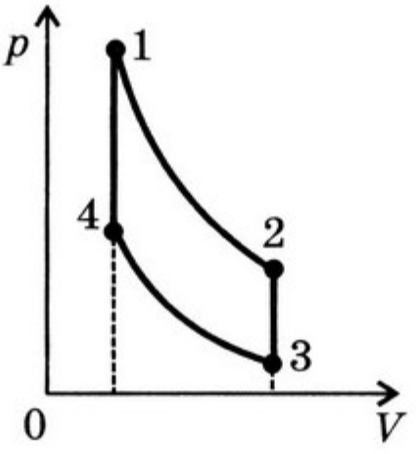
К задаче 19.40



К задаче 19.41

19.41. Найдите КПД тепловой машины, график цикла которой показан на рисунке. Рабочим телом является одноатомный идеальный газ.

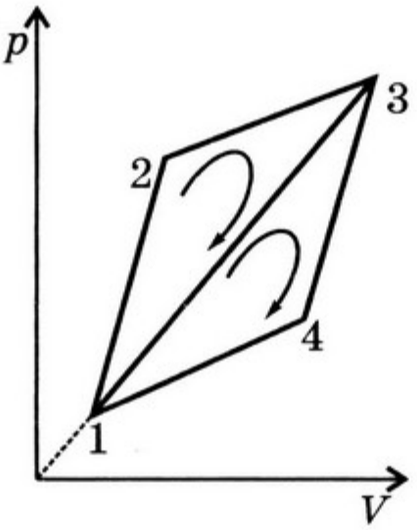
19.42. Определите коэффициент полезного действия цикла, состоящего из двух адиабат и двух изохор, совершаемого идеальным газом, если известно, что в процессе адиабатного расширения абсолютная температура газа $T_2 = 0{,}75T_1$, а в процессе адиабатного сжатия $T_3 = 0{,}75\ T_4$.



Олимпиадные задачи

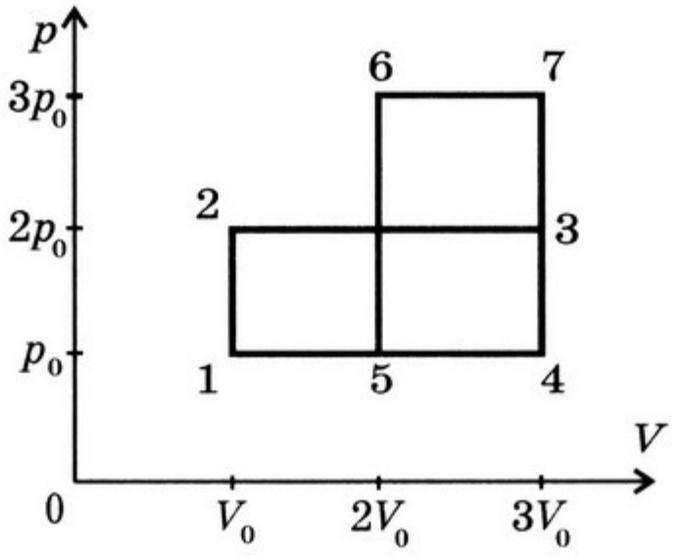
О-96. Может ли КПД тепловой машины, использующей цикл, состоящий из двух изотерм и двух изохор, быть равен КПД идеальной тепловой машины Карно, работающей с теми же нагревателем и холодильником?

О-97. КПД цикла 1–2–3–1 (см. рисунок) равен η_1, а КПД цикла 1–3–4–1 равен η_2. Найдите КПД η цикла 1–2–3–4–1.



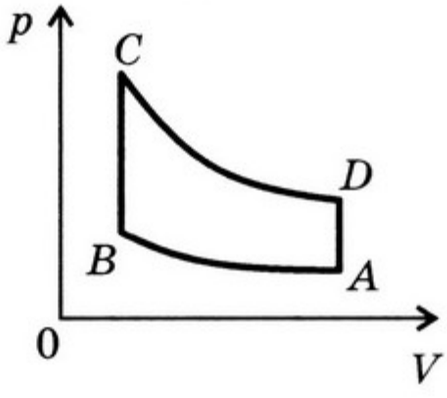
О-98. Определите отношение $\dfrac{\eta_1}{\eta_2}$ коэффициентов полезного действия двух циклических процессов, совершенных над

идеальным газом (см. рисунок): первый процесс 1–2–3–4–1, второй процесс 5–6–7–4–5.



О-99. Карбюраторный двигатель внутреннего сгорания работает по циклу, состоящему из четырех последовательно происходящих процессов: адиабатного сжатия из состояния A в состояние B, изохорного перехода из состояния B в состояние C в результате нагревания воздуха при сжигании горючей смеси, адиабатного расширения из состояния C в состояние D и изохорного перехода из состояния D в исходное состояние A (см. рисунок).

Вычислите КПД двигателя для случая, если бы воздух был идеальным одноатомным газом при значениях температуры в состояниях A, B, C и D соответственно: $T_A = 300$ К, $T_B = 524$ К, $T_C = 786$ К и $T_D = 450$ К.



ЖИДКОСТИ, ПАРЫ И ТВЕРДЫЕ ТЕЛА

Модель строения жидкостей. *Поверхностное натяжение.* Насыщенные и ненасыщенные пары. Влажность воздуха.

Модель строения твердых тел. *Механические свойства твердых тел.* Изменения агрегатных состояний вещества.

20. СВОЙСТВА ЖИДКОСТЕЙ

$$E_{\text{пов}} = \sigma S, \quad F = \sigma l, \quad h = \frac{2\sigma}{\rho g r}$$

Пример решения задачи

В двух капиллярных трубках разного диаметра, опущенных в воду, установилась разность уровней $\Delta h_2 = 2{,}6$ см. При опускании этих же трубок в спирт разность уровней оказалась $\Delta h_1 = 1$ см. Найдите поверхностное натяжение спирта.

Решение. Высота поднятия жидкости в капилляре $h = \frac{2\sigma}{\rho g r}$.

Разность уровней жидкости в капиллярах с радиусами R_1 и R_2 равна $\Delta h = \frac{2\sigma}{\rho g}\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right)$, а отношение высот поднятия различных жидкостей $\frac{\Delta h_1}{\Delta h_2} = \frac{\sigma_1}{\sigma_2}\frac{\rho_2}{\rho_1}$, где σ и ρ — поверхностные натяжения и плотности жидкостей. Отсюда $\sigma_c = \sigma_в \frac{\rho_c}{\rho_в}\frac{\Delta h_1}{\Delta h_2}$, где $\sigma_в$ — поверхностное натяжение воды, ρ_c и $\rho_в$ — плотности спирта и воды.

Произведя вычисления, получаем: $\sigma_c = 22$ мН/м.

Средний уровень

Решите устно

20.1. Почему свободная поверхность жидкости сокращается?

20.2. Почему капельки дождя повисают на листьях растений? Почему эти капельки падают вниз, если их пригреет Солнце?

20.3. Почему наши волосы слипаются, если их смочить водой, и не слипаются, если они сухие?

20.4. Почему расплавленный жир плавает на поверхности воды?

20.5. Какое свойство жидкости используется при крашении, пайке, сварке?

20.6. Каким должен быть размер отверстия пипетки?

20.7. Почему горячей водой лучше мыть посуду, чем холодной?

20.8. На каком физическом явлении основано употребление полотенец?

20.9. Почему плохо вытираются мокрые руки шерстяной или шелковой тканью?

20.10. Если положить кусок мела на влажную губку, то он намокнет, а если сухую губку положить на мокрый мел, она останется сухой. Почему?

Решите и запишите

20.11. Какую работу нужно произвести, чтобы выдуть мыльный пузырь диаметром 14 см, если процесс выдувания изотермический?

20.12. Швейная игла имеет длину 3,5 см и массу 0,1 г. Будет ли смазанная жиром игла лежать на поверхности воды?

20.13. При изотермическом выдувании мыльного пузыря была совершена работа 1,6 мДж. Каков радиус пузыря?

20.14. Какую работу следует совершить против сил поверхностного натяжения, чтобы увеличить площадь поверхности мыльного пузыря на 20 $см^2$?

20.15. При увеличении площади поверхности глицерина на 50 $см^2$ совершена работа $2{,}95 \cdot 10^{-4}$ Дж. Определите поверхностное натяжение глицерина.

20.16. Положите на поверхность воды спичку и коснитесь воды кусочком мыла по одну сторону вблизи спички. Объясните наблюдаемое явление. Найдите силу, действующую на спичку, если длина спички 4 см.

20.17. Спирт поднялся в капиллярной трубке на 1,2 см. Найдите внутренний радиус трубки.

20.18. Сравните высоты поднятия воды и керосина в капиллярах равного радиуса.

20.19. В капиллярной трубке радиусом 0,5 мм жидкость поднялась на 11 мм. Определите плотность данной жидкости, если ее поверхностное натяжение равно 22 мН/м.

20.20. Стеклянная капиллярная трубка опущена в широкий сосуд со ртутью на Луне. Определите ускорение свободного падения на Луне, если уровень ртути в трубке диаметром 4 мм оказался ниже уровня ртути в сосуде на 2,2 см.

Достаточный уровень

Решите устно

20.21. Чем отличаются силы поверхностного натяжения от сил упругости?

20.22. При каком условии жидкость можно налить в стакан выше краев?

20.23. Почему в невесомости капли жидкости принимают сферическую форму?

20.24. Какие характеристики жидкости являются определяющими в ее поведении в состоянии невесомости?

20.25. Что произошло бы с жидкостью, содержащейся в сосуде, если открыть сосуд на искусственном спутнике Земли?

20.26. Из крана самовара падают капли. Когда эти капли более тяжелые: когда вода горячая или когда она остыла?

20.27. Какая ткань подходит для палатки — смачиваемая водой или несмачиваемая?

20.28. Объясните действие фитиля, бинта из марли, промокательной бумаги.

20.29. Изменится ли высота уровня воды в капилляре, если сосуд с капилляром будет свободно падать?

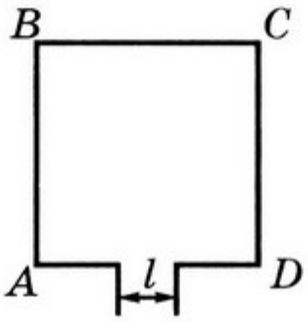
20.30. Может ли ртуть вытекать из тонкого стеклянного капилляра каплями?

Решите и запишите

20.31. Какова масса капли воды, вытекающей из пипетки, в момент отрыва, если диаметр отверстия пипетки равен 1,2 мм? Считайте, что диаметр шейки капли равен диаметру отверстия пипетки.

20.32. Легкая незамкнутая жесткая рамка (см. рисунок) плавает на поверхности воды. Какая сила F и в каком направ-

лении будет действовать на рамку, если капнуть внутрь рамки мыльного раствора? Поверхностное натяжение чистой воды σ_1, мыльного раствора σ_2, причем $\sigma_2 < \sigma_1$.



20.33. Прямоугольная проволочная рамка массой m, стороны которой равны a и b, касается поверхности воды всеми своими сторонами. Какую вертикальную силу F необходимо приложить, чтобы оторвать рамку от поверхности воды? Рамка смачивается водой.

20.34. На поверхность воды положили рамку в виде квадрата со стороной 6 см. Какая сила удерживает рамку на воде? Какую силу необходимо приложить, чтобы оторвать рамку от поверхности воды, если масса рамки 5 г?

20.35. В результате слияния мелких капелек воды диаметром 1 мкм получили 1 кг воды одной и той же температуры. Какое количество теплоты при этом выделилось в окружающее пространство? На сколько градусов нагрелась бы вода, если бы не было теплопередачи?

20.36. Действительно ли нельзя носить воду в решете? Пусть тонкие нити решета протянуты на расстоянии $d = 1{,}0$ мм друг от друга. Сколько воды можно унести в таком круглом решете радиусом $r = 10$ см? Считайте, что нити водой не смачиваются.

20.37. Длинная, открытая с обоих концов тонкостенная капиллярная трубка радиусом $r = 1{,}0$ мм расположена вертикально. Какова максимально возможная высота h столба воды, находящейся в трубке?

20.38. Стеклянная капиллярная трубка с очень тонкими стенками подвешена вертикально к чашке рычажных весов. Весы уравновешены. К трубке подносят снизу сосуд с водой так, что поверхность воды касается капилляра. Чтобы восстановить равновесие, пришлось увеличить груз на другой чашке весов на $m = 0{,}14$ г. Найдите радиус r капилляра.

20.39. Смачиваемый водой кубик массой $m = 4$ г плавает на поверхности воды. Длина ребра кубика $a = 3{,}0$ см. На какой глубине h находится нижняя грань кубика?

20.40. На поверхности воды плавает смачиваемый водой кубик с длиной ребра $a = 1{,}0$ см. Верхняя грань кубика горизонтальна. На сколько изменится глубина погружения кубика, если его натереть парафином?

20.41. Какой радиус должна иметь алюминиевая проволока, чтобы ее кусок длиной $l = 2$ см, натертый парафином, мог «плавать» в воде вертикально, погрузившись ровно наполовину?

20.42. Оцените максимальный размер капель воды, которые могут висеть на потолке.

Высокий уровень

Решите устно

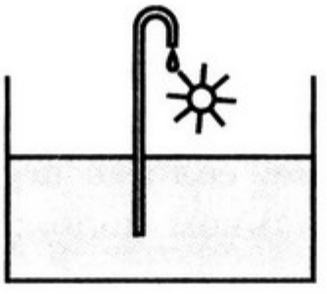
20.43. Какова форма капель воды, из которых состоит туман? Почему?

20.44. Почему уменьшаются размеры мыльного пузыря, если перестать дуть в трубку, на конце которой держится пузырь?

20.45. Почему две капельки ртути, приведенные в соприкосновение, сливаются в одну?

20.46. Два мыльных пузыря — малый и большой — выдуты на разных концах одной и той трубки. Какой пузырь после этого будет увеличиваться и какой уменьшаться? Почему?

20.47. Предлагается проект вечного двигателя: тонкая смачиваемая водой изогнутая трубка погружена одним концом в широкий сосуд с водой (см. рисунок). Вода поднимается по трубке и стекает обратно в сосуд. Вытекающая из трубки вода может совершать полезную работу. В чем несостоятельность этого проекта?



20.48. Почему падающая струя воды всегда разрывается на капли? Нельзя ли, устранив возможные сотрясения, неограниченно увеличивать длину струи?

20.49. Для удаления жирных пятен материю проглаживают утюгом, подложив под нее лист бумаги. Почему расплавленный жир впитывается в бумагу, а не расходится по материи?

20.50. Изменится ли высота подъема воды в капилляре, если его внести в безвоздушное пространство?

20.51. Жидкие лекарства часто отмеряют каплями. Будет ли это достаточно точной мерой?

20.52. Капиллярный метод применяется для анализа жидких красителей. Нанесите на промокашку каплю смеси красных и синих чернил и капните в середину водой. Смесь разделится на составляющие. Почему?

Решите и запишите

20.53. Смачиваемый водой кубик массой 20 г плавает на поверхности воды. Длина ребра кубика 3 см. На каком расстоянии от поверхности воды находится нижняя грань кубика?

20.54. Какой радиус должен иметь алюминиевый шарик, натертый парафином, чтобы он «плавал» в воде, погрузившись ровно наполовину?

20.55. В сообщающихся капиллярных трубках радиусами 0,5 и 2 мм разность уровней ртути 10,5 мм. Определите поверхностное натяжение ртути.

20.56. Радиусы колен открытой с двух сторон U-образной стеклянной трубки $r_1 = 1{,}0$ мм, $r_2 = 2{,}0$ мм. В трубку налита ртуть. К какому колену трубки следует присоединить откачивающий насос и какую разность давлений Δp в коленах трубки должен он создать, чтобы уровни ртути в обоих коленах оказались одинаковыми? Ртуть не смачивает стекло.

20.57. В капиллярной трубке жидкость поднимается на 80 см. Определите высоту столбика жидкости, которая может удержаться в трубке, если ее полностью заполнить жидкостью в горизонтальном положении, а затем повернуть вертикально.

20.58. Конец стеклянной капиллярной трубки радиусом $r = 0{,}50$ мм опущен в воду на глубину $h = 2{,}0$ см. Какое избыточное давление p необходимо создать в трубке, чтобы выдуть пузырек воздуха через ее нижний конец?

20.59. В двух длинных открытых с обеих сторон капиллярах, расположенных вертикально, находятся столбики воды длиной 2 см и 4 см. Найдите радиус кривизны нижнего мениска в каждом из капилляров, если их внутренний диаметр равен 1 мм, а смачивание полное.

20.60. Стеклянная капиллярная трубка, внутренний диаметр которой $d = 0{,}5$ мм, вертикально погружена в воду. Верхний конец трубки выступает на $h = 2$ см над поверхностью воды. Какую форму имеет мениск?

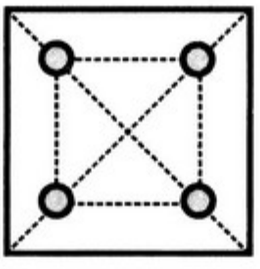
Олимпиадные задачи

О-100. Оцените силу, необходимую для разъединения двух «слипшихся» отполированных стекол размером 1×1 м, между которыми находится вода. Среднее расстояние между стеклами $d = 0{,}2$ мм. Как можно облегчить разъединение стекол?

О-101. Найдите давление воздуха p внутри мыльного пузыря радиусом R. Давление воздуха вне пузыря p_0, поверхностное натяжение мыльной пленки σ.

О-102. Какую работу необходимо совершить, чтобы разбить сферическую каплю радиусом R на две одинаковые капли?

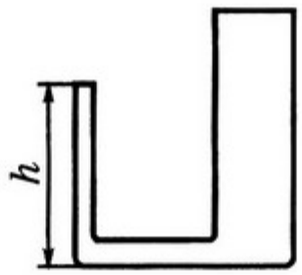
О-103. На четыре ртутных шарика радиусом $r_0 = 1$ мм, лежащих на горизонтальном стекле, осторожно положили квадратную стеклянную пластинку массой $m = 80$ г (на рисунке показан вид сверху). Каким будет зазор d между стеклом и пластинкой?



О-104. Докажите, что избыточное давление в жидкости под ее цилиндрической поверхностью радиусом R равно σ/R, а под сферической поверхностью — $2\sigma/R$.

О-105. Куда будет двигаться в горизонтальном коническом капилляре капля смачивающей жидкости? капля несмачивающей жидкости?

О-106. Капиллярная стеклянная трубка радиусом r и высотой h соединена с широким и высоким сосудом (см. рисунок). Сосуд постепенно заполняется каплями воды, падающими через равные промежутки времени. Постройте графики зависимостей от времени уровней воды в трубке и сосуде, а также разности этих уровней.



О-107. В длинном открытом с обеих сторон вертикальном капилляре находится столбик воды высотой 2,0 см. Каков радиус r кривизны нижнего мениска, если внутренний радиус капилляра $R = 0{,}5$ мм? Как изменится ответ, если высота столбика воды удвоится?

21. НАСЫЩЕННЫЕ И НЕНАСЫЩЕННЫЕ ПАРЫ. ВЛАЖНОСТЬ ВОЗДУХА

$$\varphi = \frac{p}{p_н} \cdot 100\,\%, \quad \varphi = \frac{\rho}{\rho_н}$$

Пример решения задачи

Плотность влажного воздуха при температуре 27 °С и давлении 103 кПа равна 1,19 кг/м³. Найдите абсолютную и относительную влажность воздуха.

Решение. Давление влажного воздуха равно сумме парциальных давлений водяного пара и сухого воздуха: $p = p_п + p_в$. Плотность влажного воздуха равна сумме плотностей водяного пара и сухого воздуха: $\rho = \rho_п + \rho_в$.

Согласно уравнению Менделеева–Клапейрона, в котором $\rho = m/V$, получаем: $p_п = \frac{\rho_п RT}{M_п}$, $p_в = \frac{\rho_в RT}{M_в}$. Следовательно,

$$p = \frac{\rho_п RT}{M_п} + \frac{(\rho - \rho_п) \cdot RT}{M_в}, \text{ где } \rho - \rho_п = \rho_в.$$

$$\text{Отсюда } \rho_п = \frac{M_п}{M_в - M_п} \frac{pM_в - \rho RT}{RT}.$$

Подставив числовые данные, находим: $\rho_п = 13 \cdot 10^{-3}$ (кг/м³). Значит, абсолютная влажность $\varphi_а = 13$ (кг/м³). Относительная влажность воздуха

$$\varphi = \frac{\rho_а}{\rho_н} \cdot 100\% = \frac{13 \cdot 10^{-3}}{25{,}8 \cdot 10^{-3}} \cdot 100\,\% \approx 50\,\%.$$

Здесь $\rho_н$ — давление насыщенного водяного пара (при температуре 27 °С по таблице находим — 25,8 г/м³).

Необходимо отметить, что единицы измерения абсолютной влажности и плотности водяного пара не совпадают, так как в определении плотности масса выражается в килограммах. Абсолютной же влажностью называется содержание водяного пара, выраженное в граммах, в 1 м³ воздуха.

Решите устно

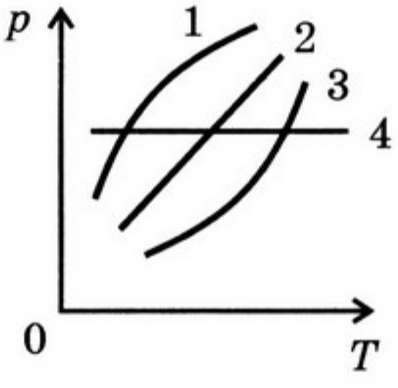
21.1. Почему молекулы жидкости могут вылетать из нее?

21.2. Что нужно сделать, чтобы ускорить испарение жидкости?

21.3. При испарении из жидкости вылетают самые быстрые молекулы. Значит ли это, что пар имеет более высокую температуру, чем жидкость?

21.4. При каких условиях образуется насыщенный пар?

21.5. Какой из приведенных на рисунке графиков может выражать зависимость давления насыщенного пара от температуры? Почему?



21.6. Почему давление насыщенного пара не зависит от температуры?

21.7. Как изменяется абсолютная и относительная влажность воздуха при его нагревании?

21.8. Почему влажность воздуха имеет такое большое значение для самочувствия человека и его здоровья?

21.9. Чем объясняется образование росы и тумана?

21.10. Оба термометра психрометра показывают одну и ту же температуру. Какова относительная влажность воздуха?

Решите и запишите

21.11. Парциальное давление водяного пара в воздухе при температуре 20 °С равно 1,4 кПа. Какова относительная влажность воздуха?

21.12. Относительная влажность воздуха в комнате при температуре 22 °С составляет 54 %. Каково показание влажного термометра психрометра?

21.13. Какова относительная влажность воздуха, если термометры психрометра показывают 20 °С и 15 °С?

21.14. Каково парциальное давление водяного пара в воздухе, если термометры психрометра показывают 18 °С и 12 °С?

21.15. Каково показание влажного термометра психрометра, если относительная влажность в комнате 65 %, а сухой термометр показывает 20 °С?

21.16. В комнате объемом 200 м^3 относительная влажность воздуха при 20 °С равна 70 %. Определите массу водяных паров в воздухе комнаты.

Достаточный уровень

Решите устно

21.17. Применим ли закон Бойля—Мариотта для насыщенного пара?

21.18. Применим ли закон Шарля для насыщенного пара?

21.19. Применим ли закон Гей-Люссака для насыщенного пара?

21.20. Одинаково ли давление водяных паров в закупоренном сосуде и в атмосфере во время тумана, если температура воздуха в обоих случаях одинакова?

21.21. В какое время суток больше относительная влажность воздуха при одной и той же абсолютной влажности?

21.22. Как изменится разность показаний сухого и влажного термометров в психрометре при понижении температуры воздуха, если абсолютная влажность остается без изменений?

21.23. Почему роса бывает обильнее после жаркого дня?

21.24. Почему при ветре росы часто не бывает?

21.25. Почему образуются облака?

21.26. Почему при нагревании воздуха его относительная влажность уменьшается?

Решите и запишите

21.27. В закрытом сосуде вместимостью 5 л находится ненасыщенный водяной пар массой 50 мг. При какой температуре пар будет насыщенным?

21.28. Найдите относительную влажность воздуха в комнате при 18 °С, если при 10 °С образуется роса.

21.29. При температуре 27 °С влажность воздуха 30 %. При какой температуре влажность этого воздуха будет 50 %?

21.30. При какой температуре воздуха его относительная влажность равна 50 %, если известно, что в состояние насыщения водяные пары, содержащиеся в воздухе, переходят при 7 °С?

21.31. Над поверхностью моря при температуре 25 °С относительная влажность воздуха оказалась равной 95 %. При какой температуре можно ожидать появления тумана?

21.32. Температура некоторой массы воздуха $t_1 = 20$ °С, точка росы $t_2 = 10$ °С. Какова относительная влажность воздуха φ?

21.33. Начальный объем воздуха $V_0 = 2{,}0$ м^3, его температура $t = 18$ °С, относительная влажность $\varphi_0 = 50$ %. Воздух подвергается изотермическому сжатию. При каком объеме V воздуха начнется конденсация водяного пара? Какая масса m росы выпадет, если конечный объем равен $V_0/4$?

21.34. Какова плотность насыщенного водяного пара при температуре 100 °С?

Высокий уровень

Решите устно

21.35. Почему при густой облачности ночью роса не выпадает?

21.36. Может ли плотность пара при данной температуре быть больше, чем у насыщенного пара при той же температуре?

21.37. Давление насыщенного пара при нагревании возрастает гораздо быстрее, чем давление идеального газа. Почему?

21.38. Почему в отапливаемых помещениях зимой относительная влажность воздуха меньше, чем на улице?

21.39. Почему капельки тумана могут оставаться жидкими и при сильном морозе?

21.40. В теплой кухне развешено выстиранное белье. На улице моросит холодный осенний дождь. Имеет ли смысл открыть форточку, чтобы белье высохло быстрее?

21.41. В течение дня показание сухого термометра психрометра не изменялось, а показание влажного термометра уменьшалось. Как изменялась относительная влажность воздуха?

21.42. Воздух в закрытом сосуде содержит ненасыщенный водяной пар. Как будет изменяться относительная влажность воздуха при нагревании сосуда?

21.43. Насыщенный водяной пар находится при температуре 100 °С. Как изменится давление пара, если его объем при той же температуре уменьшить вдвое?

Решите и запишите

21.44. При $t_1 = 30$ °С относительная влажность воздуха $\varphi_1 = 80$ %. Какой станет относительная влажность φ_2 этого же воздуха, если его нагреть при постоянном объеме до $t_2 = 50$ °С?

21.45. В закрытом сосуде объемом $V = 100$ л находится воздух. Температура воздуха $t = 30$ °С, относительная влажность $\varphi_1 = 30$ %. Какой станет через некоторое время относительная влажность φ_2, если в сосуд влить $m = 1{,}5$ г воды? Если долить еще столько же воды? Температура не изменяется.

21.46. В герметично закрытом сосуде объемом $V = 1{,}1$ л находятся $m = 100$ г кипящей воды и водяной пар при температуре 100 °С. Воздуха в сосуде нет. Найдите массу пара $m_п$. Зависимостью плотности воды от температуры можно пренебречь.

21.47. На какую высоту h можно поднять кипящую воду поршневым насосом? Считайте, что вода при подъеме не остывает.

21.48. В запаянной с одного конца горизонтально лежащей трубке находится воздух с относительной влажностью $\varphi_0 = 80$ %. Воздух отделен от атмосферы столбиком ртути длиной $l = 76$ мм. Какой станет относительная влажность φ, если трубку поставить вертикально открытым концом вниз? Температура при этом не изменяется, атмосферное давление $p_а = 760$ мм рт. ст. Ртуть из трубки при переворачивании не выливается.

21.49. При какой длине l столбика ртути (см. задачу 21.48) в трубке, поставленной вертикально, открытым концом вверх, выпадет роса?

21.50. В помещение нужно подать $V = 10\,000$ м^3 воздуха с температурой $t_1 = 18$ °С и относительной влажностью $\varphi_1 = 50$ %. Воздух снаружи имеет температуру $t_2 = 10$ °С и относительную влажность $\varphi_2 = 60$ %. Надо ли осушать или увлажнять наружный воздух? Сколько воды придется при этом сконденсировать или испарить?

21.51. В открытом неглубоком сосуде находятся две несмешивающиеся жидкости, одна над другой. При атмосферном давлении температура кипения нижней жидкости 77 °С, верхней — 100 °С. Что можно сказать о температуре t, при которой начнется кипение в сосуде?

21.52. В цилиндре под поршнем находится воздух, имеющий температуру $t_1 = 10$ °С и относительную влажность $\varphi_1 = 60$ %. Какой станет относительная влажность этого воздуха после нагревания его до температуры $t_2 = 100$ °С и уменьшения объема втрое? Как изменится ответ, если $t_1 = 90$ °С?

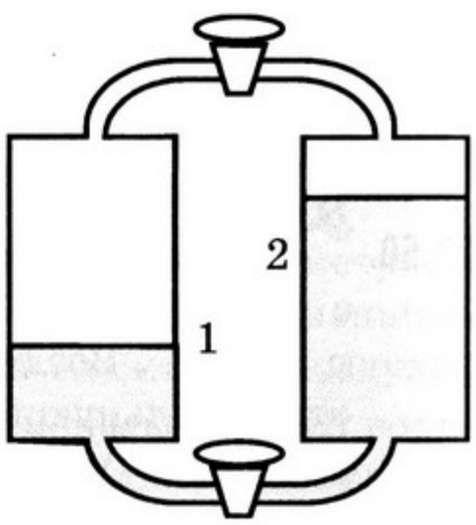
21.53. Закрытый сосуд объемом $V = 10$ л заполнен сухим воздухом при давлении $p_1 = 100$ кПа и температуре $t_1 = 10$ °С. Каким станет давление p_2 в сосуде, если в него налить воду массой $m = 10$ г и нагреть до температуры $t_2 = 100$ °С?

21.54. Трубку длиной $l = 60$ см, запаянную с одного конца, погружают в ртуть вертикально, открытым концом вниз. При какой глубине погружения h в трубке выпадет роса? Температура в трубке не изменяется. Относительная влажность воздуха $\varphi = 80$ %, атмосферное давление $p_a = 76$ см рт. ст.

21.55. Паровой котел частично заполнен водой, а частично — смесью воздуха и насыщенного пара. Начальная температура в котле $t_1 = 100$ °С. Начальное давление в котле $p_1 = 3p_a = 300$ кПа. Какое давление p_2 будет в котле после понижения температуры до $t_2 = 20$ °С?

Олимпиадные задачи

О-108. Два сосуда наполнены водой до разных уровней и соединены трубками с кранами (см. рисунок). Что произойдет, если открыть только нижний кран? только верхний? Воздух из сосудов откачан.



О-109. В теплоизолированном цилиндре под невесомым поршнем находится вода массой $m = 30$ г при температуре $t_1 = 0\,^\circ\text{C}$. Площадь поршня $S = 500$ см^2, внешнее давление $p = 10^5$ Па. На какую высоту h поднимется поршень, если находящийся в цилиндре электронагреватель выделит количество теплоты $Q = 25$ кДж?

О-110. В закрытом баллоне объемом $V = 5$ л находится смесь из $m_1 = 0{,}5$ г водорода и $m_2 = 8$ г кислорода при давлении $p_1 = 2{,}35 \cdot 10^5$ Па. Между газами происходит реакция с образованием воды. Какое давление p установится в баллоне после охлаждения до первоначальной температуры?

О-111. При сжатии некоторой порции влажного воздуха его объем уменьшился в четыре раза, а давление возросло в три раза. Когда воздух сжали еще до уменьшения объема в два раза, давление стало в пять раз больше первоначального. Температура при сжатии оставалась постоянной. Какова была относительная влажность воздуха φ в самом начале?

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}, \quad \sigma = \frac{F}{S} = E|\varepsilon|$$

Пример решения задачи

Какой должна быть площадь поперечного сечения стального троса лифта, если лифт массой $m = 1{,}5$ т может двигаться с ускорением до $a = 0{,}8$ м/с^2? Запас прочности троса $n = 12$.

Решение. Сила, необходимая для разрыва троса, равна $\sigma_{пч} S$. Она должна быть в n раз больше максимального веса лифта, равного $m(g + a)$ в случае, когда ускорение лифта направлено вверх (например, во время разгона при подъеме лифта). Отсюда $S = \dfrac{nm(g+a)}{\sigma_н}$.

Проверяем единицы величин: $[S] = \dfrac{\text{кг} \cdot \dfrac{\text{м}}{\text{с}^2}}{\dfrac{\text{Н}}{\text{м}^2}} = \text{м}^2$.

Подставляя числовые данные, находим:

$$S \geqslant \frac{12 \cdot 1{,}5 \cdot 10^3 (9{,}8 + 0{,}8)}{500 \cdot 10^6} \approx 3{,}8 \cdot 10^{-4}\ (\text{м}^2) = 3{,}8\ \text{см}^2.$$

Ответ. 3,8 см^2.

Средний уровень

Решите устно

22.1. Почему в мороз снег скрипит под ногами?

22.2. Как показать на опыте, что стекло — тело аморфное, а поваренная соль — тело кристаллическое?

22.3. Каково различие в строении крупинки сахарного песка и куска сахара-рафинада?

22.4. Скорость роста кристалла различна по различным направлениям. Какой факт служит доказательством этого?

22.5. Почему стаканы из толстого стекла чаще, чем тонкостенные, лопаются при наливании в них кипятка?

22.6. Почему при небрежном обращении с тетрадью уголки листов загибаются и им не удается вернуть прежнюю форму?

22.7. Почему стальные линейки нельзя изгибать?

22.8. Можно без опаски ронять металлический таз, а фарфоровую вазу ронять опасно. Почему?

22.9. В таблицах температуры плавления и удельной теплоты плавления веществ не приводятся данные для стекла. Почему?

22.10. Почему многократно сгибаемая проволока в месте изгиба ломается?

Решите и запишите

22.11. Под действием нагрузки длина стержня изменилась от 80 см до 80,2 см. Определите абсолютное и относительное удлинение стержня.

22.12. К закрепленной одним концом проволоке диаметром 2 мм подвешен груз массой 10 кг. Найдите механическое напряжение в проволоке.

22.13. Под действием какой силы, направленной вдоль оси стержня, в нем возникает напряжение 150 МПа? Диаметр стержня 4 мм.

22.14. При растяжении алюминиевой проволоки длиной 2 м в ней возникло механическое напряжение 35 МПа. Найдите относительное и абсолютное удлинение.

22.15. Металлический стержень длиной 7 м, имеющий площадь поперечного сечения 50 мм^2, при растяжении силой 1 кН удлинился на 0,2 см. Определите модуль Юнга вещества и род металла.

22.16. К медной проволоке с площадью поперечного сечения 0,5 мм^2 подвешен груз массой 5 кг. Найдите механическое напряжение в проволоке и ее относительное удлинение.

Достаточный уровень

Решите устно

22.17. Шар, выточенный из монокристалла, при нагревании может изменить не только свой объем, но и форму (т. е. перестанет быть шаром). Почему?

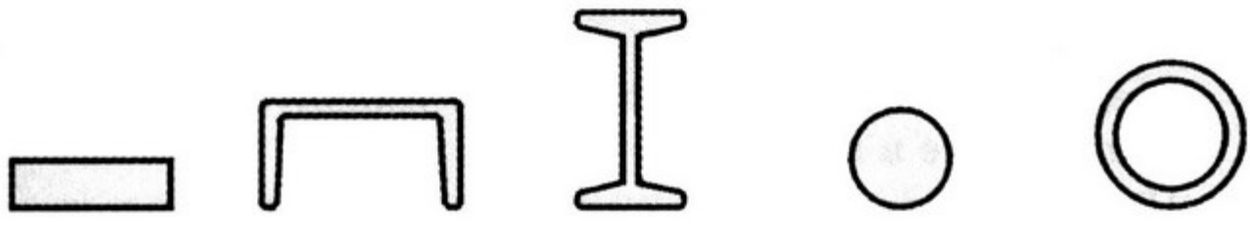
22.18. Монокристалл NaCl погружен: а) в ненасыщенный раствор; б) в насыщенный раствор; в) в пересыщенный раствор поваренной соли. Что произойдет с кристаллом в каждом случае?

22.19. Колбы некоторых ламп делают из прозрачного сапфира (Al_2O_3). Почему их не выдувают, как стеклянные изделия, а выращивают из расплава?

22.20. Какие виды деформации испытывают стена здания, плита межэтажного перекрытия, трос лифта, сидение стула?

22.21. Каково происхождение узоров на поверхности оцинкованного железа?

22.22. На рисунке показаны различные профили строительных конструкций (рис. *б* — швеллер, рис. *в* — двутавр). Все они изготовлены из одного сорта стали, имеют одинаковую длину и одинаковую массу. Какие из этих профилей лучше всего сопротивляются изгибу? Сжатию?



а *б* *в* *г* *д*

22.23. Почему кости людей и животных имеют трубчатую форму?

22.24. Для чего рама велосипеда делается трубчатой?

22.25. Полено легче разрубить вдоль волокон, чем поперек. Почему?

Решите и запишите

22.26. К проволоке был подвешен груз. Затем проволоку согнули пополам и подвесили тот же груз. Сравните абсолютное удлинение проволоки с относительным в обоих случаях.

22.27. Каково механическое напряжение материала вблизи основания стальной дымовой трубы высотой 50 м? Считайте трубу цилиндрической.

22.28. Какой груз можно подвесить на стальном тросе диаметром 3 см при запасе прочности, равном 10, если предел прочности $7 \cdot 10^8$ Н/м^2?

22.29. Груз массой 30 кг нужно подвесить на проволоке сечением не более 5 мм^2. Из какого материала следует взять

проволоку, если необходимо обеспечить пятикратный запас прочности?

22.30. Какой высоты можно построить кирпичную стену при запасе прочности 6, если предел прочности кирпича на сжатие 6 Н/мм^2?

22.31. Проволока с висящим на ней грузом массой 4 кг имеет длину 1,2 м, а при увеличении массы груза до 10 кг длина становится 1,3 м. Найдите длину проволоки без нагрузки.

22.32. К стальному стержню с площадью поперечного сечения 2 см^2 и длиной 50 см подвешен груз массой 5 т. Определите запас прочности стержня, если предел прочности при растяжении стали равен 1,25 ГПа. Каковы относительное удлинение стержня и его энергия упругой деформации? Массой стержня можно пренебречь.

22.33. Предел упругости стали равен 572 МПа. Будет ли деформация упругой или пластической, если стальная проволока длиной 3 м и площадью поперечного сечения 1,2 мм^2 под действием растягивающей силы удлиняется на 8 мм? Под действием какой силы происходит такая деформация?

Высокий уровень

Решите устно

22.34. Почему в природе не существует кристаллов шарообразной формы?

22.35. Почему аморфные вещества в отличие от кристаллов изотропны?

22.36. В процессе кристаллизации металла из расплава образуется поликристаллическая структура. Почему?

22.37. Какая колба выдержит большее давление снаружи — круглая или плоскодонная?

22.38. Почему посуду для опытов с горячими жидкостями делают из тонкого стекла?

22.39.  Почему витой трос из 100 проволок выдерживает больший груз, чем просто «пучок» из таких же проволок?

22.40. В современном строительстве часто используют железобетон. Для чего нужна стальная арматура?

22.41. Почему алмаз имеет бóльшую прочность, чем графит?

Решите и запишите

22.42. Из скольких стальных проволок диаметром $d = 2$ мм должен состоять трос, рассчитанный на подъем груза массой $m = 16$ т?

22.43. Железобетонная колонна сжата силой F. Какая часть нагрузки приходится на железо, если площадь поперечного сечения железа $S_{ж}$ в 20 раз меньше площади поперечного сечения бетона $S_{б}$, а модуль упругости железа $E_{ж}$ в 10 раз больше модуля упругости бетона $E_{б}$?

22.44. Каков запас прочности тросов, на которых подвешена кабина лифта, если общее сечение тросов 200 мм^2, а масса кабины с пассажирами 500 кг? Предел прочности стали, из которой изготовлены тросы, 450 Н/мм^2.

22.45. Стальная проволока длиной 1 м закреплена одним концом так, что может совершать колебания в вертикальной плоскости. К свободному концу проволоки прикреплен груз массой 50 кг. Проволоку с грузом отклоняют на высоту подвеса и отпускают. Определите абсолютное удлинение проволоки в нижней точке траектории при движении груза. Площадь сечения проволоки 0,8 мм^2, массой проволоки можно пренебречь.

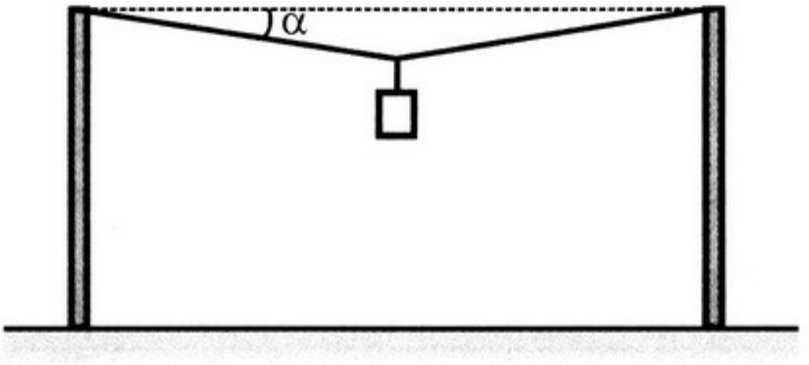
22.46. На стальной стержень радиусом 100,125 см надето медное кольцо, имеющее радиус 100 см и площадь поперечного сечения 4 мм^2. С какой силой растянуто кольцо, если модуль упругости меди $12 \cdot 10^{10}$ Па? Деформацией стержня можно пренебречь.

22.47. Проволока растягивается под действием подвешенного груза. Какая часть потерянной грузом потенциальной энергии переходит при этом в потенциальную энергию растянутой проволоки?

Олимпиадные задачи

О-112. Между двумя столбами натянута с небольшим усилием легкая проволока. К проволоке посередине подвешивают фонарь массой m. Площадь поперечного сечения проволоки равна S, модуль упругости материала E. Най-

дите угол провисания проволоки α (см. рисунок), считая его малым.



О-113. Из резинового шнура длиной 42 см и радиусом 3 мм сделали рогатку. Мальчик, стреляя из рогатки, растянул резиновый шнур на 20 см. Найдите, чему равен модуль Юнга для этой резины, если известно, что камень массой 20 г, пущенный из рогатки, полетел со скоростью 20 м/с. Изменением сечения шнура при растяжении можно пренебречь.

23. ИЗМЕНЕНИЯ АГРЕГАТНЫХ СОСТОЯНИЙ ВЕЩЕСТВА

$$Q = cm\Delta t,\ Q = \lambda m,\ Q = rm,$$
$$Q_1 + Q_2 + Q_3 + \ldots = 0$$

Пример решения задачи

В калориметре находится вода массой $m_в = 1$ кг, температура которой $t_в = 30$ °С. В калориметр помещают лед при температуре $t_л = 0$ °С. При какой массе $m_л$ льда он весь растает?

Решение. Наибольшее возможное значение массы льда соответствует случаю, когда вода охлаждается до 0 °С. В этом случае уравнение теплового баланса принимает вид:

$$\lambda m_л + c_в m_в (0\ °\text{C} - t_в) = 0,$$

откуда $m_л = \dfrac{c_в m_в t_в}{\lambda}$.

Проверяем единицы величин:

$$[m_л] = \frac{\text{Дж}/(\text{кг} \cdot °\text{C}) \cdot \text{кг} \cdot °\text{C}}{\text{Дж}/\text{кг}} = \text{кг}.$$

Производим вычисления: $m_л = \dfrac{4200 \cdot 1 \cdot 30}{330 \cdot 10^3} = 0{,}38$ (кг).

Ответ. Не более 0,38 кг.

Средний уровень

Решите устно

23.1. Можно ли в алюминиевом сосуде расплавить свинец? серебро?

23.2. Почему в истории человечества бронзовый век предшествовал железному веку?

23.3. Какие вещества можно расплавить в кипящей воде? Приведите примеры.

23.4. Почему на Крайнем Севере для измерения температуры используют спиртовые термометры, а не ртутные?

23.5. Равные по массе образцы воды и льда имеют температуру 0 °С. Одинакова ли их внутренняя энергия?

23.6. Почему вы ощущаете холод, выходя из реки после купания?

23.7. При испарении из жидкости вылетают наиболее быстрые молекулы. Значит ли это, что пар имеет более высокую температуру, чем жидкость?

23.8. Почему запотевают очки, когда человек с мороза входит в комнату?

23.9. Почему водяной пар обжигает сильнее, чем вода такой же температуры?

23.10. Будет ли кипеть вода в кастрюле, плавающей в другой кастрюле с кипящей водой?

Решите и запишите

23.11. Определите, какую массу свинца, взятого при 0 °С, можно расплавить за счет теплоты, полученной при сгорании 1 кг нефти, если КПД нагревателя 80 %.

23.12. В снежный сугроб, имеющий температуру 0 °С, бросили раскаленный до температуры 300 °С медный шар массой 2 кг. Какова масса растаявшего снега?

23.13. Сколько граммов керосина нужно сжечь, чтобы довести до кипения 4 л воды и 0,5 л ее испарить, если начальная температура воды 20 °С? КПД нагревателя 25 %.

23.14. В углубление, сделанное во льду, вливают свинец. Сколько было влито свинца, если он остыл до температуры 0 °С и при этом растопил лед массой 270 г? Начальная температура льда 0 °С, свинца — 400 °С.

23.15. Сколько водяного пара, температура которого 100 °С, надо ввести в латунный калориметр массой 100 г, в котором находится лед массой 150 г при температуре –20 °С, для того чтобы весь лед растаял?

23.16. До какой температуры нагреется 0,8 л воды, находящейся в медном калориметре массой 0,7 кг и имеющей температуру 12 °С, если ввести в калориметр 0,05 кг пара при 100 °С?

23.17. В калориметр, содержащий 250 г воды при температуре 15 °С, бросили 20 г мокрого снега. Температура в калориметре понизилась на 5 °С. Сколько воды было в снеге?

23.18. Сколько необходимо сжечь спирта, чтобы расплавить 2 кг льда, взятого при –5 °С, полученную воду нагреть до кипения и 1 кг воды превратить в пар? КПД спиртовки 40 %.

Решите устно

23.19. Чугун плавится при более низкой температуре, чем железо. Почему?

23.20. Почему во время ледохода становится холоднее, а при снегопаде — теплее?

23.21. Почему при замерзании воды в водоемах льдом покрывается раньше его поверхность?

23.22. В тающий снег поместили пробирку со льдом, имеющим температуру 0 °С. Будет ли таять лед в пробирке?

23.23. Чтобы лед в теплой комнате быстрее таял, мальчик укутал его куском ваты. Правильно ли он поступил?

23.24.  Чтобы лед таял, ему необходимо сообщать энергию, однако до тех пор, пока весь лед не растает, его температура не увеличивается. Это означает, что кинетическая энергия беспорядочного движения молекул тоже не увеличивается. Куда же «исчезает» получаемая льдом энергия?

23.25. Какое значение для весенних полевых работ имеют большие удельная теплота плавления льда и удельная теплота парообразования воды?

23.26. Что общего между процессами испарения и кипения? В чем различие между ними?

23.27. Почему вода в стакане испаряется намного медленнее, чем та же вода, пролитая на пол?

23.28. Чем определяется температура кипения жидкости? Достаточно ли нагреть жидкость до температуры кипения, чтобы процесс кипения продолжался, или для этого необходимо продолжать подводить тепло?

Решите и запишите

23.29. Кусок льда массой 5 кг при температуре −30 °С опустили в воду, имеющую температуру 70 °С. Масса воды 20 кг. Какую температуру будет иметь вода, когда весь лед растает?

23.30. Ванну объемом 100 л необходимо заполнить водой, имеющей температуру 30 °С, используя воду с температурой

80 °С и лед, температура которого −20 °С. Найти массу льда, которую придется положить в ванну. Теплоемкостью ванны и потерями тепла пренебречь.

23.31. В калориметр[1], содержащий лед массой 100 г при температуре 0 °С, впустили пар, температура которого 100 °С. Сколько воды окажется в калориметре после того, как весь лед растает? Температура образовавшейся воды равна 0 °С.

23.32. Смесь, состоящую из 5 кг льда и 15 кг воды при общей температуре 0 °С, нужно нагреть до температуры 80 °С пропусканием водяного пара при температуре 100 °С. Определите необходимое количество пара.

23.33. В калориметр, содержащий $m_в = 1{,}5$ кг воды при температуре $t_в = 20$ °С, положили $m_л = 1$ кг льда, имеющего температуру $t_л = -10$ °С. Какая температура Θ установится в калориметре?

23.34. Решите предыдущую задачу при условии: а) $m_л = 0{,}1$ кг; б) $m_л = 8$ кг. Остальные числовые значения в условии не изменяются. Найдите в каждом случае суммарный объем вещества после установления теплового равновесия в калориметре.

23.35. Для нагревания с помощью электронагревателя некоторой массы воды от $t_1 = 20$ °С до $t_2 = 100$ °С потребовалось $\tau_1 = 12$ мин. Сколько времени потребуется затем, чтобы обратить всю эту воду в пар? Теплоемкостью сосуда и потерями тепла можно пренебречь.

23.36. В сосуде находилась вода при температуре 0 °С. Откачивая воздух из сосуда, воду заморозили посредством испарения. Какая часть воды испарилась?

23.37. В калориметр, содержащий воду массой $m_1 = 400$ г при температуре $t_1 = 5$ °С, долили еще $m_2 = 200$ г воды при температуре $t_2 = 10$ °С и положили $m_3 = 400$ г льда при температуре $t_3 = -60$ °С. Какая температура Θ установится в калориметре? Как изменится масса льда?

23.38. В сосуд с водой при температуре $t = 20$ °С поместили $m_л = 100$ г льда при температуре $t_л = -8$ °С. Какая температура установится в сосуде? Теплоемкость сосуда с водой равна 1,67 кДж/К.

---

[1] Здесь и далее можно пренебречь теплоемкостью калориметра, если ее значение в условии не приведено.

23.39. Калориметр содержит $m_1 = 250$ г воды при температуре $t_1 = 15$ °С. В воду бросили $m_2 = 20$ г мокрого снега. В результате температура в калориметре понизилась на $\Delta t = 5$ °С. Сколько воды было в снеге?

23.40. Нагретый алюминиевый куб положили на лед, и куб полностью погрузился в лед. До какой температуры t был нагрет куб? Температура льда 0 °С, потерями тепла можно пренебречь.

23.41. При соблюдении некоторых мер предосторожности воду можно переохладить, т. е. охладить ниже 0 °С. Пробирку, содержащую $m = 12$ г переохлажденной воды с температурой $t = -5$ °С, встряхивают. При этом часть воды замерзает. Какова масса $m_л$ образовавшегося льда? Теплообменом с окружающей средой и теплоемкостью самой пробирки можно пренебречь.

Высокий уровень

Решите устно

23.42. Известно, что при медленном охлаждении очень чистой воды можно получить переохлажденную воду (например, при −5 °С). Почему же вода не замерзает при 0 °С?

23.43. Почему незадолго до закипания чайника мы слышим характерный шум? Почему перед самым закипанием он стихает?

23.44. Почему капельки тумана могут оставаться жидкими и при температуре −30 °С?

23.45. Если одно из колен U-образной трубки закрыть пробкой, уровни воды в коленах станут различными. В какой трубке уровень будет выше? Почему здесь не выполняется закон сообщающихся сосудов?

23.46. Можно ли передать телу некоторое количество теплоты, не вызывая этим повышения его температуры?

23.47. Из колбы, в которой находится немного воды, насосом откачивают воздух до очень низкого давления. Почему вода при этом закипает, а затем — замерзает?

23.48. Вода, имеющая такую же температуру, что и окружающий воздух, испаряется. Откуда берется теплота для испарения?

23.49. Удельная теплота парообразования воды значительно больше, чем эфира. Почему же эфир, налитый на руку, производит значительно большее охлаждение, чем вода?

23.50. Можно ли всасывающим водяным насосом поднять кипящую воду?

23.51. Космонавт на поверхности Луны открыл ампулу с водой. Что будет происходить с водой?

Решите и запишите

23.52. Лед, взятый при температуре $t_1 = -10$ °С, превратили в воду, температура которой $t_2 = +10$ °С. Сравните продолжительность различных этапов процесса и постройте график зависимости температуры t от времени τ, считая, что вещество ежесекундно получало одно и то же количество теплоты.

23.53. Свинцовая пуля ударяется о стальную плиту и отскакивает от нее. Температура пули перед ударом $t_1 = 50$ °С, скорость $v_0 = 400$ м/с, скорость после удара $v = 100$ м/с. Какая часть пули расплавилась, если 60% потерянной кинетической энергии перешло во внутреннюю энергию пули?

23.54. Установка, выделяющая тепловую мощность $N = 50$ кВт, охлаждается проточной водой, текущей по спиральной трубке диаметром $d = 15$ мм. При установившемся режиме проточная вода нагревается на $\Delta t = 25$ °С. Какова скорость v течения воды?

23.55. С какой высоты h должна падать вода, чтобы при ударе о землю она закипала? Считайте, что на нагрев воды расходуется 50 % ее механической энергии, начальная температура воды 20 °С.

23.56. Вода в стакане замерзает при 0 °С. Если же эту воду расчленить на маленькие капельки, то вода в них может быть переохлаждена до –40 °С. Так, например, капельки воды, из которых состоят облака, обычно начинают замерзать при температуре ниже –17 °С. Как объяснить эти факты?

23.57. Два одинаковых кусочка льда летят навстречу друг другу с одинаковыми скоростями и при ударе обращаются в пар. Оцените минимальную возможную скорость льдинок перед ударом, если их температура равна –12 °С.

23.58. В калориметре находилось 400 г воды при температуре 5 °С. К ней долили еще 200 г воды при температуре 10 °С и положили 400 г льда при температуре –60 °С. Какая температура установится в калориметре?

23.59. В сосуде с водой плавает льдинка, в которую вмерзла свинцовая дробинка. Масса льдинки 50 г, масса дробинки 5 г, температура воды в сосуде 0 °С. Какое наименьшее количество теплоты необходимо затратить, чтобы дробинка начала тонуть?

Олимпиадные задачи

О-114. С какой скоростью капля воды должна налететь на такую же неподвижную каплю, чтобы в результате взаимодействия она испарилась? Начальная температура капель 20 °С.

О-115. На электрической плитке мощностью 1 кВт кипит вода в чайнике. Найдите скорость истечения пара из носика чайника, считая пар идеальным газом. Давление пара на конце носика 1 атм, площадь сечения носика 1 см^2. Считайте, что вся энергия плитки передается воде.

О-116. В электрический чайник налили воду ($t = 10$ °С). Через 10 мин после включения чайника вода закипела. Через какое время она полностью испарится? Потерями теплоты можно пренебречь.

ЭЛЕКТРОДИНАМИКА

ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ

Элементарный электрический заряд. Закон сохранения электрического заряда. Закон Кулона. Напряженность электрического поля. Принцип суперпозиции электрических полей. Потенциал электрического поля. Потенциальность электростатического поля. Разность потенциалов.

Проводники в электрическом поле. Электрическая емкость. Конденсатор. Диэлектрики в электрическом поле. Энергия электрического поля.

24. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ЗАРЯД. ЗАКОН КУЛОНА НАПРЯЖЕННОСТЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ

$$q_1 + q_2 + \ldots + q_n = \text{const}, \quad F = \frac{|q_1||q_2|}{r^2},$$

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}, \quad \vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \ldots + \vec{E}_n$$

Пример решения задачи

Определите напряженность однородного электрического поля, под действием которого шарик массой 1,2 г с зарядом 49 нКл, подвешенный на нити, отклоняется так, что нить образует с вертикалью угол 30°.

Дано:

$m = 1{,}2$ г $= 1{,}2 \cdot 10^{-3}$ кг

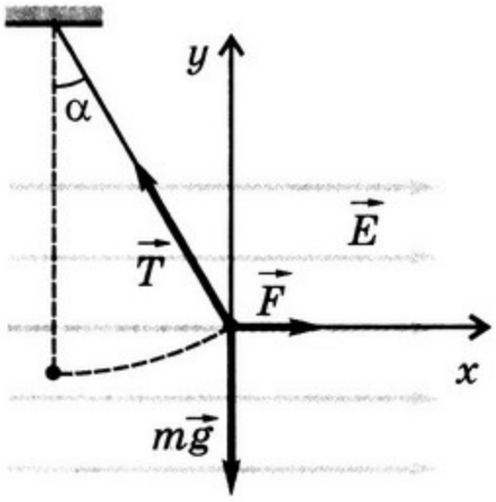
$q = 49 \cdot 10^{-9}$ Кл

$\alpha = 30°$

E – ?

Решение.

На шарик действуют $\vec{T}$ — сила натяжения нити, $m\vec{g}$ — сила тяжести, $\vec{F} = q\vec{E}$ — сила, с которой электрическое поле действует на шарик (см. рисунок на с. 184).



Запишем условие равновесия шарика в электрическом поле под действием сил: $\vec{T} + m\vec{g} + \vec{F} = 0$, или в проекциях на оси X и Y: $-T\sin\alpha + F = 0$, $T\cos\alpha - mg = 0$, откуда:

$$T\sin\alpha = qE,\ T\cos\alpha = mg.$$

После почленного деления уравнений получаем: $\text{tg}\alpha = \dfrac{qE}{mg}$.

Отсюда $E = \dfrac{mg}{q}\text{tg}\,\alpha$. Проверка единиц величин:

$$[E] = \frac{\text{кг}\,\frac{\text{м}}{\text{с}^2}}{\text{Кл}} = \frac{\text{Н}}{\text{Кл}}.$$

Вычисляем напряженность электрического поля:

$$E = \frac{1{,}2\cdot 10^{-3}\cdot 9{,}8}{49\cdot 10^{-9}}\cdot 0{,}5774 \approx 0{,}14\cdot 10^{6}\ (\text{Н/Кл}) = 0{,}14\ \text{МН/Кл}.$$

Ответ. 0,14 МН/Кл.

Средний уровень

Решите устно

24.1. Доводилось ли вам в повседневной жизни наблюдать явления, обусловленные электризацией тел? Приведите примеры.

24.2. Приведите примеры опытов, доказывающих, что существуют электрические заряды двух типов.

24.3. Можно ли при электризации трением зарядить только одно из соприкасающихся тел?

24.4. Бывали случаи, когда быстро поднимающийся аэростат загорался в воздухе. Чем это объяснить?

24.5. Опишите опыты, подтверждающие закон сохранения электрического заряда.

24.6. От водяной капли, обладающей зарядом $+2e$, отделилась капля с электрическим зарядом $-3e$. Определите электрический заряд оставшейся капли.

24.7. В чем сходство и различие закона всемирного тяготения и закона Кулона?

24.8. В каком случае напряженность электрического поля в какой-либо точке и сила, действующая на пробный заряд в той же точке, будут иметь противоположные знаки?

Решите и запишите

24.9. С какой силой взаимодействуют два точечных заряда 10 нКл и 15 нКл, находящиеся на расстоянии 5 см друг от друга?

24.10. Два одинаковых проводящих шарика, имеющих электрические заряды 18 нКл и –2 нКл, вследствие притяжения на мгновение соприкоснулись. Как распределился заряд между ними?

24.11. Два точечных одинаковых заряда взаимодействуют с силой 0,4 мН, находясь на расстоянии 5 см друг от друга. Чему равен каждый заряд?

24.12. Два точечных заряда, один из которых в три раза больше другого, находясь в вакууме на расстоянии 30 см, взаимодействуют с силой 30 Н. Определите эти заряды. На каком расстоянии в воде сила взаимодействия зарядов увеличится в три раза?

24.13. Два точечных заряда, находясь в воздухе на расстоянии 5 см, действуют друг на друга с силой 0,12 мН, а в некоторой непроводящей жидкости на расстоянии 12 см с силой 15 мкН. Какова диэлектрическая проницаемость этой жидкости?

24.14. На сколько уменьшилась бы масса шарика, если бы можно было удалить с него электроны, суммарный заряд которых равен 1 Кл?

24.15. Одинаковые небольшие металлические шарики, имеющие заряды 2,5 мкКл и –1,5 мкКл, приводят в соприкосновение и вновь разносят на расстояние 5 см. Определите заряд каждого шарика после соприкосновения и силу их взаимодействия.

24.16. В некоторой точке поля на заряд 100 нКл действует сила 4 мН. Найдите напряженность поля в этой точке и опре-

делите заряд, создающий это поле, если точка удалена от него на 30 см.

24.17. Металлическому шару радиусом 30 см сообщен заряд 6 нК. Определите напряженность электрического поля на поверхности шара.

24.18. Какой заряд должна иметь пылинка массой 0,1 мг, чтобы она «висела» в направленном вверх электростатическом поле напряженностью 1 кН/Кл?

Достаточный уровень

Решите устно

24.19. Электризация, хотя и незначительная, наблюдается при тесном контакте тел без трения. Означает ли это, что можно получить два заряженных тела, не совершая работу?

24.20. Маленькое тело потерли о другое, имеющее в k раз больший объем. Сравните модули зарядов этих тел.

24.21. Положительно заряженное тело притягивает подвешенный на шелковой нити легкий шарик. Можно ли утверждать, что шарик заряжен отрицательно?

24.22. Почему легкая станиолевая гильза притягивается и к положительно заряженной стеклянной палочке, и к отрицательно заряженной эбонитовой?

24.23. В изолированной системе двух разноименно заряженных тел после их контакта каждое из тел стало электронейтральным. Куда «пропали» заряды тел? Нарушился ли закон сохранения заряда?

24.24. Как с помощью отрицательно заряженной эбонитовой палочки определить знак заряда электроскопа, не прикасаясь палочкой к электроскопу?

24.25. Как с помощью отрицательно заряженного металлического шарика зарядить положительно другой такой же шарик, не изменяя заряда первого шарика?

24.26. Могут ли силовые линии электростатического поля: а) касаться; б) пересекаться; в) быть замкнутыми?

Решите и запишите

24.27. Одинаковые металлические шарики, заряженные одноименными зарядами q и $4q$, находятся на расстоянии x друг от друга. Шарики привели в соприкосновение. Как

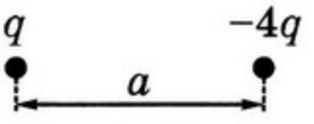
нужно изменить расстояние между ними, чтобы сила их взаимодействия осталась прежней?

24.28. Проводящий шарик массой 120 г подвешен на шелковой нити и имеет заряд 1,2 нКл. Когда под ним на расстоянии 18 см поместили второй заряженный шарик, натяжение нити уменьшилось вдвое. Определите знак и модуль заряда второго шарика.

24.29. С каким ускорением движется протон в электрическом поле с напряженностью 1 кН/Кл?

24.30. После того как два маленьких заряженных металлических шарика привели в соприкосновение и раздвинули на прежнее расстояние, сила их кулоновского взаимодействия увеличилась в $n = 4/3$ раза. Одноименными или разноименными были первоначально заряды q_1 и q_2 на шариках? Во сколько раз они отличались по модулю? Радиусы шариков равны.

24.31. Два разноименных точечных заряда q и $-4q$ находятся на расстоянии a друг от друга (см. рисунок). Каким должен быть третий заряд Q и где следует его расположить, чтобы вся система находилась в равновесии?



24.32. Решите задачу 24.31, заменив в условии заряд $-4q$ на $4q$.

24.33. Три одинаковых одноименных заряда q расположены в вершинах равностороннего треугольника. Какой заряд Q нужно поместить в центр треугольника, чтобы система зарядов находилась в равновесии?

24.34. В вершинах квадрата находятся четыре одинаковых одноименных заряда q. Какой заряд Q нужно поместить в центр квадрата, чтобы система находилась в равновесии?

24.35. Три одинаковых положительных заряда q расположены в вершинах равностороннего треугольника со стороной a. Определите величину напряженности поля E в точке A, лежащей на расстоянии a от каждого из зарядов.

24.36. В горизонтальное электрическое поле внесли подвешенный на нити шарик массой 2 г, имеющий заряд 0,1 мкКл. Какова напряженность поля, если нить образует с вертикалью угол 45°?

Решите устно

24.37. Могут ли тела электризоваться при соприкосновении без трения?

24.38. В каких случаях два одноименно заряженных тела могут притягиваться?

24.39. После обработки поверхности специальным составом, образующим тончайший проводящий слой, на поверхность оседает гораздо меньше пыли. Почему?

24.40. С какой силой действуют два одноименных и равных заряда на третий заряд, помещенный на половине расстояния между ними?

24.41. Два металлических шара имеют равные по модулю заряды. Зависит ли *модуль* силы взаимодействия шаров от того, будут эти заряды одноименными или разноименными? Расстояние между центрами шаров в обоих случаях одно и то же.

24.42. Два одинаковых по величине заряда находятся на некотором расстоянии друг от друга. В каком случае напряженность в точке, лежащей на половине расстояния между ними, больше: если эти заряды одноименные или разноименные?

24.43. Чему равна напряженность поля в центре равномерно заряженного проволочного кольца, имеющего форму окружности? в центре равномерно заряженной сферической поверхности?

24.44. Начальная скорость точечного электрического заряда, помещенного в электростатическое поле, равна нулю. Совпадает ли траектория движения заряда с силовой линией поля?

Решите и запишите

24.45. Два одинаковых одноименно заряженных шарика, подвешенных в одной точке на нитях равной длины, опускают в керосин. При этом угол расхождения нитей не изменяется. Какова плотность ρ материала шариков?

24.46. Какой угол α с вертикалью составляет нить, на которой висит заряженный шарик массой 0,25 г, помещенный в горизонтальное однородное электрическое поле напряженностью 1МН/Кл? Заряд шарика равен 2,5 нКл.

24.47. Подвешенный на шелковой нити бузиновый шарик массой 0,4 г поместили в однородное горизонтальное электрическое поле напряженностью 160 кН/Кл. Какой заряд необходимо передать шарику, чтобы нить образовала с вертикалью угол 11°?

24.48. На нитях равной длины, закрепленных в одной точке, висят два одинаковых маленьких металлических шарика. Шарикам сообщили равные заряды, в результате чего они разошлись на расстояние $a = 9{,}5$ см, которое намного меньше длины нитей. Затем один из шариков разрядили. Что произойдет с шариками после этого? При каком расстоянии b между шариками снова установится равновесие?

24.49. Три маленьких одинаково заряженных шарика массой $m = 4{,}0$ г каждый подвешены на шелковых нитях длиной $l = 1{,}0$ м. Верхние концы нитей закреплены в одной точке. Расстояние между любыми двумя шариками $a = 5{,}0$ см. Каков заряд q каждого шарика?

24.50. В вершинах квадрата со стороной a находятся (последовательно) одноименные точечные заряды q, $2q$, $3q$, $4q$. Чему равен модуль вектора напряженности электрического поля этих зарядов в центре квадрата при $a = 1$ м, $q = 0{,}3$ нКл?

24.51. Ромб составлен из двух равносторонних треугольников со стороной, длина которой равна 0,2 м. В вершинах при острых углах ромба помещены одинаковые положительные заряды по $6 \cdot 10^{-7}$ Кл. В вершине при одном из тупых углов помещен отрицательный заряд $8 \cdot 10^{-7}$ Кл. Определите напряженность электрического поля в четвертой вершине ромба.

Олимпиадные задачи

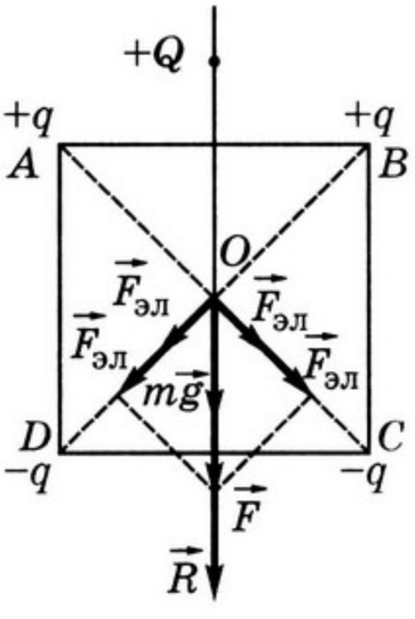
О-117. Какой заряд приобрел бы медный шар радиусом 10 см, если бы удалось удалить из него все электроны проводимости? Считайте, что на каждый атом меди приходится один электрон проводимости.

О-118. Может ли точечный заряд находиться в состоянии *устойчивого* равновесия под действием только кулоновских сил?

О-119. Подсчитать модуль средней плотности ρ электрических зарядов в атмосфере, если известно, что напряженность электрического поля на поверхности Земли равна 100 В/м, а на высоте $h = 1{,}5$ км эта напряженность падает до 25 В/м.

О-120. Два заряда $+Q$ неподвижны и расположены на расстоянии a друг от друга. Вдоль оси симметрии системы этих зарядов может перемещаться третий заряд $-q$, обладающий массой m. Считая расстояние заряда $-q$ от прямой, соединяющей заряды $+Q$, малым, определите период колебаний заряда $-q$.

О-121. Заряженная пылинка массой m с зарядом $+Q$ движется в вакууме вдоль линии, проходящей через точку O (центр показанного на рисунке квадрата $ABCD$, расположенного вертикально). В вершины квадрата помещены точечные заряды $+q$, $+q$, $-q$, $-q$ (заряды $+q$ находятся в двух верхних вершинах). Каково ускорение пылинки в точке O, если сторона квадрата равна d?



О-122. Заряженный шарик массой m подвесили на нити длиной l и отвели от положения равновесия так, что угол между нитью и вертикалью составил α. Под точкой подвеса поместили второй заряженный шарик. С какой скоростью надо толкнуть первый шарик в горизонтальной плоскости, чтобы он вращался с постоянной скоростью по окружности, в центре которой находится второй шарик? Заряды шариков одинаковы и равны q.

25. ПОТЕНЦИАЛ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ. ПРОВОДНИКИ И ДИЭЛЕКТРИКИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ

$$\varphi = \frac{W_{\text{п}}}{q},\ A = q(\varphi_1 - \varphi_2) = qU,\ E = \frac{U}{d},\ E = \frac{E_0}{\varepsilon}$$

Пример решения задачи

Чему равен потенциал φ поля точечного заряда $Q = 20$ нКл на расстоянии $r = 5$ см от заряда?

Дано:

$Q = 20$ нКл

$r = 5$ см

$k = \dfrac{1}{4\pi\varepsilon_0} = 9 \cdot 10^9 \dfrac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2}$

φ — ?

Решение.

Если в поле данного заряда находится другой заряд q, то его потенциальная энергия $W_p = q\varphi$, а работа кулоновских сил при перемещении заряда равна:

$$F = -\Delta W_p = q(\varphi_1 - \varphi_2).$$

При малом изменении расстояния между зарядами (от r до $r + \Delta r$) можно считать, что кулоновская сила почти не изменяется:

$$A \approx \frac{Qq}{4\pi\varepsilon_0 r^2} \cdot \Delta r \approx \frac{Qq}{4\pi\varepsilon_0 (r + \Delta r)} \cdot \Delta r \approx q\left(\frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 r} - \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 (r + \Delta r)}\right).$$

Нетрудно проверить, что эта формула справедлива независимо от знаков обоих зарядов. Сопоставляя два полученных выражения для работы и учитывая, что при $r \to \infty$ потенциальную энергию принимают равной нулю, получаем $\varphi = \dfrac{Q}{4\pi\varepsilon_0 r}$. Заметим, что потенциальная энергия взаимодействия зарядов $W_p = \dfrac{Qq}{4\pi\varepsilon_0 r}$ положительна для одноименных зарядов (т. е. в случае отталкивания) и отрицательна для разноименных зарядов.

Проверка единиц величин:

$$[\varphi] = \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2} \cdot \frac{\text{Кл}}{\text{м}} = \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{Кл}} = \frac{\text{Дж}}{\text{Кл}} = \text{В}.$$

Вычисляем потенциал:

$$\varphi = 9 \cdot 10^9 \frac{20 \cdot 10^{-9}}{5 \cdot 10^{-2}} = 3600\ (\text{В}) = 3{,}6\ \text{кВ}.$$

Ответ. 3,6 кВ.

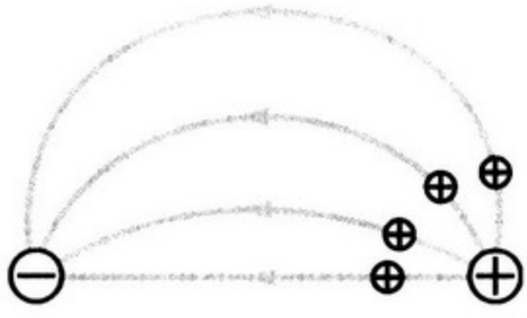
Решите устно

25.1. Какое поле называется потенциальным? Приведите примеры потенциальных полей.

25.2. Вблизи тела, заряженного положительно, помещают незаряженный изолированный проводник. Каким будет его потенциал — положительным или отрицательным?

25.3. Как направлена напряженность поля — в сторону возрастания или убывания потенциала?

25.4. Сравните работы по перемещению заряда q по каждой из линий напряженности электрического поля (см. рисунок).



25.5. Почему при равновесии свободных зарядов напряженность электрического поля внутри изолированного проводника равна нулю?

25.6. Что такое электростатическая защита? Когда она используется?

25.7. Какие виды диэлектриков вам известны? Чем они отличаются?

25.8. Что такое поляризация диэлектрика? Как при поляризации происходит разделение зарядов?

Решите и запишите

25.9. Потенциальная энергия заряда 5 нКл в электрическом поле равна 1,5 мкДж. Чему равен потенциал поля в этой точке?

25.10. В точке поля с потенциалом 250 В заряженное тело имеет потенциальную энергию –0,5 мкДж. Каков его заряд?

25.11. Какую работу совершает электрическое поле при перемещении заряда 3 нКл из точки с потенциалом 220 В в точку с потенциалом 40 В?

25.12. Какую работу совершает электрическое поле при перемещении заряда 2 нКл из точки с потенциалом 20 В в точку с потенциалом 200 В?

25.13. Электрические потенциалы двух изолированных проводников, находящихся в воздухе, равны 220 В и –220 В. Какую работу совершит электрическое поле этих двух зарядов при переносе заряда 4 мкКл с одного проводника на другой?

25.14. Заряд –15 нКл переместили в однородном электрическом поле с напряженностью 20 кВ/м на 8 см в направлении силовой линии. Какую работу совершило поле? На сколько изменилась потенциальная энергия заряда?

25.15. Поле образовано зарядом 17 нКл. Какую работу надо совершить, чтобы одноименный заряд 4 нКл перенести из точки, удаленной от первого заряда на 0,5 м, в точку, удаленную от того же заряда на 0,05 м?

25.16. Какую кинетическую энергию приобрел электрон, пройдя ускоряющую разность потенциалов 5 кВ? Выразите ответ в электронвольтах и джоулях.

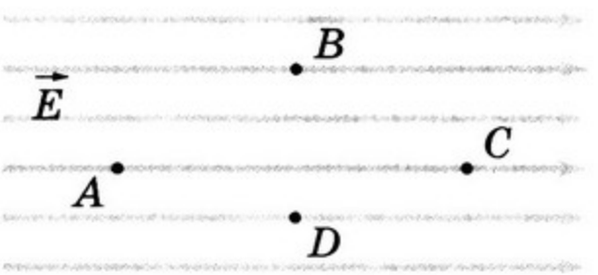
Достаточный уровень

Решите устно

25.17. Как можно изменить потенциал проводника, не касаясь его и не изменяя его заряда?

25.18. Двум металлическим шарам разного радиуса сообщили одинаковые заряды. Будут ли переходить заряды с одного шара на другой, если их соединить проводником?

25.19. На рисунке изображены линии напряженности электрического поля и точки A, B, C, D. Между какими точками разность потенциалов равна нулю? Между какими точками разность потенциалов наибольшая?



25.20. Как изменяется потенциальная энергия отрицательного заряда, удаляющегося от другого отрицательного заряда, — увеличивается или уменьшается? Обоснуйте свой ответ.

25.21. Как надо перемещать точечный заряд в поле заряженного шара, чтобы потенциальная энергия этого заряда не изменялась? Обязательно ли этот заряд должен двигаться по окружности?

25.22. Будет ли взаимодействовать заряженный стеклянный шарик с таким же, но незаряженным шариком? Обоснуйте свой ответ.

Решите и запишите

25.23. В вершинах квадрата расположены точечные заряды: $q_1 = 1$ нКл, $q_2 = -2$ нКл, $q_3 = 3$ нКл, $q_4 = -4$ нКл. Найдите потенциал электрического поля в центре квадрата. Диагональ квадрата равна 20 см.

25.24. Электрон вылетает из точки, потенциал которой 450 В, со скоростью 190 м/с. Какую скорость он будет иметь в точке с потенциалом 475 В?

25.25. Пылинка массой $m = 3{,}0 \cdot 10^{-11}$ г покоится между горизонтальными пластинами плоского конденсатора. Под действием ультрафиолетового излучения пылинка потеряла часть заряда и начала опускаться. Чтобы восстановить равновесие, потребовалось увеличить напряжение на $\Delta U = 25$ В. Какой заряд Δq потеряла пылинка? Сколько элементарных электрических зарядов он составляет? Расстояние между пластинами конденсатора $d = 5{,}2$ мм, начальное напряжение $U_0 = 480$ В.

25.26. Между параллельными заряженными пластинами, расположенными горизонтально, удерживается в равновесии пылинка массой 10^{-12} кг с зарядом $-5 \cdot 10^{-16}$ Кл. Определите разность потенциалов между пластинами, если расстояние между ними 1 см.

25.27. Два электрона, находящиеся в начальный момент далеко друг от друга, движутся вдоль одной прямой навстречу друг другу с одинаковыми по модулю скоростями $v_0 = 1000$ км/с. На какое наименьшее расстояние они сблизятся?

25.28. Два электрона находятся на большом расстоянии друг от друга. Вначале один электрон неподвижен, а другой приближается к нему с начальной скоростью $v_0 = 1000$ км/с, направленной вдоль соединяющей элек-

троны прямой. На какое наименьшее расстояние они сблизятся? С какими скоростями разлетятся?

25.29. Два металлических шара радиусами $R_1 = 5$ см, $R_2 = 15$ см имеют заряды $q_1 = 12$ нКл, $q_2 = -40$ нКл. Шары соединяют тонкой проволокой. Какой заряд Δq пройдет по проволоке? Расстояние между шарами намного больше их радиусов.

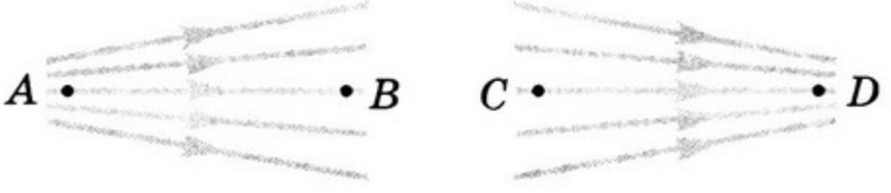
25.30. Электрон влетает в плоский воздушный конденсатор параллельно его пластинам со скоростью $6 \cdot 10^7$ м/с. Расстояние между пластинами 1 см, разность потенциалов 600 В. Найдите отклонение электрона, вызванное полем конденсатора, если длина его пластины 5 см.

Высокий уровень

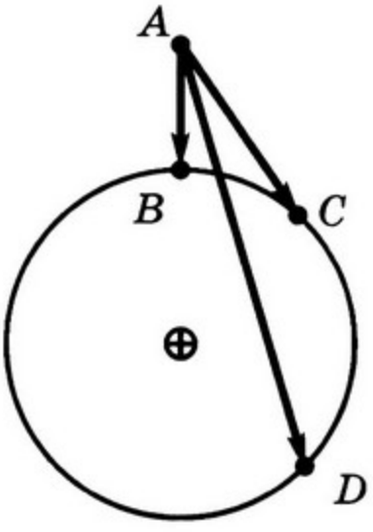
Решите устно

25.31. Как изменяется потенциальная и кинетическая энергия положительного заряда, находящегося на пылинке, которая свободно перемещается в поле точечного положительного заряда по направлению силовой линии?

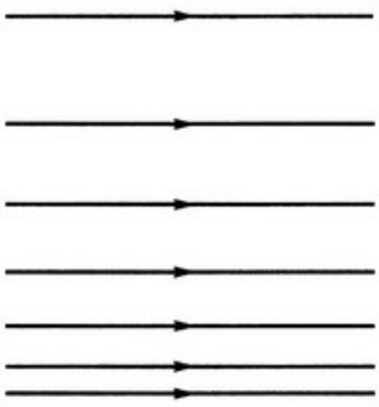
25.32. Сравните потенциал и напряженность электрического поля в точках A и B, C и D (см. рисунок).



25.33. В электрическом поле положительного точечного заряда из точки A поочередно перемещают заряд в точки B, C и D. В каком случае кулоновская сила совершит наибольшую работу?



25.34. Можно ли создать электростатическое поле, линии напряженности которого имеют вид, показанный на рисунке?

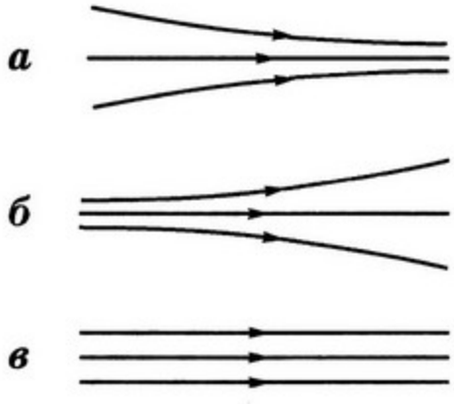


25.35. Имеется полая проводящая незаряженная сфера, внутрь которой помещен положительно заряженный шарик. Укажите: а) где будут существовать электрические поля; б) будут ли появляться заряды на сфере; в) будет ли меняться поле внутри и вне сферы, если перемещать шарик; если шарик оставить неподвижным, а снаружи к сфере поднести заряженное тело?

25.36. Два разноименно заряженных шарика находятся на некотором расстоянии друг от друга. Между ними помещают незаряженный стеклянный шар. Как изменится сила взаимодействия шариков?

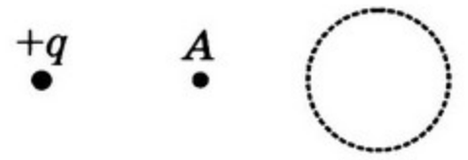
Решите и запишите

25.37. На рис. *а*, *б*, *в* показаны картины силовых линий трех электрических полей. Как будет вести себя незаряженный шарик, помещенный в каждое из этих полей?



25.38. В однородное электрическое поле вносят металлический незаряженный шар. Где и какие индуцированные заряды появятся на шаре? Нарисуйте линии напряженности поля и эквипотенциальные поверхности.

25.39. Электрическое поле создается положительным точечным зарядом. Как изменятся напряженность E и потенциал φ поля в точке A (см. рисунок), если справа от нее поместить незаряженный шар?



25.40. Заряд Q равномерно распределен по объему непроводящего шара радиусом R. Чему равна напряженность поля E на расстоянии r от центра шара? Постройте график зависимости $E(r)$.

25.41. Вернитесь к условию задачи 25.40 и определите потенциал поля φ на расстоянии r от центра шара. Постройте график зависимости $\varphi(r)$.

25.42. Металлический шар радиусом R имеет заряд Q. Чему равны напряженность поля E и потенциал φ на расстоянии r от центра шара? Постройте графики зависимостей $E(r)$ и $\varphi(r)$.

25.43. Положительно заряженный металлический шар окружен толстым сферическим слоем диэлектрика ($\varepsilon = 2$). Нарисуйте картину силовых линий поля. Объясните, почему поле скачкообразно изменяется при переходе через границу диэлектрика.

25.44. Металлический шар радиусом R_1, заряженный до потенциала φ_1, окружают концентрической с ним тонкой проводящей сферической оболочкой радиусом R_2. Каким станет потенциал шара, если его соединить проводником с оболочкой? Если соединить оболочку с Землей, не соединяя ее с шаром?

Олимпиадные задачи

О-123. Тонкое проволочное кольцо радиусом R несет на себе электрический заряд q. В центре кольца расположен одноименный с q заряд Q, причем $|Q| >> |q|$. Определите силу T, с которой растянуто кольцо.

О-124. Тонкое неподвижное проволочное кольцо радиусом R имеет заряд $+Q$. В центре кольца находится маленький шарик, имеющий массу m и заряд $-q$. Шарику придают начальную скорость v_0, направленную вдоль оси кольца. Как зависит характер движения шарика от v_0?

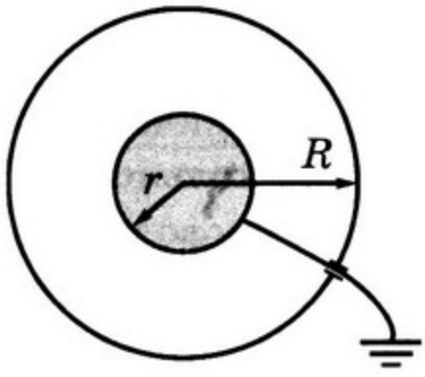
О-125. Вне изолированной металлической незаряженной сферы радиусом R на расстоянии r от ее центра находится точечный заряд q. Каков потенциал сферы φ?

О-126. Проводящий шар радиусом R соединен тонкой длинной проволокой с землей. На расстоянии r от его центра размещают положительный точечный заряд q. Какой заряд Q приобретает шар? Влиянием проволоки на поле можно пренебречь.

О-127. Внутрь полой проводящей незаряженной сферы радиусом R помещен (не обязательно в центре) маленький шарик с положительным зарядом Q. 1) Какие заряды индуцируются на сфере? Как они распределяются по ней? 2) Какой вид имеет картина силовых линий электрического поля? Чему равен потенциал φ сферы? 3) Будет ли поле действовать на положительный точечный заряд q вне сферы, на расстоянии r от ее центра? Если будет, то с какой силой? Считайте, что $q \ll Q$. 4) Как изменятся распределение зарядов и поле, если сферу заземлить?

О-128. Внутрь полой проводящей незаряженной сферы помещен шарик с зарядом q, после чего сферу на короткое время заземляют, а затем шарик осторожно удаляют из сферы через небольшое отверстие так, что он не соприкасается со сферой. Какой заряд имеет сфера после этого? Как он распределен? Каково электрическое поле сферы?

О-129. Внутри тонкой металлической сферы радиусом $R = 20$ см (см. рисунок) находится металлический шар радиусом $r = R/2$; центры шара и сферы совпадают. Через маленькое отверстие в сфере проходит длинный провод, с помощью которого шар заземлен. На сферу помещают заряд $Q = 20$ нКл. Найдите ее потенциал φ.



О-130. Три концентрические тонкие металлические сферы имеют радиусы R_1, R_2, R_3, причем $R_1 < R_2 < R_3$. Первая и третья сферы заземлены, вторая имеет заряд $Q > 0$. Найдите зависимость $E(r)$ при всех r, где E — напряженность электрического поля, а r — расстояние от данной точки до центра сфер.

О-131. Два одинаковых металлических шара радиусом R, находящихся далеко друг от друга, соединены тонким изолированным проводом. Каждый из шаров имеет заряд Q и окружен концентрической с ним тонкой незаряженной проводящей сферической оболочкой. Радиус одной оболочки равен $R + a$, радиус другой оболочки $R + b$, причем $a \ll R$, $b \ll R$. Какой заряд q пройдет по проводу, если обе оболочки заземлить?

О-132. Точечный заряд $+q$ находится на расстоянии h от большой плоской проводящей пластины. С какой силой F действует пластина на заряд?

О-133. Четыре шарика, имеющие одинаковые заряды q, расположены вдоль одной прямой так, что расстояние между соседними шариками равно a. Какую работу A нужно совершить, чтобы разместить эти шарики: а) в вершинах квадрата со стороной a; б) в вершинах тетраэдра с ребром a?

26. ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ЕМКОСТЬ. КОНДЕНСАТОР. ЭНЕРГИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ

$$C = \frac{q}{U},\ C = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 S}{d},\ W_p = \frac{q^2}{2C} = \frac{CU^2}{2},\ w = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 E^2}{2}$$

Пример решения задачи

Пластины плоского конденсатора изолированы друг от друга слоем диэлектрика. Конденсатор заряжен до разности потенциалов 1 кВ и отключен от источника напряжения. Определите диэлектрическую проницаемость диэлектрика, если при его удалении разность потенциалов между пластинами конденсатора возрастает до 3 кВ.

Решение. Поскольку конденсатор отключен от источника напряжения, то его заряд в обоих случаях будет одинаковым: $q_1 = q_2$. Принимая во внимание, что $q_1 = U_1 C_1$ и $q_2 = U_2 C_2$, находим $U_1 C_1 = U_2 C_2$, откуда

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{C_1}{C_2}.$$

Учитывая, что для плоского конденсатора $C_1 = \varepsilon_1 \varepsilon_0 S/d$ и $C_2 = \varepsilon_2 \varepsilon_0 S/d$, получаем

$$\frac{C_1}{C_2} = \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2}.$$

Тогда $U_2/U_1 = \varepsilon_1/\varepsilon_2$, откуда

$$\varepsilon_1 = \frac{U_2}{U_1}\varepsilon_2 \text{ и } \varepsilon_1 = \frac{3 \cdot 10^3 \cdot 1}{10^3} = 3.$$

Ответ. 3.

Средний уровень

Решите устно

26.1. Можно ли применять понятие электроемкости к одному проводнику?

26.2. Зависит ли электроемкость уединенного проводника от присутствия вблизи него других проводников?

26.3. Какова основная особенность конденсатора?

26.4. Правильно ли утверждение: под зарядом конденсатора понимают сумму зарядов его обкладок?

26.5. На марке электролитического конденсатора имеются следующие данные: 10 мкФ, 300 В. Что они обозначают?

26.6. Что будет с разностью потенциалов между пластинами конденсатора, если уменьшить расстояние между ними? Если увеличить?

26.7. Что произойдет с разностью потенциалов на пластинах заряженного конденсатора, если площадь пластин увеличить? Если уменьшить?

26.8. Что произойдет с разностью потенциалов на пластинах заряженного конденсатора, если воздух между пластинами заменить слюдой?

26.9. С помощью какого опыта можно убедиться в том, что заряженный конденсатор обладает энергией?

26.10. Какую опасность представляют обесточенные цепи с имеющимися в них конденсаторами?

Решите и запишите

26.11. Какова емкость конденсатора, заряд которого равен 30 мКл при разности потенциалов между его обкладками 3 кВ?

26.12. Какова разность потенциалов между обкладками конденсатора емкостью 1500 пФ, если заряд конденсатора равен 3 нКл?

26.13. Какой заряд нужно сообщить конденсатору емкостью 2 мкФ, чтобы разность потенциалов между его пластинами была равна 40 В?

26.14. На конденсаторе написано: 100 пФ; 300 В. Можно ли использовать этот конденсатор для накопления заряда 50 нКл?

26.15. Найдите емкость плоского конденсатора, состоящего из двух круглых пластин диаметром 20 см, разделенных парафиновой прослойкой толщиной 1 мм.

26.16. Объем плоского воздушного конденсатора 424 $см^3$, а его емкость 150 пФ. Определите расстояние между пластинами конденсатора.

26.17. Во сколько раз изменится емкость конденсатора при уменьшении рабочей площади пластин в 2 раза и уменьшении расстояния между ними в 3 раза?

26.18. Определите энергию электрического поля конденсатора, заряд которого равен 20 нКл, а напряжение между пластинами — 300 В.

26.19. Импульсная лампа фотовспышки потребляет за одну вспышку 36 Дж электрической энергии. До какого напряжения заряжают питающий вспышку конденсатор емкостью 800 мкФ?

26.20. Расстояние между пластинами плоского конденсатора с диэлектриком из бумаги, пропитанной парафином, равно 2 мм, а напряжение между пластинами — 200 В. Найдите плотность энергии поля.

Достаточный уровень

Решите устно

26.21. Как можно изменить потенциал проводника, не касаясь его и не изменяя его заряда?

26.22. В чем заключается сходство между конденсатором и системой «заряженное облако — земля»?

26.23. Если к шарику заряженного электроскопа поднести (не касаясь шарика) руку, листочки немного спадают. Почему?

26.24. Два проводника имеют одинаковую форму и размеры, причем один из них полый, а другой сплошной. Если сообщить каждому из них одинаковый заряд, то будут ли их потенциалы равны?

26.25. Изменится ли емкость плоского конденсатора, если в воздушный зазор между пластинами вдвинуть незаряженную тонкую металлическую пластину?

26.26. Изменится ли ответ предыдущей задачи, если между пластинами вставить толстую металлическую пластинку?

26.27. Какие параметры влияют на максимальное рабочее напряжение конденсатора?

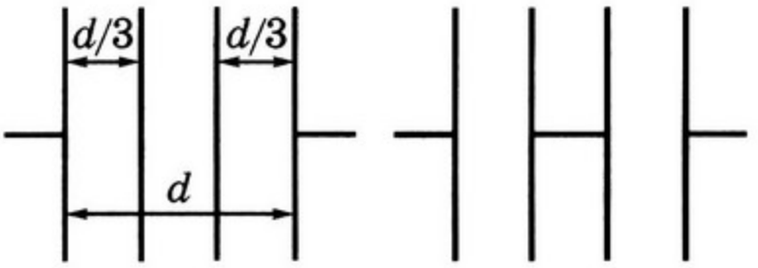
26.28. Пластины плоского воздушного заряженного конденсатора притягиваются с силой F. Изменится ли эта сила, если ввести в воздушный зазор между пластинами конденсатора пластинку из диэлектрика?

26.29. Одноименно заряженные тела сближают. Какую работу при этом совершают силы электрического поля — положительную или отрицательную? Как изменяется энергия электрического поля — увеличивается или уменьшается?

26.30. Можно ли увеличить энергию заряженного школьного раздвижного конденсатора, не изменяя заряда его пластин?

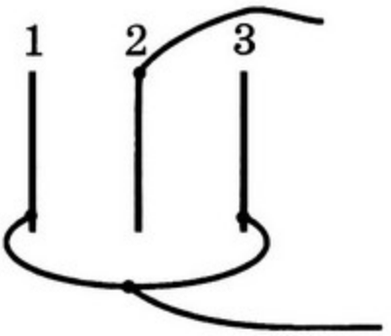
Решите и запишите

26.31. Во сколько раз изменится емкость плоского конденсатора, если ввести в него две тонкие металлические пластины (см. рис. *а*)? если соединить эти пластины проводом (см. рис. *б*)?



а *б*

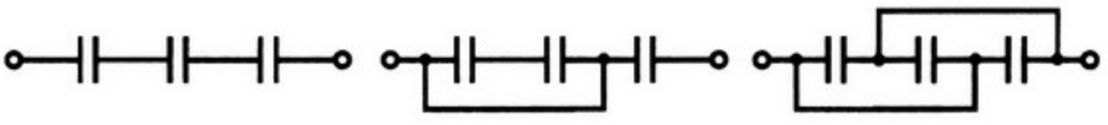
26.32. Конденсатор состоит из трех полосок фольги площадью $S = 4$ см^2 каждая, разделенных слоями слюды толщиной $d = 0{,}2$ мм. Крайние полоски фольги соединены между собой (см. рисунок). Какова емкость C такого конденсатора?



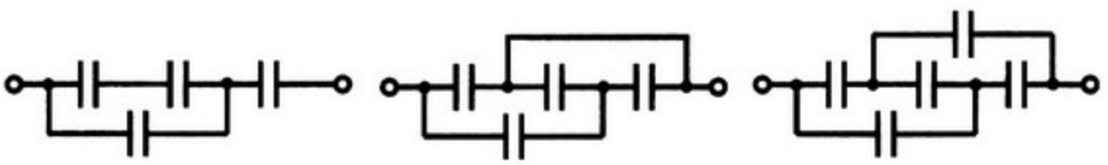
26.33. Площадь пластины слюдяного конденсатора 36 см^2, толщина слоя диэлектрика 0,14 см. Определите электрическую емкость, заряд и энергию, запасенную конденсатором, если разность потенциалов на его пластинах 300 В, а диэлектрическая проницаемость слюды равна 7.

26.34. Определите электрический заряд, накопленный плоским конденсатором емкостью 0,02 мкФ, если напряженность поля в конденсаторе 320 В/см, а расстояние между пластинами 0,5 см. Какой будет разность потенциалов на пластинах, если воздушный зазор между ними увеличить в два раза? Определите энергию электрического поля конденсатора в обоих случаях.

26.35. Найдите емкости показанных на рис. *а*—*е* систем. Все конденсаторы имеют одинаковую емкость C.



а *б* *в*



г *д* *е*

26.36. Два одинаковых плоских конденсатора соединены параллельно и заряжены до напряжения $U_0 = 240$ В. После отключения от источника тока расстояние между пластинами одного из конденсаторов уменьшили в три раза. Каким стало напряжение U на конденсаторах?

26.37. Два одинаковых плоских воздушных конденсатора соединены последовательно и подключены к источнику постоянного напряжения U. Во сколько раз изменится напряженность электрического поля в каждом из конденсаторов, если один из них заполнить диэлектриком с диэлектрической проницаемостью ε?

26.38. Плоский воздушный конденсатор емкостью 1600 пФ зарядили до разности потенциалов 500 В, отключили от источника напряжения и увеличили расстояние между пластинами в три раза. Определите разность потенциалов на пластинах конденсатора после их раздвигания и работу, совершенную при этом внешними силами.

Высокий уровень

Решите устно

26.39. Сравните электроемкости трех одинаковых шариков, изготовленных из стали, меди и стекла.

26.40. В заряженном сферическом проводнике с полостью сделали вмятину. Как это повлияло на его емкость и потенциал поверхности?

26.41. Плоский конденсатор подключили к источнику постоянного напряжения. Как изменятся заряд конденсатора, разность потенциалов между обкладками и напряженность поля внутри конденсатора, если расстояние между обкладками увеличить в 2 раза: а) не отключая источника напряжения; б) предварительно отключив источник?

26.42. Плоский воздушный конденсатор зарядили и отключили от источника напряжения. Во сколько раз изменятся заряд и напряжение на обкладках конденсатора, если пространство между обкладками заполнить парафином?

26.43. Если электрон ускоряется в электрическом поле плоского конденсатора и, следовательно, приобретает кинетическую энергию, то уменьшается ли при этом заряд конден-

сатора, поскольку силы электрического поля совершают работу по перемещению электрона в поле?

26.44. Одинакова ли энергия, необходимая для зарядки конденсатора от 0 до 10 В и от 10 до 20 В?

26.45. Одинакова ли будет работа, совершенная при разрядке конденсатора от 300 до 200 В и от 200 до 0 В?

26.46. Воздушный конденсатор заряжается до некоторого потенциала и в заряженном состоянии заливается керосином, отчего энергия конденсатора уменьшается в ε раз. Куда «исчезает» остальная энергия?

Решите и запишите

26.47. Плоский воздушный конденсатор заряжен до разности потенциалов 60 В и отключен от источника электрического тока. После этого внутрь конденсатора параллельно обкладкам вводится пластина из диэлектрика с диэлектрической проницаемостью 2. Толщина пластины в два раза меньше зазора между обкладками конденсатора. Чему равна разность потенциалов между обкладками конденсатора после введения диэлектрика?

26.48. Конденсатор подключен к аккумулятору. Как будет изменяться энергия конденсатора при раздвигании его пластин? Как согласуется это изменение с законом сохранения энергии? Каким будет ответ в случае, если заряженный конденсатор отключили от аккумулятора перед раздвиганием пластин?

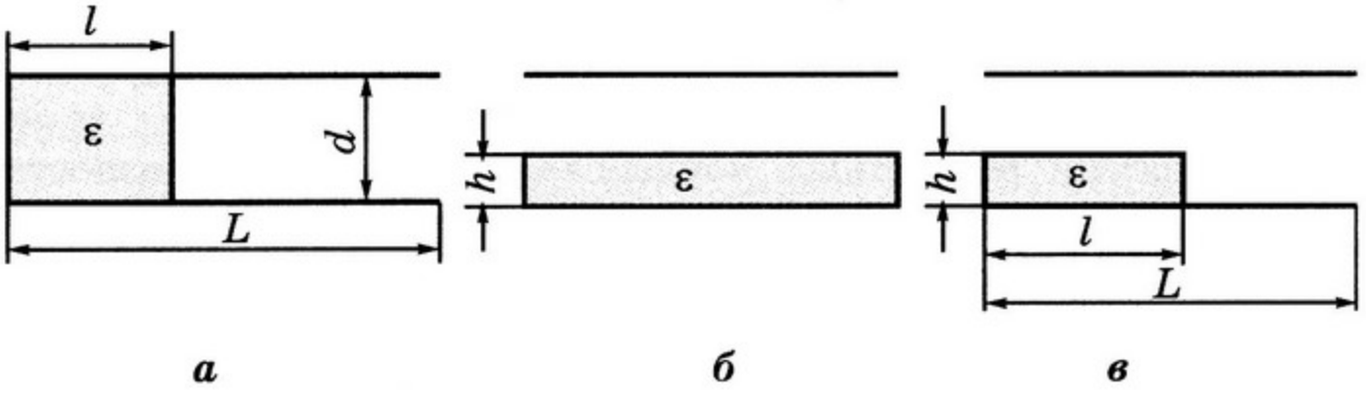
26.49. Заряженный конденсатор заполняют диэлектриком с диэлектрической проницаемостью ε. Как изменяются заряд конденсатора q, напряжение U, напряженность поля в конденсаторе E, его энергия W, если: а) конденсатор отключен от батареи; б) конденсатор подключен к батарее?

26.50. Заряженный плоский конденсатор, отключенный от источника ЭДС, помещен в сосуд с жидким диэлектриком. Если открыть кран у дна сосуда, диэлектрик вытечет, и энергия конденсатора увеличится (сравните с задачей 26.49). За счет какой энергии увеличится энергия конденсатора?

26.51. В каком случае придется совершить бóльшую работу при раздвигании пластин плоского конденсато-

ра: а) конденсатор после зарядки отключен от источника; б) конденсатор остается подключенным к источнику напряжения?

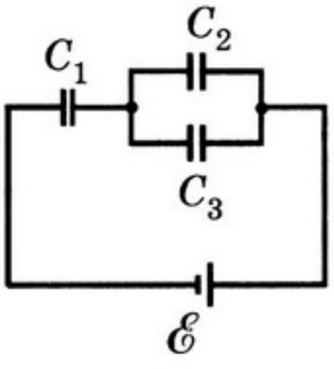
26.52. Пространство между прямоугольными обкладками плоского конденсатора частично заполнено диэлектриком с диэлектрической проницаемостью ε. Площадь пластин конденсатора равна S. Найдите емкость конденсатора C в каждом из случаев, показанных на рис. *а*, *б*, *в*.



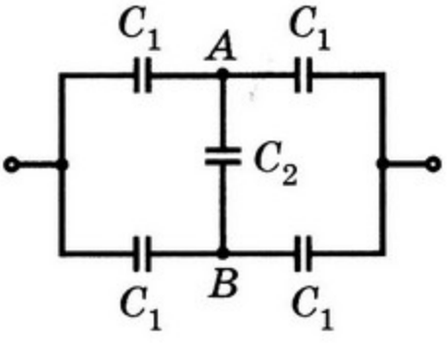
а *б* *в*

26.53. Решите задачу 26.52 для случаев *б*, *в*, заменив диэлектрик на проводник.

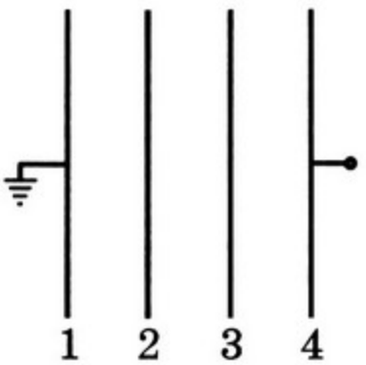
26.54. Найдите заряды на каждом из конденсаторов в цепи, изображенной на рисунке, если $C_1 = 2$ мкФ, $C_2 = 4$ мкФ, $C_3 = 6$ мкФ, $\mathscr{E} = 18$ В.



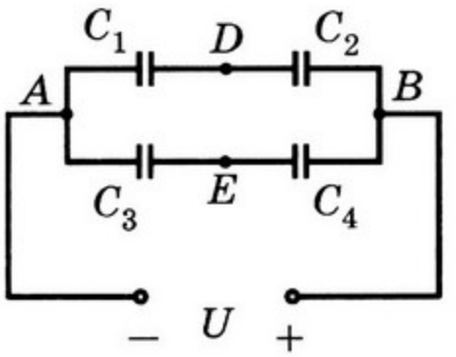
26.55. Найдите емкость C_0 батареи конденсаторов, изображенной на рисунке.



О-134. В плоский конденсатор помещают две параллельные тонкие металлические пластины на одинаковом расстоянии друг от друга и от обкладок конденсатора (см. рисунок). На обкладки конденсатора подано напряжение U, обкладка 1 заземлена. 1) Каковы потенциалы пластин 2 и 3? 2) Как изменятся потенциалы пластин и напряженность поля во всех трех промежутках, если пластины 2 и 3 соединить проводником? 3) Во сколько раз изменится при этом емкость конденсатора? Изменятся ли заряды на обкладках 1 и 4?



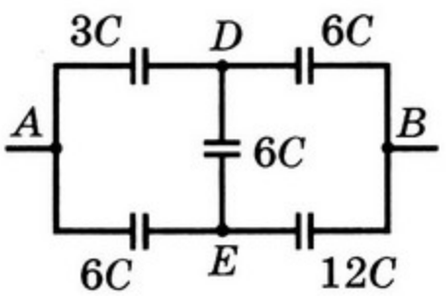
К задаче О-134



К задаче О-135

О-135. Найдите заряд каждого из конденсаторов и разность потенциалов между точками D и E (см. рисунок), если $C_1 = C_2 = C_3 = C$, а $C_4 = 4C$. К точкам A и B подведено постоянное напряжение U.

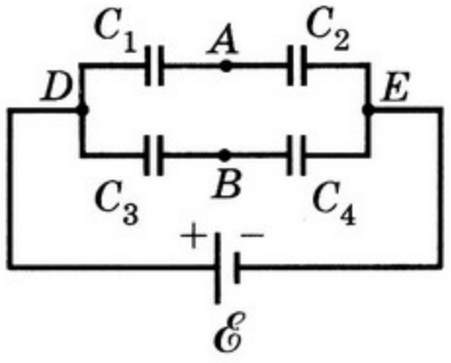
О-136. Найдите емкость C_0 показанной на рисунке батареи конденсаторов.



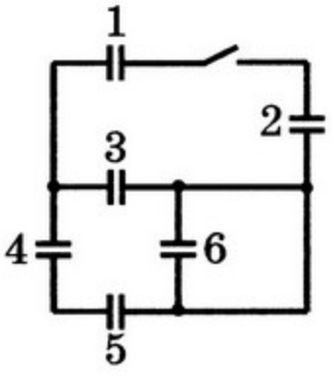
О-137. Два конденсатора, имеющие емкости $C_1 = 10$ мкФ и $C_2 = 50$ мкФ, соединены последовательно. Конденсаторы могут выдержать напряжение соответственно U_1 и U_2. Какое наибольшее напряжение U_{max} выдержит батарея из этих конденсаторов? Решите задачу при: а) $U_1 = U_2 = 120$ В; б) $U_1 = 120$ В, $U_2 = 6$ В.

О-138. Пять точек попарно соединены конденсаторами емкости C. Какова емкость C_0 между любыми двумя из этих точек? Каким будет ответ для произвольного числа точек n?

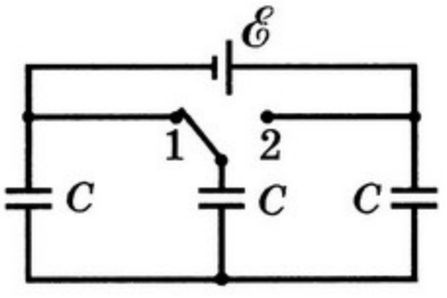
О-139. Найдите разность потенциалов между точками A и B в цепи (см. рисунок). Какой станет эта разность потенциалов и полная емкость C системы конденсаторов, если между точками A и B включить резистор с сопротивлением R?



О-140. В цепи (см. рисунок) емкость каждого конденсатора равна C. Вначале ключ разомкнут, конденсатор 1 заряжен до напряжения U_0, остальные конденсаторы не заряжены. Найдите напряжение на каждом из конденсаторов после замыкания ключа.



К задаче О-140



К задаче О-141

О-141. Какое количество теплоты Q выделится во всей цепи при переводе ключа из положения 1 в положение 2 (см. рисунок)? Энергией электромагнитного излучения можно пренебречь.

О-142. В плоский конденсатор длиной $l = 5{,}0$ см влетает электрон под углом $\alpha = 15°$ к пластинам. Энергия электрона $W = 1500$ эВ, расстояние между пластинами $d = 10$ мм. При каком напряжении U на конденсаторе электрон вылетит параллельно пластинам конденсатора? Каким будет ответ, если длину конденсатора увеличить до 10 см?

ПОСТОЯННЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК

Электрический ток. Последовательное и параллельное соединение проводников. Электродвижущая сила (ЭДС). Закон Ома для полной электрической цепи. Электрический ток в металлах, жидкостях, газах и вакууме. Плазма. Полупроводники. Собственная и примесная проводимости полупроводников. Полупроводниковый диод. *Полупроводниковые приборы.*

27. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК. ЗАКОН ОМА ДЛЯ УЧАСТКА ЦЕПИ

$$I = \frac{\Delta q}{\Delta t},\ U = \frac{A}{q},\ R = \rho\frac{l}{S},\ I = \frac{U}{R}$$

Пример решения задачи

Сопротивление медной проволоки $R = 1$ Ом, а ее масса $m = 1$ кг. Какова длина проволоки l и площадь ее поперечного сечения S?

Решение. Воспользуемся формулами $R = \rho\frac{l}{S}$ и $m = dV = dlS$. Здесь ρ — удельное сопротивление меди, d — ее плотность. Эти формулы образуют систему из двух уравнений с двумя неизвестными. Перемножив почленно оба уравнения, найдем $l = \sqrt{\frac{Rm}{\rho d}}$; разделив второе уравнение почленно на первое, найдем $S = \sqrt{\frac{m\rho}{Rd}}$.

Ответ. $l = 81{,}3$ м, $S = 1{,}38$ мм^2.

Средний уровень

Решите устно

27.1. Если между параллельными металлическими пластинами, присоединенными к кондукторам работающей электрофорной машины, поместить легкие пушинки, то воз-

никает интенсивное их движение от одной пластины к другой. Какое физическое явление будет смоделировано этим движением?

27.2. По каким признакам можно установить, идет в цепи ток или нет? Приведите примеры.

27.3. Чем отличается движение заряженных частиц в проводнике в отсутствие и при наличии внешнего электрического поля?

27.4. Как выбирается направление электрического тока? В каком направлении движутся электроны в металлическом проводнике, по которому протекает электрический ток?

27.5. Что такое источник тока? Какова его роль в электрической цепи?

27.6. От чего зависит электрическое сопротивление проводника?

27.7. Согласно закону Ома сопротивление $R = \frac{U}{I}$. Означает ли это, что сопротивление зависит от силы тока или напряжения?

27.8. Размеры железного и нихромового проводов одинаковы. Сопротивление какого провода больше?

Решите и запишите

27.9. Какой заряд пройдет через поперечное сечение проводника за 1 мин, если сила тока в проводнике 2 А?

27.10. Сколько электронов пройдет через спираль лампы накаливания за 1 с при силе тока в лампе 1,6 А?

27.11. Чему равно напряжение на участке цепи, на котором совершается работа 800 Дж при прохождении по участку 50 Кл электричества?

27.12. Сопротивление алюминиевого провода длиной 0,9 км и сечением 10 мм^2 равно 2,5 Ом. Определите его удельное сопротивление.

27.13. Сколько метров никелинового провода сечением 0,1 мм^2 потребуется для изготовления реостата сопротивлением 180 Ом?

27.14. Каким должен быть диаметр медного провода длиной 10 м, если его сопротивление во избежание перегрева не должно превышать 1 Ом?

27.15. Определите силу тока в реостате сопротивлением 500 Ом, если к нему приложено напряжение 12 В.

27.16. Чему равно сопротивление спирали электрической лампы, если на цоколе написано 6,3 В, 0,22 А?

27.17. Какое нужно приложить напряжение к проводнику сопротивлением 0,25 Ом, чтобы в проводнике была сила тока 30 А?

Достаточный уровень

Решите устно

27.18. По проводнику течет ток. Равна ли нулю напряженность электрического поля внутри проводника?

27.19. По проводнику переменного сечения проходит постоянный ток. Является ли постоянной ли сила тока в различных сечениях проводника?

27.20. При каких условиях в проводнике возникает и существует электрический ток?

27.21. Каково направление электрического тока электронного луча в кинескопе телевизора: к экрану или от него?

27.22. Возможен ли электрический ток в отсутствие электрического поля?

27.23. Объясните с точки зрения электронной теории строения вещества наличие у проводника электрического сопротивления.

27.24. Какой проводник представляет большее сопротивление для постоянного тока: медный сплошной стержень или медная трубка, имеющая внешний диаметр, равный диаметру стержня? Длину обоих проводников считать одинаковой.

27.25. Является ли источник тока источником электрических зарядов в цепи? Объясните.

Решите и запишите

27.26. При переносе 240 Кл электричества из одной точки электрической цепи в другую за 16 мин совершена работа 1,2 кДж. Определите напряжение и силу тока в цепи.

27.27. На катушку электромагнита намотан медный провод сечением 0,03 мм^2 и длиной 200 м. Найдите сопротивление и массу обмотки.

27.28. Из металла массой 1 кг нужно изготовить провод длиной 1 км. В каком случае сопротивление провода будет меньше — если его сделать из меди или из серебра? Во сколько раз?

27.29. Рассчитайте силу тока, проходящего по медному проводу длиной 100 м и площадью поперечного сечения 0,5 мм^2 при напряжении 6,8 В.

27.30. Длина провода, подводящего ток к потребителю, равна 60 м. Какое сечение должен иметь медный провод, если при силе протекающего по нему тока 160 А потери напряжения составляют 8 В?

27.31. Определите напряжение на концах стального проводника длиной 140 см и площадью поперечного сечения 0,2 мм^2, в котором сила тока равна 250 мА.

Высокий уровень

Решите устно

27.32. Капля дождя в процессе падения электризуется. Можно ли говорить о наличии электрического тока между землей и облаком в данном случае?

27.33. Почему электростатические силы не могут поддерживать постоянный электрический ток в цепи?

27.34. Могут ли существовать токи, текущие от более низкого потенциала к более высокому?

27.35. Существует ли электрическое поле между полюсами источника электрической энергии, не включенного в цепь?

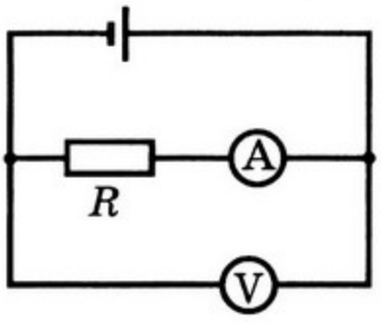
Решите и запишите

27.36. Какова напряженность поля в алюминиевом проводнике сечением 1,4 мм^2 при силе тока 1 А?

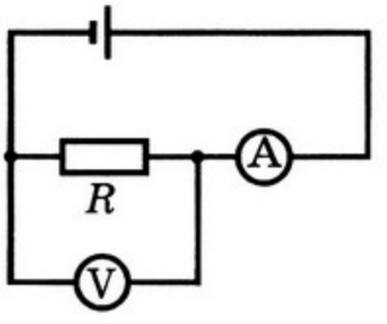
27.37. Медная проволока массой $m = 300$ г имеет электрическое сопротивление $R = 57$ Ом. Найдите длину проволоки l и площадь ее поперечного сечения S.

27.38. Плотностью тока j называется отношение силы тока в проводнике к площади сечения этого проводника: $j = I/S$. Выразите плотность тока через напряженность электрического поля E в проводнике и удельное сопротивление проводника ρ.

27.39. Для измерения сопротивления проводника R используют одну из двух схем (рис. *а*, *б*). Сопротивление проводника вычисляют по *приближенной* формуле $R = U/I$, где U — показание вольтметра, I — показание амперметра. Какая из схем дает меньшую погрешность при измерении больших сопротивлений? Малых сопротивлений? Выведите формулы, позволяющие с помощью этих схем измерить R как можно более точно, зная сопротивления амперметра R_A и вольтметра R_V.



а



б

27.40. Для измерения сопротивления резистора R собрана схема, показанная на рис. *б* к задаче 27.39. Показание амперметра $I = 2$ А, показание вольтметра $U = 120$ В. Найдите R, если сопротивление вольтметра $R_V = 3$ кОм. К какой погрешности (абсолютной и относительной) приведет использование приближенной формулы $R = U/I$?

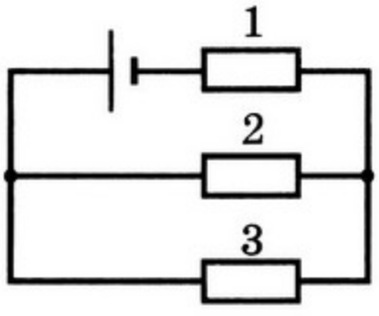
27.41. Как с помощью вольтметра, микроамперметра и источника тока с неизвестным внутренним сопротивлением измерить величину неизвестного сопротивления R, сравнимого с сопротивлением вольтметра?

28. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЕ И ПАРАЛЛЕЛЬНОЕ СОЕДИНЕНИЕ ПРОВОДНИКОВ

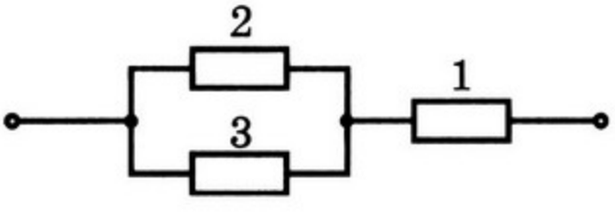
$$R = R_1 + R_2 + \ldots, \quad \frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \ldots$$

Пример решения задачи

Найдите силу тока в каждом из резисторов (см. рисунок), если сопротивление каждого из этих резисторов 60 Ом, а напряжение источника тока $U = 18$ В.



Решение. Прежде всего определим, каковы типы соединений резисторов в данной цепи. Для этого перерисуем исходную схему (нарисуем *эквивалентную схему*). Мысленно заменим провода упругими «нитями» и растянем цепь, «взявшись» за полюса источника тока (см. рисунок); преобразуя цепь, нельзя *разрывать* провода, по которым идет ток, и *соединять* их в новых узлах. Теперь нетрудно найти сопротивление цепи: $R = R_1 + R_{23}$. Следовательно, $I_1 = I = U/R$, $I_2 = I_3 = I/2$.



Таким образом, $R = 60 + \dfrac{60 \cdot 60}{60 + 60} = 90$ (Ом),

а $I_1 = \dfrac{18}{90} = 0{,}2$ (А), $I_2 = I_3 = \dfrac{0{,}2}{2} = 0{,}1$ (А).

Ответ. $I_1 = 0{,}2$ А, $I_2 = I_3 = 0{,}1$ А.

Средний уровень

Решите устно

28.1. Какая электрическая величина одинакова для всех проводников, включенных последовательно?

28.2. Какая электрическая величина одинакова для всех проводников, включенных параллельно?

28.3. В замкнутую цепь последовательно включены реостат и электрический звонок. Изменится ли напряжение на зажимах звонка, если реостат переставить в цепи с одной стороны звонка на другую?

28.4. Две проволоки — железная и медная, одинакового сечения — включены в цепь параллельно. В какой из проволок сила тока будет больше?

28.5. Какой недостаток последовательного соединения проводников?

28.6. Медный и алюминиевый провода одинаковых размеров включены в цепь последовательно. На каком из них больше напряжение? Во сколько раз?

28.7. Резисторы с сопротивлениями 5 кОм и 20 кОм соединены последовательно. На каком из них больше напряжение? Во сколько раз?

28.8. Резисторы с сопротивлениями 2 Ом и 6 Ом соединены параллельно. Через какой из них идет больший ток? Во сколько раз?

28.9. Почему лампы в квартире соединяют параллельно, а лампочки в елочной гирлянде — последовательно?

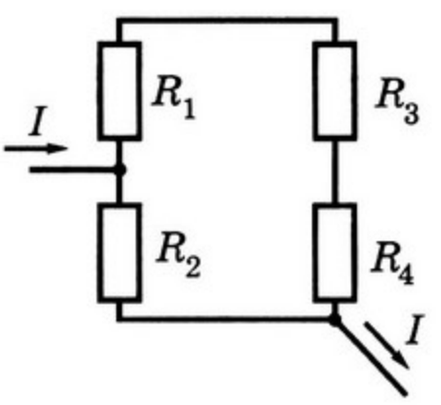
28.10. Как измерить напряжение городской сети, превышающее 200 В, если имеются вольтметры со шкалами только до 150 В?

Решите и запишите

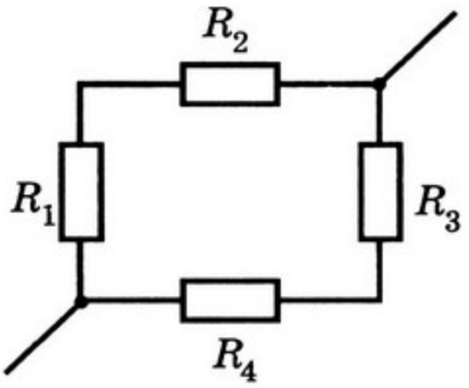
28.11. Какие сопротивления можно получить с помощью двух резисторов, сопротивления которых 4 кОм и 6 кОм?

28.12. Какие сопротивления можно получить с помощью трех резисторов по 12 кОм?

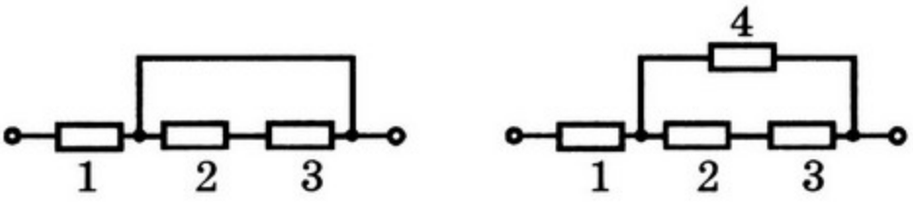
28.13. Чему равно общее сопротивление участка цепи, изображенного на рисунке, если $R_1 = 60$ Ом, $R_2 = 12$ Ом, $R_3 = 15$ Ом, $R_4 = 3$ Ом?



28.14. Четыре сопротивления $R_1 = 1$ Ом, $R_2 = 2$ Ом, $R_3 = 3$ Ом, $R_4 = 4$ Ом соединены по схеме, изображенной на рисунке. Определите общее сопротивление цепи.



28.15. Каковы сопротивления показанных на рис. *а*, *б* цепей, если сопротивление каждого из резисторов 2 Ом?

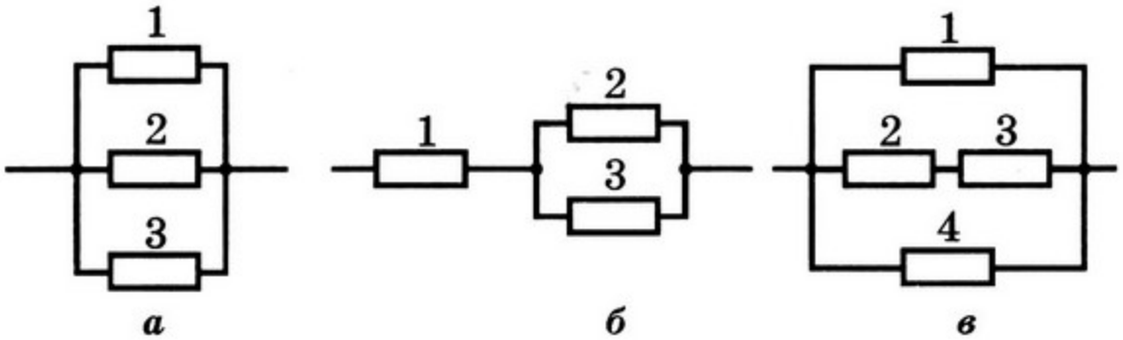


а *б*

28.16. К источнику постоянного напряжения 48 В подключили три резистора, соединенные последовательно. Сила тока через первый резистор равна 1 А, сопротивление второго составляет 12 Ом, а напряжение на третьем резисторе равно 18 В. Каковы сопротивления первого и третьего резисторов?

28.17. Два резистора соединены параллельно. Сопротивление первого резистора равно 25 Ом. Сила тока во втором резисторе равна 7,5 А, напряжение на нем 150 В. Какова общая сила тока в цепи?

28.18. Найдите силу тока в каждом из одинаковых резисторов (см. рис. *а*, *б*, *в*). К цепи приложено напряжение 12 В, сопротивление резистора 1 кОм.



а *б* *в*

Решите устно

28.19. Елочная гирлянда спаяна из лампочек для карманного фонарика. При включении этой гирлянды в сеть на каждую из лампочек приходится напряжение 3 В. Почему же опасно, выкрутив одну из лампочек, сунуть палец в патрон?

28.20. В одну и ту же цепь включены электрическая лампа и электрическая плитка. Сила тока в плитке больше, чем в лампе. Почему?

28.21. Как изменится сопротивление электрической цепи, если подключить к любому звену цепи еще один резистор: а) последовательно; б) параллельно?

28.22. Как изменится сопротивление электрической цепи, если сопротивление одного из резисторов в этой цепи: а) увеличить; б) уменьшить? Зависит ли ответ от типа соединения проводников?

28.23. Как изменится показание вольтметра, если последовательно с ним включить резистор?

28.24. Как измерить напряжение прибором, измеряющим силу тока?

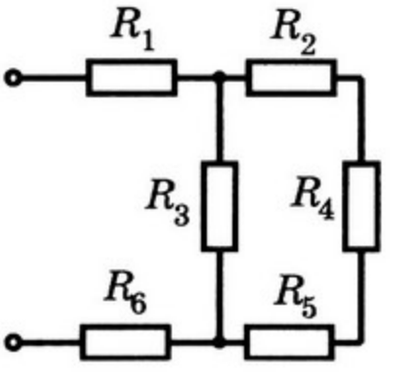
Решите и запишите

28.25. Какие сопротивления R можно получить, используя не более четырех резисторов с сопротивлением R_0? Начертите соответствующие схемы соединений.

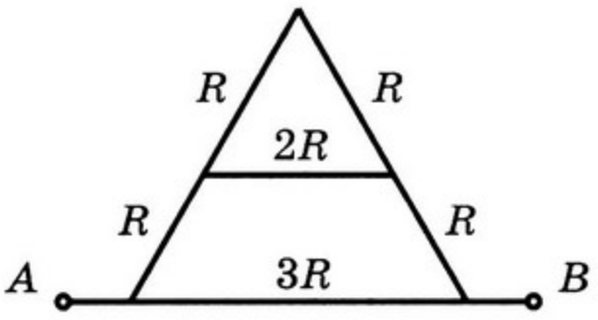
28.26. Из одинаковых резисторов по 10 Ом требуется составить цепь сопротивлением 6 Ом. Какое наименьшее количество резисторов для этого потребуется? Начертите схему цепи.

28.27. Из проволоки сопротивлением $R_0 = 32$ Ом сделано кольцо. В каких точках кольца следует подключить провода, чтобы получить сопротивление $R = 6$ Ом?

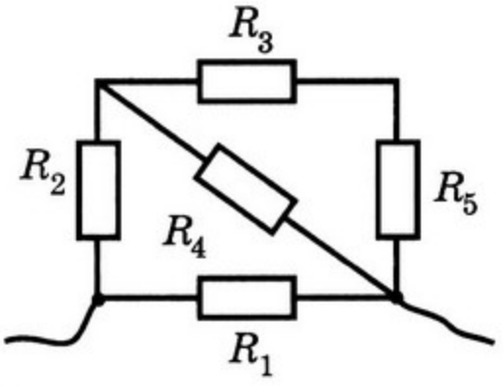
28.28. Найдите полное сопротивление R показанной на рисунке цепи, если $R_1 = R_2 = R_5 = R_6 = 3{,}0$ Ом; $R_3 = 20$ Ом, $R_4 = 24$ Ом. Найдите силу тока, идущего через каждый резистор, если к цепи приложено напряжение $U = 36$ В.



28.29. Определите сопротивление участка AB, если $R = 1$ Ом.



К задаче 28.29

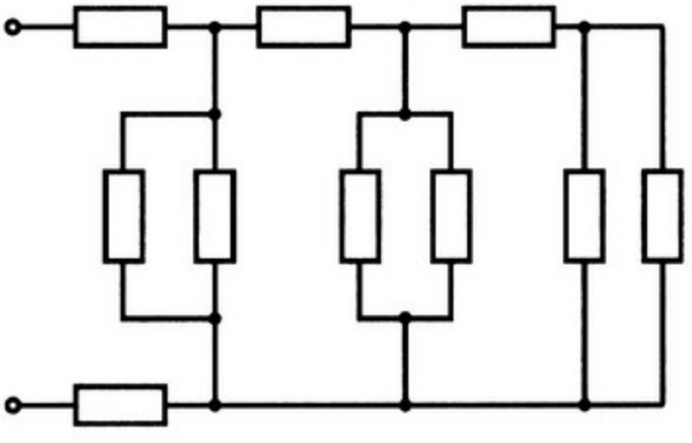


К задаче 28.30

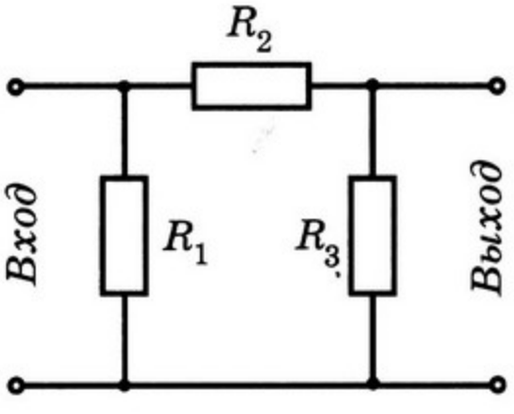
28.30. Вычислите сопротивление цепи, представленной на рисунке, если $R = 1$ Ом.

28.31. Три одинаковые лампы, рассчитанные на напряжение 36 В и силу тока 1,5 А, нужно соединить параллельно и питать от сети с напряжением 45 В. Добавочный резистор какого сопротивления нужно подключить последовательно с лампами, чтобы они работали в нормальном режиме?

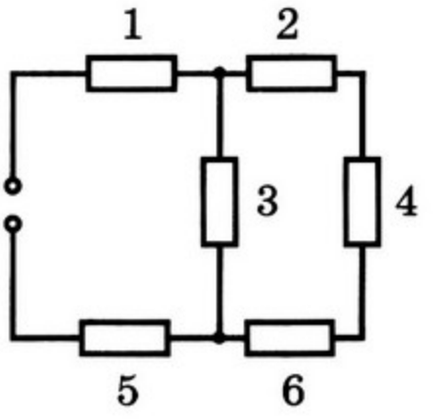
28.32. Найти сопротивление цепи, изображенной на рисунке, если каждое из сопротивлений равно 2 Ом.



28.33. Если на вход электрической цепи (см. рисунок) подано напряжение $U_1 = 100$ В, то напряжение на выходе $U_3 = 40$ В; при этом через резистор R_2 идет ток $I_2 = 1$ А. Если же на выход цепи подать напряжение $U_3' = 60$ В, то напряжение на входе будет $U_1' = 15$ В. Найдите сопротивления R_1, R_2, R_3.



28.34. К источнику тока с напряжением 110 В подключена электрическая цепь (см. рисунок). Все резисторы имеют сопротивление 10 кОм. Найдите силу тока в каждом резисторе.



Высокий уровень

Решите устно

28.35. Ученик по ошибке включил вольтметр вместо амперметра при измерении величины тока в лампе. Что при этом произойдет с накалом нити лампы?

28.36. Ученик по ошибке включил амперметр вместо вольтметра при измерении напряжения на горящей лампочке. Объясните, что произошло с величиной тока в цепи?

28.37. Кусок проволоки разрезали на две части и скрутили по всей длине вместе. Как изменилось сопротивление проволоки?

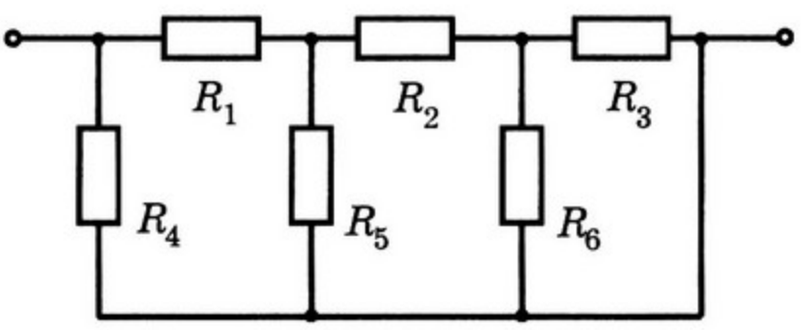
28.38. Как требуется соединить четыре проводника сопротивлением по 5 Ом каждый, чтобы эквивалентное сопротивление осталось таким же, как у одного проводника?

28.39. На участке электрической цепи включали поочередно два исправных амперметра, причем первый показывал меньшую величину тока, чем второй. Объясните явление.

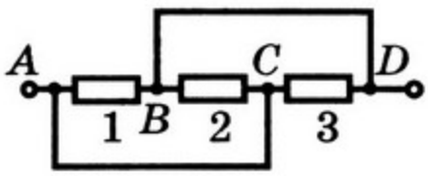
28.40. Источник с напряжением U питает участок цепи с N последовательно соединенных резисторов R. Во сколько раз изменится сила тока на участке цепи и в каждом резисторе, если их соединить параллельно?

Решите и запишите

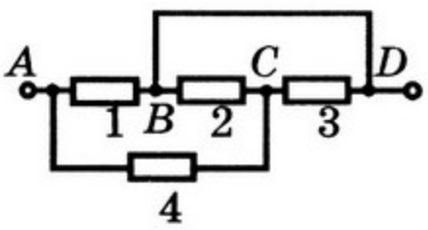
28.41. Определите общее сопротивление цепи, изображенной на рисунке, если $R_1 = 1/2$ Ом, $R_2 = 3/2$ Ом, $R_3 = R_4 = R_6 = 1$ Ом, $R_5 = 2/3$ Ом.



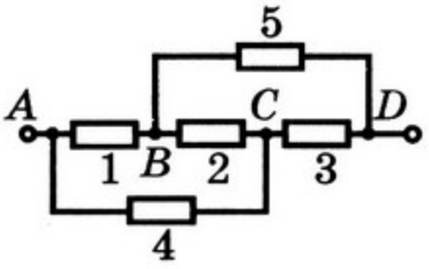
28.42. Найдите сопротивление R каждой из цепей, показанных на рисунках *а*, *б*, *в*. Сопротивление каждого резистора R_0, сопротивлением соединительных проводов можно пренебречь.



а



б

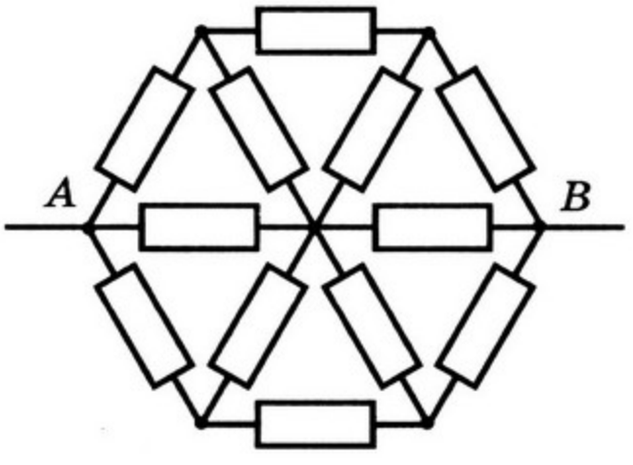


в

28.43. Найдите сопротивление R проволочного тетраэдра, включенного в цепь двумя вершинами. Сопротивление каждого ребра R_0.

28.44. Имеется n точек, соединенных попарно резисторами. Каково сопротивление R между любыми двумя из этих точек, если сопротивление каждого резистора R_0?

28.45. Найдите сопротивление R между точками A и B показанной на рисунке цепи. Сопротивление каждого из резисторов R_0.



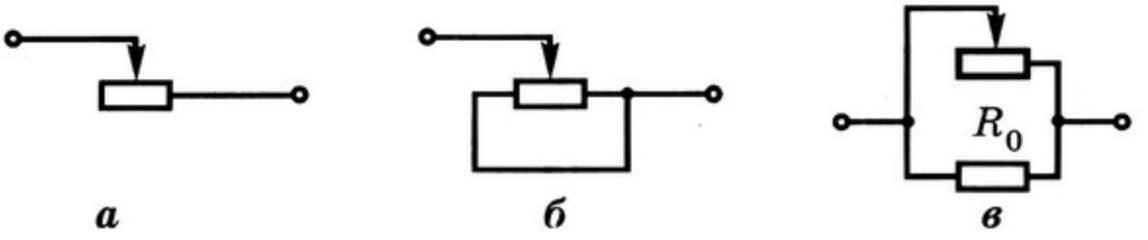
28.46. Найдите сопротивление R цепи (см. рисунок) между точками A и B, если сопротивление каждого звена R_0.



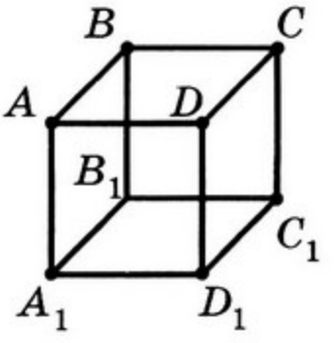
28.47. Найдите сопротивление R цепи (см. рисунок) между точками A и B, если сопротивление каждого звена R_0.



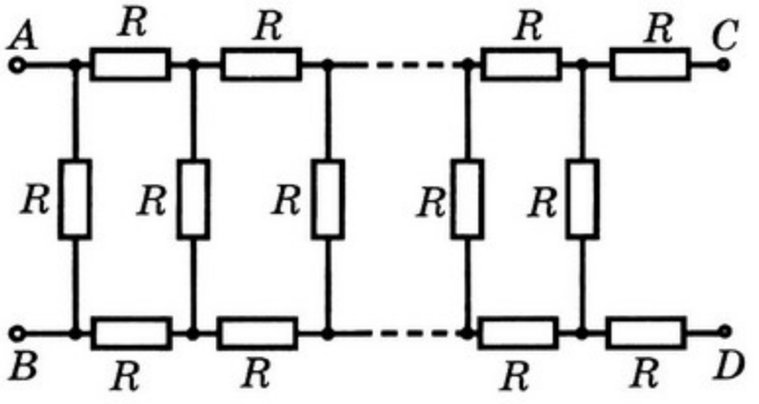
28.48. Для каждой из трех схем включения реостата (рис. *а*, *б*, *в*) постройте график зависимости сопротивления цепи R от сопротивления r правой части реостата. Обмотка реостата имеет сопротивление R_0.



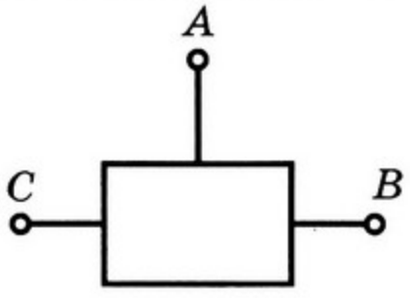
28.49. Найдите сопротивление R проволочного куба (см. рисунок) между точками A и A_1. Сопротивление каждого ребра R_0.



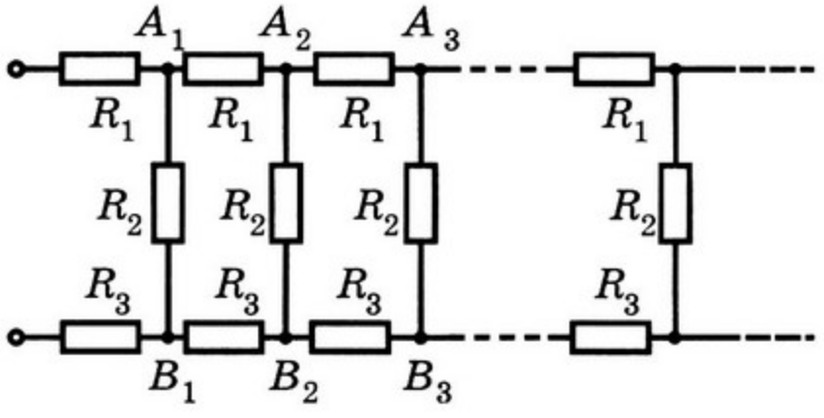
28.50. Сопротивление цепи измеряется между точками A и B (см. рисунок). Какое сопротивление R_x необходимо включить между точками C и D, чтобы сопротивление всей цепи не зависело от числа ячеек в ней?



О-143. «Черный ящик» имеет три клеммы A, B, C (см. рисунок). Известно, что он содержит только резисторы. Сопротивления «черного ящика» при подключении к различным парам клемм таковы: $R_{AB} = 5$ Ом, $R_{BC} = 8$ Ом, $R_{AC} = 9$ Ом. Предложите схему «черного ящика», содержащую минимально возможное число резисторов.

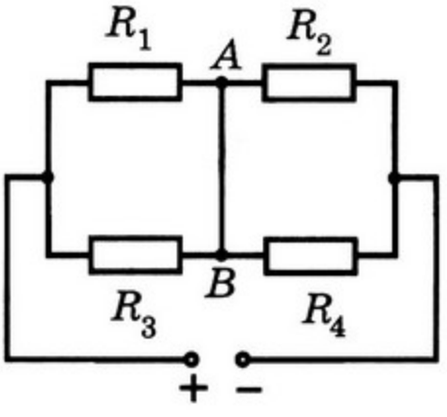


О-144. Найдите сопротивление R бесконечной цепи, показанной на рисунке.

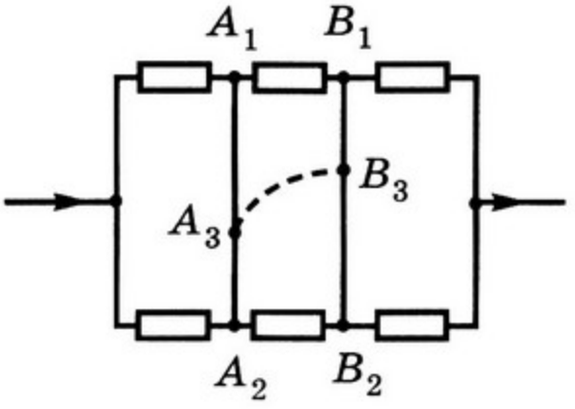


О-145. Цепь (см. задачу 28.50) содержит N ячеек. Между точками C и D включено сопротивление $R_x = (\sqrt{3}-1)R$. Во сколько раз напряжение на выходе цепи (между точками C и D) меньше напряжения на входе (между точками A и B)?

О-146. Какой ток идет через проводник AB (см. рисунок), если $R_1 = R_4 = R$, а $R_2 = R_3 = 3R$? К цепи приложено напряжение U. Сопротивлением проводника AB можно пренебречь.



О-147. В цепи (см. рисунок) сопротивления резисторов подобраны так, что токи через проводники A_1A_2 и B_1B_2 не идут. Возникнут ли токи в этих участках цепи, если соединить проводником точки A_3 и B_3? Как изменятся при этом потенциалы точек A_1, A_2, B_1, B_2?



29. ЭЛЕКТРОДВИЖУЩАЯ СИЛА. ЗАКОН ОМА ДЛЯ ПОЛНОЙ ЦЕПИ

$$\mathscr{E} = \frac{A_{\text{стор}}}{q}, \quad I = \frac{\mathscr{E}}{R + r}$$

Пример решения задачи

В конце зарядки аккумулятора сила тока $I_1 = 3$ А, а напряжение на клеммах $U_1 = 8{,}85$ В. В начале разрядки того же аккумулятора сила тока $I_2 = 4$ А, а напряжение $U_2 = 8{,}5$ В. Найдите ЭДС $\mathscr{E}$ и внутреннее сопротивление r аккумулятора.

Решение. В начале разрядки аккумулятора его ЭДС и внутреннее сопротивление такие же, как в конце зарядки. Следовательно, $U_2 = \mathscr{E} - I_2 r$ и $U_1 = \mathscr{E} + I_1 r$ (чтобы электрические заряды двигались *против* сторонних сил, напряжение на аккумуляторе должно превышать его ЭДС).

Тогда $U_2 + I_2 r = U_1 - I_1 r$, откуда $r(I_1 + I_2) = U_1 - U_2$. И окончательно $r = \dfrac{U_1 - U_2}{I_1 + I_2} = 0{,}05$ (Ом).

$$\mathscr{E} = U_2 + I_2 r = U_2 + I_2 \frac{U_1 - U_2}{I_1 + I_2} = \frac{I_1 U_2 + I_2 U_1}{I_1 + I_2} = 8{,}7 \text{ (В)}.$$

Ответ. 8,7 В; 0,05 Ом.

Средний уровень

Решите устно

29.1. При каком условии ток может течь в замкнутой цепи?

29.2. Может ли длительное время существовать электрический ток в цепи, если на подвижные носители тока действуют только кулоновские силы?

29.3. К батарейке подключена лампочка. Правильно ли утверждение: внутри батарейки ток идет от ее положительного полюса к отрицательному?

29.4. Какое внешнее сопротивление соответствует разомкнутой цепи?

29.5. При каком условии от данного элемента можно получить самый большой ток?

29.6. Как связано напряжение на разомкнутых полюсах источника с его ЭДС?

Решите и запишите

29.7. ЭДС источника равна 12 В. Какую работу совершают сторонние силы при перемещении 50 Кл электричества внутри источника от одного полюса к другому?

29.8. В гальваническом элементе ЭДС равна 1,5 В, а внутреннее сопротивление 0,8 Ом. Какой силы ток получим в цепи, если сопротивление ее внешней части равно 5,2 Ом?

29.9. Каково внутреннее сопротивление элемента, если его ЭДС равна 1,2 В и если при внешнем сопротивлении 5 Ом сила тока равна 0,2 А?

29.10. ЭДС батарейки от карманного фонаря равна 3,7 В, внутреннее сопротивление — 1,5 Ом. Батарейка замкнута на сопротивление 11,7 Ом. Каково напряжение на зажимах батарейки?

29.11. ЭДС батареи равна 6 В. При замыкании ее на внешнее сопротивление 1 Ом она дает ток 3 А. Какова сила тока короткого замыкания?

29.12. Источник с ЭДС 2 В и внутренним сопротивлением 0,8 Ом замкнут никелиновой проволокой длиной 2,1 м и сечением 0,21 мм^2. Каково напряжение на зажимах элемента?

Достаточный уровень

Решите устно

29.13. Почему электрическое поле заряженных частиц не способно поддерживать постоянный электрический ток?

29.14. В замкнутой цепи сторонние силы совершили работу 5 Дж. Какую работу совершили за это же время кулоновские силы?

29.15. На батарее карманного фонарика имеется надпись: ЭДС 4,5 В, а на лампочке указано напряжение 3,5 В. Почему допускается такая разница в напряжении?

29.16. При измерении ЭДС старой батарейки для карманного фонарика вольтметр показал 4,4 В, однако лампочка от этой батарейки не горит. Почему?

29.17. Почему при коротком замыкании напряжение на клеммах источника близко к нулю, ведь ток в цепи имеет наибольшее значение?

29.18. Можно ли точно измерить ЭДС при помощи чувствительного электрометра?

Решите и запишите

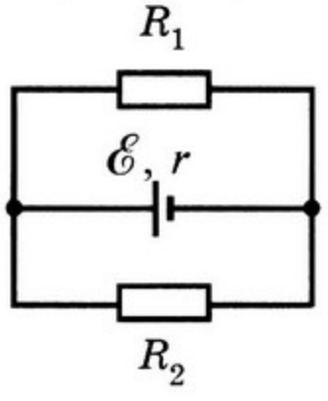
29.19. Напряжение на зажимах генератора равно 36 В, а сопротивление внешней цепи в 9 раз больше внутреннего сопротивления. Какова ЭДС генератора?

29.20. При замыкании источника тока на сопротивление 4,5 Ом сила тока в цепи 0,2 А, а при замыкании на сопротивление 10 Ом сила тока в цепи 0,1 А. Найдите ЭДС источника и его внутреннее сопротивление.

29.21. При сопротивлении внешней цепи 1 Ом напряжение на зажимах источника 1,5 В, а при сопротивлении 2 Ом — напряжение 2 В. Найдите ЭДС и внутреннее сопротивление источника.

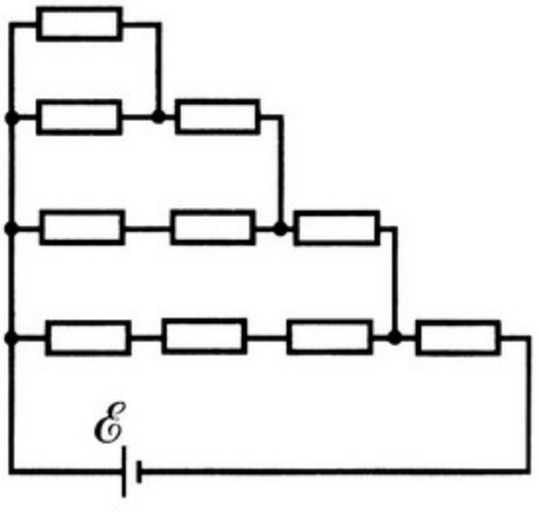
29.22. Гальванический элемент дает при внешнем сопротивлении 4 Ом ток силой 0,2 А, а при сопротивлении 7 Ом ток силой 0,14 А. Какой ток даст элемент, если его замкнуть накоротко?

29.23. Найдите напряжение U на полюсах источника тока (см. рисунок). Каковы силы тока I_1 и I_2 в резисторах? Сопротивления резисторов $R_1 = 8$ Ом, $R_2 = 24$ Ом; ЭДС источника тока $\mathscr{E} = 40$ В, его внутреннее сопротивление $r = 2$ Ом.



29.24. К источнику тока с ЭДС 15 В и внутренним сопротивлением 2,5 Ом подключен реостат. Постройте графики зависимостей силы тока в цепи и напряжения на реостате от сопротивления реостата R.

29.25. Найдите силу тока I через источник и напряжение U на источнике (см. рисунок), если его ЭДС $\mathscr{E} = 15$ В, а внутреннее сопротивление $r = 4{,}0$ Ом. Сопротивления всех резисторов одинаковы: $R = 68$ Ом.



29.26. Цепь состоит из аккумулятора и лампы. При этом напряжение на зажимах аккумулятора $U_1 = 20$ В. При параллельном подключении еще одной такой же лампы напряжение падает до $U_2 = 15$ В. Найдите сопротивление R

каждой лампы. Считайте, что сопротивление лампы не зависит от ее накала. Внутреннее сопротивление аккумулятора $r = 1$ Ом.

Высокий уровень

Решите устно

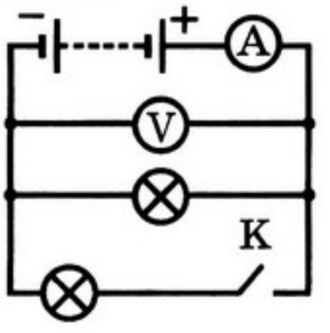
29.27. Потенциал точки A проводника выше, чем потенциал точки B. Обязательно ли ток должен течь от точки A к точке B?

29.28. Могут ли существовать токи в проводнике при отсутствии разности потенциалов между какими-либо двумя его сечениями?

29.29. Является ли работа, совершаемая источником тока во внутренней части цепи, величиной постоянной для данного источника?

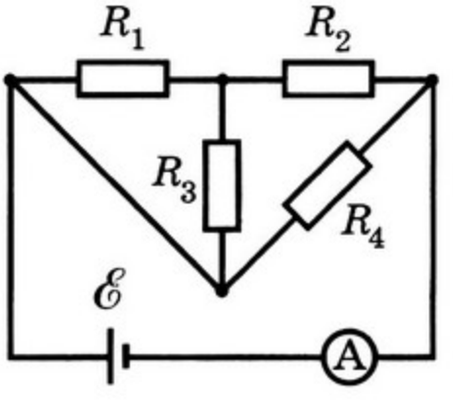
29.30. При каком сопротивлении внешней цепи напряжение во внешней цепи равно половине ЭДС источника?

29.31. Как изменятся показания амперметра и вольтметра при замыкании ключа (см. рисунок)? Внутреннее сопротивление источника сравнимо с сопротивлениями лампочек.



Решите и запишите

29.32. Какую силу тока I покажет амперметр в изображенной на рисунке цепи? Сопротивления резисторов: $R_1 = 6$ Ом, $R_2 = 8$ Ом, $R_3 = 12$ Ом, $R_4 = 24$ Ом. ЭДС источника $\mathscr{E} = 36$ В, его внутреннее сопротивление $r = 1$ Ом.

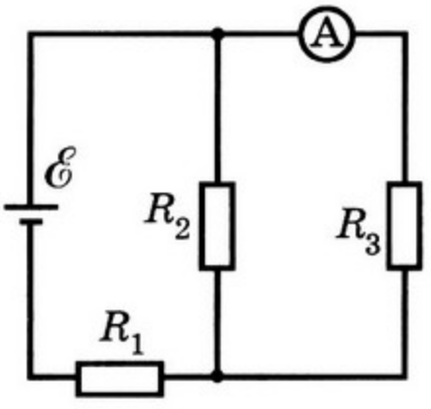


29.33. Два соединенных последовательно вольтметра подключены к клеммам источника тока. Показания вольтметров $U_1 = 5{,}0$ В и $U_2 = 15$ В. Если подключить к источнику только первый вольтметр, он покажет $U_1' = 19$ В. Найдите ЭДС источника.

29.34. Две батареи соединены параллельно. Первая батарея имеет ЭДС 2 В и внутреннее сопротивление 0,6 Ом. Вторая батарея имеет ЭДС 1,5 В и внутреннее сопротивление 0,4 Ом. Определите напряжение на зажимах батареи.

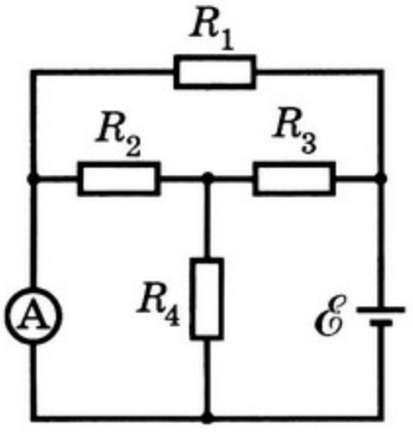
29.35. Имеются два последовательно соединенных элемента с ЭДС $\mathscr{E}_1$ и $\mathscr{E}_2$ и внутренними сопротивлениями r_1 и r_2. При каком внешнем сопротивлении R напряжение на зажимах одного из элементов равно нулю? На зажимах какого именно элемента это возможно?

29.36. Найдите показание амперметра в схеме (см. рисунок), если $\mathscr{E} = 15$ В, $R_1 = 4{,}2$ Ом, $R_2 = 8{,}0$ Ом, $R_3 = 12$ Ом. Каким станет это показание, если поменять местами амперметр и источник ЭДС? Внутреннее сопротивление источника и сопротивление амперметра малы по сравнению с сопротивлениями резисторов.

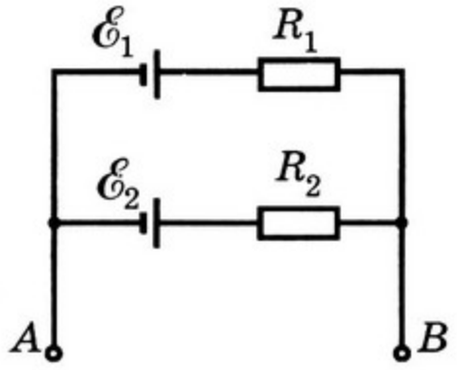


29.37. К аккумулятору с внутренним сопротивлением $r = 0{,}01$ Ом подключен резистор с сопротивлением $R = 10$ Ом. Вольтметр дает одинаковые показания как при последовательном, так и при параллельном подключении к резистору. Найдите сопротивление вольтметра R_V.

29.38. Найдите силу тока I_A, идущего через амперметр (см. рисунок), если сопротивления резисторов $R_1 = 20$ Ом, $R_2 = R_4 = 8$ Ом, $R_3 = 1$ Ом. ЭДС источника $\mathscr{E} = 50$ В, его внутреннее сопротивление $r = 1$ Ом. Сопротивлением амперметра можно пренебречь.



К задаче 29.38

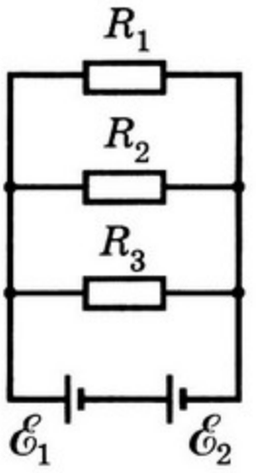


К задаче 29.39

29.39. Чему равна разность потенциалов между точками A и B (см. рисунок), если $\mathscr{E}_1 = 2$ В, $\mathscr{E}_2 = 2{,}6$ В, $R_1 = 10$ Ом,

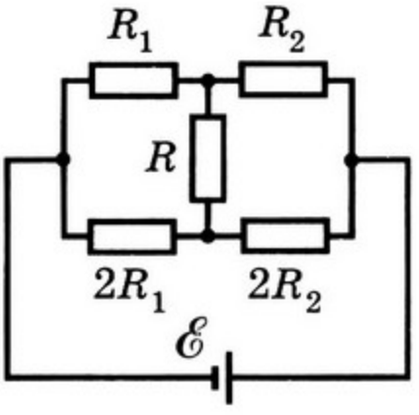
R_2 = 5 Ом? Внутренним сопротивлением источников можно пренебречь.

29.40. Чему равны разности потенциалов U_1 и U_2 на полюсах источников тока (см. рисунок)? ЭДС источников одинаковы и равны 6 В, внутренние сопротивления соответственно 0,5 Ом и 1,5 Ом. Сопротивления резисторов равны соответственно 2 Ом, 3 Ом, 6 Ом.

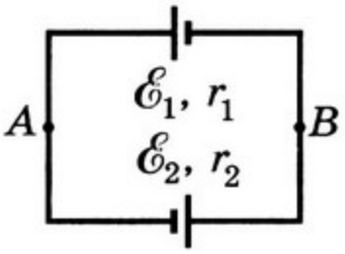


Олимпиадные задачи

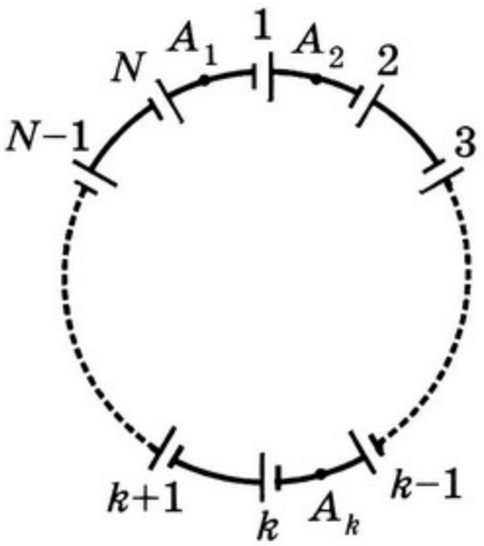
О-148. Найдите силу тока I_1 через резистор с сопротивлением R_1 (см. рисунок). Сопротивления резисторов: R_1 = 5 Ом, R_2 = 7 Ом, R = 2 Ом. ЭДС источника $\mathscr{E}$ = 30 В, его внутреннее сопротивление r = 2 Ом.



О-149. Два источника ЭДС соединены, как показано на рисунке. Найдите разность потенциалов между точками A и B. Какой станет разность потенциалов, если изменить полярность включения второго источника?

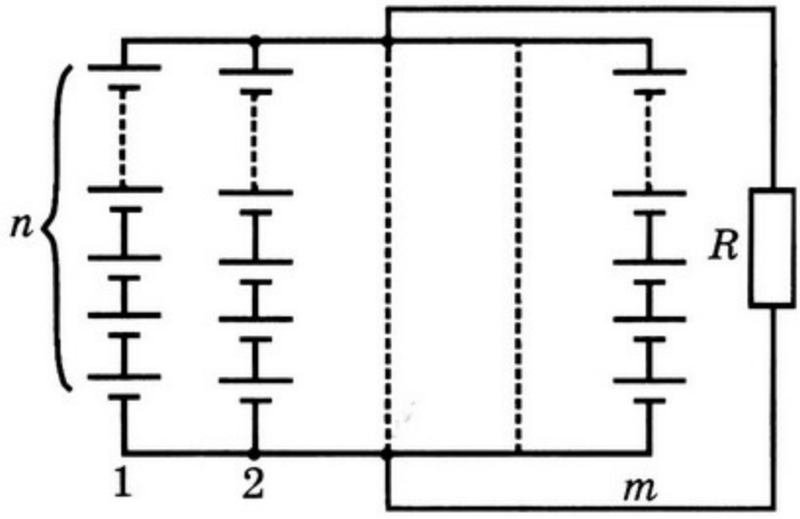


О-150. В цепи, показанной на рисунке, ЭДС каждого элемента $\mathcal{E}$, внутреннее сопротивление r. Какова разность потенциалов между точками A_1 и A_2? между точками A_1 и A_k? Сопротивлением соединительных проводов можно пренебречь.



О-151. Как изменится ответ в задаче О-151, если все элементы будут обращены друг к другу одноименными полюсами? (Полное число элементов N в этом случае должно быть четным.)

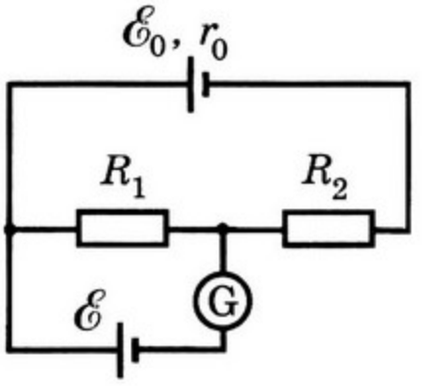
О-152. N одинаковых элементов надо соединить в батарею согласно схеме, показанной на рисунке. Внутреннее сопротивление каждого элемента r. При каких значениях m и n сила тока, идущего через резистор с сопротивлением R, подключенный к батарее, будет наибольшей? Решите задачу при $N = 100$, $r = 1$ Ом, $R = 2$ Ом.



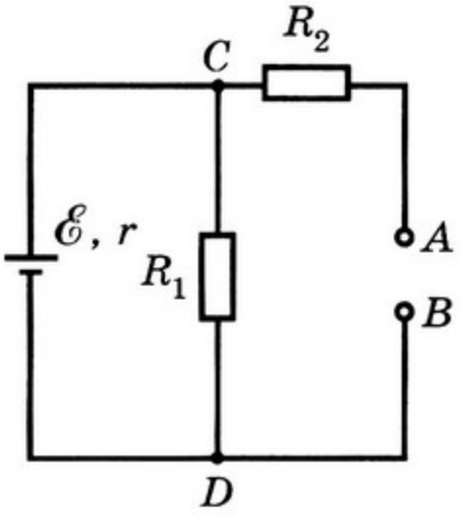
О-153. В цепи с внешним сопротивлением $R = 2$ Ом необходимо обеспечить силу тока $I = 2$ А. Какое наимень-

шее число N элементов потребуется для этого и как они должны быть соединены в батарею, если ЭДС каждого элемента $\mathscr{E} = 2$ В, а внутреннее сопротивление $r = 1$ Ом?

О-154. В цепи (см. рисунок) гальванометр показывает отсутствие тока. Эталонный элемент имеет ЭДС $\mathscr{E}_0 = 1{,}5$ В, внутреннее сопротивление $r_0 = 1{,}5$ Ом. Сопротивления резисторов $R_1 = 4{,}0$ Ом, $R_2 = 4{,}5$ Ом. Найдите ЭДС аккумулятора $\mathscr{E}$.



О-155. Резистор с сопротивлением R подключают к клеммам A и B (см. рисунок). Найдите силу тока I, проходящего через этот резистор.



30. РАБОТА И МОЩНОСТЬ ТОКА ЗАКОН ДЖОУЛЯ—ЛЕНЦА

$$A = UIt,\ P = UI,\ Q = I^2Rt$$

Пример решения задачи

Определите ЭДС и внутреннее сопротивление аккумулятора, если он дает во внешнюю цепь 9,5 Вт при силе тока 5 А, а при силе тока 8 А — 14,4 Вт.

Решение. По закону Ома для замкнутой цепи

$$I_1 = \frac{\mathscr{E}}{R_1 + r},\quad I_2 = \frac{\mathscr{E}}{R_2 + r}.$$

Сопротивления R_1 и R_2 найдем из соотношения $P = I^2R$, откуда $R_1 = \frac{P_1}{I_1^2},\ R_2 = \frac{P_2}{I_2^2}$. С учетом этих соотношений получаем: $\mathscr{E} = I_1\left(\frac{P_1}{I_1^2} + r\right),\ \mathscr{E} = I_2\left(\frac{P_2}{I_2^2} + r\right)$. Решая совместно эти оба уравнения, получаем $r(I_2 - I_1) = \frac{P_1}{I_1} - \frac{P_2}{I_2} = \frac{P_1I_2 - P_2I_1}{I_1I_2}$, откуда окончательно: $r = \frac{P_1I_2 - P_2I_1}{I_1I_2(I_2 - I_1)}$.

$$\mathscr{E} = \frac{P_1}{I_1} + \frac{P_1I_2 - P_2I_1}{I_2(I_2 - I_1)} = \frac{P_1I_2^2 - P_2I_1^2}{I_1I_2(I_2 - I_1)}.$$

Вычисляем ЭДС и внутреннее сопротивление аккумулятора:

$$\mathscr{E} = \frac{9{,}5 \cdot 8^2 - 14{,}4 \cdot 5^2}{5 \cdot 8 \cdot (8 - 5)} \approx 2{,}1\ (\text{В});$$

$$r = \frac{9{,}5 \cdot 8 - 14{,}4 \cdot 5}{5 \cdot 8 \cdot (8 - 5)} \approx 0{,}03\ (\text{Ом}).$$

Ответ. 2,1 В; 0,03 Ом.

Средний уровень

Решите устно

30.1. Две одинаковые лампочки, рассчитанные на напряжение 3,6 В, включены в электрическую цепь. Первая лампочка

светила 3 мин, вторая — 5 мин. В какой лампочке работа электрического тока была больше?

30.2. Одна электрическая лампа включена в сеть напряжением 220 В, а вторая — в сеть напряжением 127 В. В какой лампе при прохождении 1 Кл совершается бóльшая работа?

30.3. Две лампы рассчитаны на напряжение 220 В каждая. Мощность одной из ламп 100 Вт, другой — 50 Вт. У какой лампы сопротивление больше?

30.4. Почему спирали нагревательных приборов изготавливают из металла с большим удельным сопротивлением?

30.5. Почему в качестве предохранителей электрической цепи обычно употребляют проволоку из легкоплавких металлов?

30.6. Электрики говорят: «Горячая спайка всегда холодная, а холодная — всегда горячая». В чем смысл этого выражения?

Решите и запишите

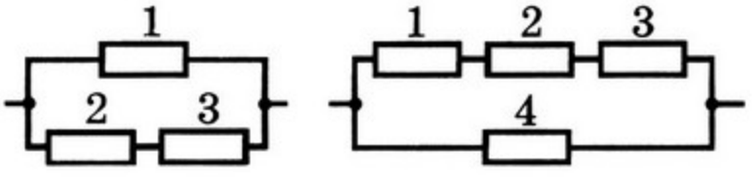
30.7. Какую работу совершит электрический ток силой 500 мА за 5 мин при напряжении в цепи 16 В?

30.8. Какова сила тока в лампочке велосипедного фонаря, если при напряжении 4 В в ней за 1 с расходуется 0,8 Дж электроэнергии?

30.9. Электрическая печь для плавки металла потребляет ток силой 0,8 кА при напряжении 60 В. Сколько теплоты выделится в печи за 1 мин?

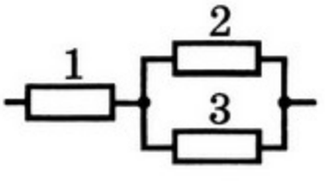
30.10. В замкнутой цепи сила тока 1 А. Какую работу совершают сторонние силы за 10 с, если ЭДС источника равна 12 В?

30.11. Какова мощность тока в каждом из резисторов (см. рис. *а*–*г*)? Сопротивление каждого из резисторов 10 Ом, к цепи приложено напряжение 30 В.

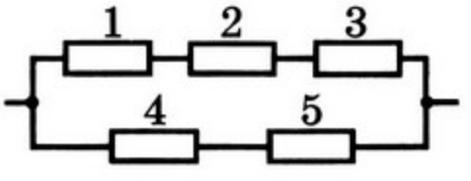


а

б

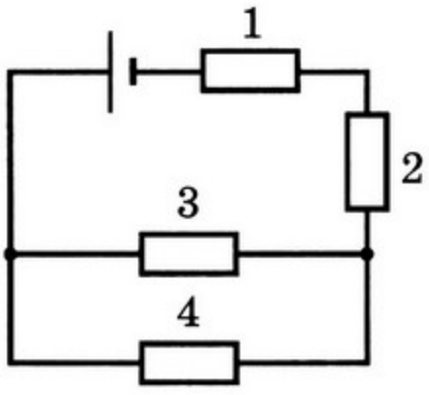


в



г

30.12. Найдите мощность тока в каждом из одинаковых резисторов сопротивлением по 20 Ом (см. рисунок). Напряжение источника 15 В.



30.13. Лампа, рассчитанная на напряжение 127 В, потребляет мощность 50 Вт. Какое дополнительное сопротивление нужно присоединить к лампе, чтобы включить ее в сеть с напряжением 220 В?

30.14. Медный и алюминиевый провода одинаковых размеров включены параллельно. В каком из них выделяется большее количество теплоты за одно и то же время? Во сколько раз?

Достаточный уровень

Решите устно

30.15. Вагон освещается 10 лампами, включенными последовательно. Как изменится расход электроэнергии, если уменьшить число ламп до шести?

30.16. Остается ли постоянной мощность, потребляемая лампочкой при различных накалах?

30.17. Через лампочку карманного фонарика и через лампу, включенную в электросеть для освещения, проходит ток приблизительно одной и той же величины. Почему же эти лампочки выделяют разные количества теплоты при прохождении через них тока в течение одного и того же времени?

30.18. В цепь включены параллельно медная и стальная проволоки равной длины и сечения. В какой из проволок выделится большее количество теплоты за одно и то же время?

30.19. Почему электрические лампы чаще перегорают в момент замыкания тока и очень редко в момент размыкания?

30.20. Перегоревшую нагревательную спираль заменили другой, которая отличается только меньшим диаметром проволоки. Как изменилась мощность нагревателя? Ответ поясните.

30.21. Две электрические лампы, рассчитанные на одинаковое напряжение, имеют разную номинальную мощность. В какой из ламп выделится большее количество теплоты при последовательном их включении в сеть с напряжением, на которое рассчитана каждая лампа?

Решите и запишите

30.22. Электрический нагреватель питается от N одинаковых аккумуляторов, каждый из которых имеет внутреннее сопротивление r. Нагреватель потребляет одинаковую мощность как при последовательном, так и при параллельном соединении аккумуляторов. Найдите сопротивление нагревателя R.

30.23. К источнику подключают поочередно резисторы с сопротивлениями R_1 и R_2. В обоих случаях на резисторах выделяется одинаковая мощность. Найдите внутреннее сопротивление r источника.

30.24. Имеются два резистора с сопротивлениями $R_1 = 2$ Ом и $R_2 = 4{,}5$ Ом. Их подключают к источнику тока сначала параллельно, а потом последовательно. При каком внутреннем сопротивлении r источника тока в обоих случаях во внешней цепи выделяется одинаковая мощность?

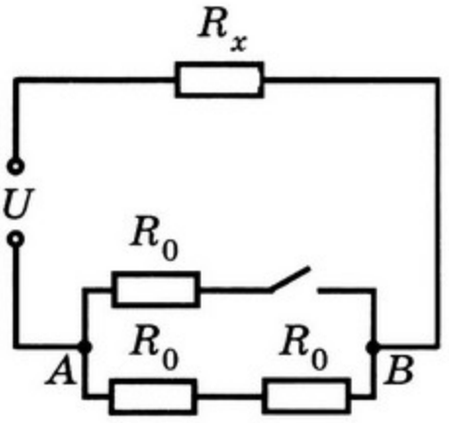
30.25. Аккумуляторная батарея имеет ЭДС $\mathscr{E} = 12$ В и внутреннее сопротивление $r = 0{,}1$ Ом. Сколько лампочек мощностью $P_0 = 25$ Вт каждая, рассчитанных на напряжение $U = 10$ В, можно подключить к этому источнику ЭДС, чтобы они горели нормальным накалом?

30.26. На одной лампочке написано «220 В, 60 Вт»; на другой — «220 В, 40 Вт». Лампочки соединяют последовательно и включают в сеть с напряжением 220 В. Найдите полную потребляемую мощность, а также мощность каждой из лампочек при таком включении. Зависимость сопротивления ламп от температуры не учитывайте.

30.27. Имеется пять электрических лампочек, рассчитанных на напряжение 9 В каждая. Три из них имеют номинальную

мощность по 4 Вт, две — по 6 Вт. Как следует включить их в сеть с напряжением 18 В, чтобы все они горели нормальным накалом?

30.28. На участке AB цепи (см. рисунок) выделяется одинаковая мощность при разомкнутом и замкнутом ключе. Найдите сопротивление R_x, если $R_0 = 20$ Ом. Напряжение U считайте неизменным.



30.29. Электровоз, работающий при напряжении $U = 3$ кВ и потребляющий силу тока $I = 1{,}6$ кА, развивает при скорости $\upsilon = 43$ км/ч силу тяги $F = 340$ кН. Каков КПД двигателей электровоза?

30.30. Транспортер поднимает за время 1 мин груз массой 300 кг на высоту 8 м. КПД транспортера 60 %. Определите силу тока в электродвигателе транспортера, если напряжение в сети 380 В.

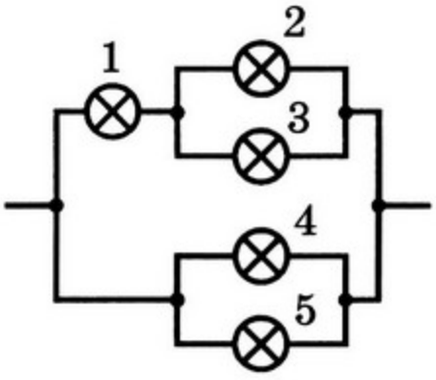
30.31. Электрический нагреватель за 20 мин доводит до кипения 3 кг воды, начальная температура которой 10 °С. Сила тока в нагревателе 7 А, напряжение в сети 220 В. Какая часть потребляемой нагревателем энергии передается окружающей среде?

Высокий уровень

Решите устно

30.32. На часть раскаленной спирали, подключенной к сети, попала вода. Увеличится или уменьшится выделяемое в спирали количество теплоты? Увеличится или уменьшится накал той части спирали, на которую не попала вода?

30.33. Какая (какие) из одинаковых ламп в цепи, схема которой изображена на рисунке, горит ярче других? Какая (какие) — тусклее?



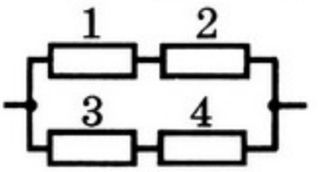
30.34. Можно ли применять формулу $P = \mathcal{E}^2/r$ для вычисления мощности электрического тока, которая выделяется в замкнутой цепи с потребителем?

30.35. При каком условии в потребителе и в источнике тока выделится одинаковая мощность?

30.36. Вытекает ли из формулы $P = I^2(R + r)$, что для увеличения мощности необходимо к источнику тока с параметрами $\mathcal{E}$ и r присоединить как можно большее сопротивление R?

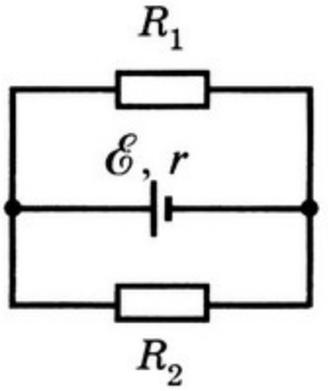
30.37. Как зависят потери мощности, связанные с внутренним сопротивлением источника питания, от сопротивления внешней цепи? Могут ли эти потери быть равными нулю?

30.38. Какой из резисторов (см. рисунок) потребляет больше всего энергии, если $R_2 = R_3 = 2R_1$, $R_4 = 4R_1$?



Решите и запишите

30.39. Найдите напряжение U на полюсах источника ЭДС (см. рисунок) и общую мощность P, потребляемую резисторами. Какие токи I_1 и I_2 протекают через резисторы? Сопротивления резисторов $R_1 = 8$ Ом, $R_2 = 24$ Ом; ЭДС источника $\mathcal{E} = 40$ В, его внутреннее сопротивление $r = 2$ Ом.



30.40. При поочередном подключении к источнику ЭДС двух электрических нагревателей с сопротивлениями $R_1 = 3$ Ом и $R_2 = 48$ Ом в них выделяется одинаковая мощность $P = 1{,}2$ кВт. Найдите силу тока $I_{кз}$ при коротком замыкании источника.

30.41. Гальванический элемент с ЭДС 1,6 В и внутренним сопротивлением 0,8 Ом питает внешнюю цепь. При какой силе тока внешней цепью потребляется мощность 0,512 Вт?

30.42. В квартире включен единственный электрический прибор — лампа номинальной мощностью $P_1 = 100$ Вт, рассчитанная на напряжение 220 В. На сколько изменится напряжение на лампе, если включить электрокамин номинальной мощностью $P_2 = 500$ Вт? Сопротивление проводов, подводящих к квартире электроэнергию, составляет $R_0 = 4$ Ом. Напряжение в сети $U = 220$ В. Зависимость сопротивления электроприборов от температуры не учитывайте.

30.43. Найдите ток короткого замыкания $I_{кз}$ аккумуляторной батареи, если при токе $I_1 = 5$ А нагрузка потребляет мощность $P_1 = 30$ Вт, а при токе $I_2 = 10$ А она потребляет мощность $P_2 = 40$ Вт.

30.44. Определите ЭДС и внутреннее сопротивление аккумулятора, если при силе тока 15 А он отдает во внешнюю цепь мощность 135 Вт, а при токе 6 А — мощность 64,8 Вт.

30.45. Электрический чайник имеет две обмотки. При включении одной из них вода закипает через $t_1 = 12$ мин, при включении другой — через $t_2 = 24$ мин. Через сколько времени закипит вода в чайнике, если включить обе обмотки параллельно? Последовательно? Теплообмен с воздухом не учитывайте.

30.46. Источник тока с ЭДС $\mathscr{E}$ и внутренним сопротивлением r замкнут на реостат. Как зависят от сопротивления реостата R следующие величины: сила тока I, напряжение U, мощность P во внешней цепи, полная мощность P_0 и КПД цепи η? Постройте соответствующие графики. При каком R достигается максимальная мощность во внешней цепи? Каков при этом КПД цепи?

Олимпиадные задачи

О-156. Электропоезд идет по горизонтальному участку пути с постоянной скоростью, а затем с другой постоянной скоростью преодолевает подъем с уклоном $k = 0{,}04$. Потребляемая сила тока на горизонтальном участке $I_1 = 240$ А,

а на подъеме $I_2 = 450$ А. Коэффициент сопротивления движению $\mu = 0{,}02$. Найдите отношение скоростей v_1 и v_2 на этих двух участках, считая КПД двигателя неизменным.

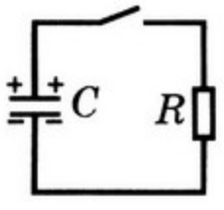
О-157. Какую силу тока I надо пропустить через железную проволоку диаметром $D = 0{,}5$ мм, чтобы через $\tau = 1$ с проволока начала плавиться? Начальная температура проволоки $t_0 = 0$ °С; теплопередачу в окружающую среду и зависимость сопротивления от температуры не учитывайте.

О-158. Три тонкие проволоки одинакового диаметра — железная, медная и алюминиевая — соединены последовательно. Их подключают к источнику высокого напряжения, и одна из проволок перегорает. Какая? Начальная температура $t_0 = 0$ °С. Зависимость сопротивления от температуры не учитывайте.

О-159. Три тонкие проволоки одинаковых размеров — железная, медная и алюминиевая — соединены параллельно. Какая из них перегорит первой после подключения к источнику высокого напряжения? Начальная температура $t_0 = 0$ °С. Зависимость сопротивления от температуры не учитывайте.

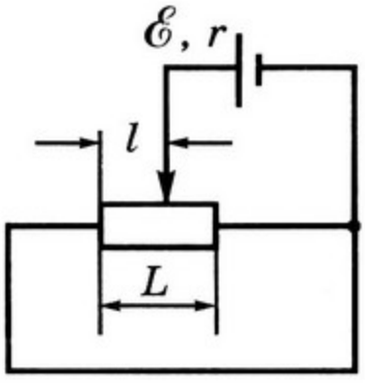
О-160. Предохранитель изготовлен из свинцовой проволоки сечением $S_1 = 0{,}2$ мм^2. При коротком замыкании сила тока достигла величины $I = 20$ А. Через какое время τ после короткого замыкания начнет плавиться предохранитель? На сколько за это время нагреются подводящие медные провода, если их сечение $S_2 = 2$ мм^2? Начальная температура предохранителя $t_0 = 27$ °С. Зависимость сопротивления от температуры не учитывайте.

О-161. Оцените время τ разрядки конденсатора (см. рисунок) после замыкания ключа. Как выглядит график зависимости от времени напряжения U на конденсаторе?



О-162. Сопротивление реостата (см. рисунок на с. 240) $R = 16$ Ом. ЭДС источника тока $\mathcal{E} = 12$ В, его внутреннее сопротивление $r = 2$ Ом. Выразите через отношение $x = l/L$ следующие величины: силу тока I, идущего че-

рез источник; напряжение U на полюсах источника тока; мощность P, выделяющуюся в реостате. Постройте соответствующие графики.



О-163. Аккумулятор с внутренним сопротивлением $r = 0{,}08$ Ом при силе тока $I_1 = 4$ А отдает во внешнюю цепь мощность $P_1 = 8$ Вт. Какую мощность P_2 отдаст он во внешнюю цепь при силе тока $I_2 = 6$ А?

О-164. Элемент замыкается проволокой первый раз с сопротивлением $R_1 = 4$ Ом, а второй раз — с $R_2 = 9$ Ом. В обоих случаях количество теплоты Q, выделяющееся в проволоках за одно и то же время, оказывается одинаковым. Каково внутреннее сопротивление элемента?

31. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК В МЕТАЛЛАХ, ЖИДКОСТЯХ, ГАЗАХ И ВАКУУМЕ. ПОЛУПРОВОДНИКИ

$$I = qn\bar{v}S, \quad m = \frac{M}{eN_A n} I\Delta t$$

Пример решения задачи

В процессе электролиза раствора HCl по цепи прошел электрический заряд $8{,}32 \cdot 10^4$ Кл. Выделенным при этом свободным хлором, имеющим температуру 300 К, заполнили пустой баллон вместимостью 5 л. Определите давление газа в баллоне.

Решение. Давление газа можно определить из уравнения Менделеева–Клапейрона:

$$pV = \frac{m}{M} RT, \text{ или } p = \frac{m}{M \cdot V} RT.$$

Неизвестную массу хлора найдем, используя закон Фарадея для электролиза (мы учитываем, что в этот закон входит молярная масса атомарного, а не молекулярного хлора, т. е. $M/2$):

$$m = \frac{M}{2eN_A n} q.$$

Окончательно получаем $p = \dfrac{q}{2eN_A nV} RT$, или в числовом выражении $p = \dfrac{8{,}32 \cdot 10^4 \cdot 8{,}31 \cdot 300}{2 \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19} \cdot 6{,}02 \cdot 10^{23} \cdot 1 \cdot 5 \cdot 10^{-3}} \approx 2{,}15 \cdot 10^5$ (Па).

Ответ. 215 кПа.

Средний уровень

Решите устно

31.1. Как показать, что одни тела являются проводниками, а другие — непроводниками?

31.2. Движутся ли заряженные частицы в проводнике, когда по нему не идет электрический ток?

31.3. Имеются ли в электролитах свободные электроны?

31.4. Могут ли при диссоциации образоваться ионы одного какого-нибудь знака? Почему?

31.5. Почему при прохождении тока по раствору электролита происходит перенос вещества, а при прохождении по металлическому проводнику — не происходит?

31.6. Чистая дистиллированная вода и поваренная соль являются изоляторами. Почему же раствор соли в воде является проводником?

31.7. Чем отличается ионизация газа от электролитической диссоциации?

31.8. Почему заряженный электроскоп с течением времени разряжается?

31.9. Возможен ли несамостоятельный разряд между проводами линии электропередачи?

31.10. Если баллон неоновой лампы потереть, то можно заметить, что лампа некоторое время светится. Как объяснить это явление?

31.11. Где и при каких условиях возникает коронный разряд?

31.12. Назовите возможные применения тлеющего разряда.

31.13. Для какой цели в электронных лампах создают высокий вакуум?

31.14. Будет ли работать в космосе радиолампа с разбитым стеклом?

31.15. Как отличаются по удельному сопротивлению проводники, полупроводники и диэлектрики?

31.16. Есть ли какое-нибудь различие между дыркой и положительным ионом в полупроводниках?

31.17. Почему с повышением температуры полупроводников их сопротивление уменьшается?

31.18. Что можно сказать о концентрации электронов и дырок, определяющих проводимость чистого полупроводника? Чему равен его заряд?

31.19. В каких приборах используется зависимость сопротивления полупроводников от температуры?

31.20. Как в полупроводниках создается преимущественно электронная проводимость? дырочная проводимость?

Решите и запишите

31.21. Сила тока в проводе равна 1 А. Сколько электронов проходит через поперечное сечение провода за 1 нс?

31.22. Какова средняя скорость упорядоченного движения электронов в проводе с площадью поперечного сечения 3 мм^2 при силе тока 5 А? Концентрация электронов проводимости равна $8 \cdot 10^{28}$ м$^{-3}$.

31.23. Через два медных проводника, соединенных последовательно, проходит электрический ток. Сравните скорость упорядоченного движения электронов, если диаметр второго проводника в 2 раза меньше, чем первого.

31.24. Электролизом получено 120 мг меди. Сколько серебра можно получить, если через соответствующий электролит пройдет то же количество электричества?

31.25. Электролиз проходил 5 мин при силе тока 1,5 А. При этом на катоде выделилось 137 мг некоторого вещества. Какое это вещество?

31.26. При какой силе тока проводился электролиз водного раствора $CuSO_4$, если за 2 мин на катоде выделилось 160 мг меди?

Достаточный уровень

Решите устно

31.27. Как влияют примеси на электрическое сопротивление проводников и изоляторов? Почему?

31.28. Почему, несмотря на малую скорость упорядоченного движения электронов в металлическом проводнике, приборы, включенные в сеть, начинают действовать одновременно?

31.29. Зависит ли количество выделенного на электродах при электролизе вещества от концентрации раствора, если через раствор проходит одинаковое количество электричества?

31.30. Две одинаковые электролитические ванны соединены последовательно. В одной из них — раствор CuCl, в другой — $CuCl_2$. В какой из ванн на катоде выделится больше меди? Почему?

31.31. Можно ли на основании закона Фарадея сделать заключение, что для электролитического выделения одинаковых масс данного вещества требуется затрата одинаковых количеств энергии электрического тока?

31.32. В двух электролитических ваннах, соединенных последовательно, находится раствор медного купороса $CuSO_4$ и раствор хлористой меди CuCl. Одинаковое ли количество

меди выделится в обеих ваннах при прохождении через них тока?

31.33. Почему количество ионов в газе под действием постоянного ионизатора увеличивается до определенного предела, а затем сохраняется неизменным?

31.34. Может ли возникнуть ток насыщения при самостоятельном разряде в газе?

31.35. Что произойдет с горящей электрической дугой, если сильно охладить отрицательный электрод? Положительный?

31.36. Почему разрежение газа улучшает его проводимость? При всех ли условиях это верно?

31.37. Почему для уменьшения потерь электроэнергии на коронный разряд в линиях электропередачи высокого напряжения применяются провода возможно большего диаметра?

31.38. Возможен ли дуговой разряд при пониженном давлении?

31.39. В чем отличие ионизации газа при коронном разряде от ионизации при дуговом и искровом разряде?

31.40. Какими способами можно: а) увеличить скорость электронов в пучке; б) изменить направление движения электронов; в) остановить движущиеся электроны?

31.41. Почему газонаполненные лампы могут работать при большей силе тока, чем вакуумные?

31.42. Как можно управлять электронным пучком в электронно-лучевой трубке?

31.43. Какого типа будет проводимость германия, если к нему добавить в качестве примеси: а) фосфор; б) цинк; в) калий?

31.44. Ничтожно малые количества примесей, добавленных к полупроводнику, могут резко изменить его электропроводность. Почему даже во много раз бóльшие количества примесей не оказывают заметного влияния на электропроводность металлов?

31.45. Можно ли получить $p-n$-переход, произведя вплавление олова в германий или кремний?

31.46. Почему прямой ток $p-n$-перехода значительно больше обратного при одинаковом напряжении?

Решите и запишите

31.47. Два алюминиевых провода включены в цепь последовательно. Сравните скорости v_1 и v_2 упорядоченного движе-

ния электронов в этих проводах, если: а) длина проводов одинакова, а диаметр первого провода в 2 раза больше, чем диаметр второго; б) диаметр проводов одинаков, а длина первого провода в 2 раза больше, чем длина второго.

31.48. Два медных провода включены в цепь параллельно. Сравните скорости v_1 и v_2 упорядоченного движения электронов в этих проводах, если: а) длина проводов одинакова, а диаметр первого провода в 2 раза больше, чем диаметр второго; б) диаметр проводов одинаков, а длина первого провода в 2 раза больше, чем длина второго.

31.49. Найдите электрохимические эквиваленты одновалентной и двухвалентной меди.

31.50. Сколько двухвалентного никеля можно выделить электролитическим путем из водного раствора сульфата никеля за 1,2 ч? Напряжение на зажимах ванны 4 В, сопротивление электролита 2,5 Ом.

31.51. * Никелирование с помощью электролиза металлической пластинки, которая имеет площадь поверхности $S = 48$ см^2, продолжалось в течение $t = 4$ ч при силе тока $I = 0{,}15$ А. Найдите толщину h слоя никеля. Валентность никеля $n = 2$.

31.52. Деталь площадью 100 см^2 надо покрыть слоем хрома толщиной 40 мкм. Сколько времени будет продолжаться электролиз при силе тока 15 А? Электрохимический эквивалент хрома $1{,}8 \cdot 10^{-7}$ кг/Кл.

31.53. Каков расход электроэнергии W на получение $m = 1$ кг алюминия, если электролиз ведется при напряжении $U = 10$ В, а КПД установки $\eta = 0{,}8$?

31.54. * Ионизирующее излучение каждую секунду создает в 1 см^3 газа в трубке $n = 5 \cdot 10^9$ пар однозарядных ионов. Какова сила тока насыщения при несамостоятельном разряде, если объем трубки $V = 600$ см^3?

31.55. Сила тока насыщения при несамостоятельном разряде в трубке длиной 60 см и площадью поперечного сечения 15 см^2 равна 0,3 мкА. Сколько пар ионов возникает в каждом кубическом сантиметре газа за секунду под действием ионизатора?

31.56. * При какой напряженности поля начнется самостоятельный разряд в водороде, если энергия ионизации мо-

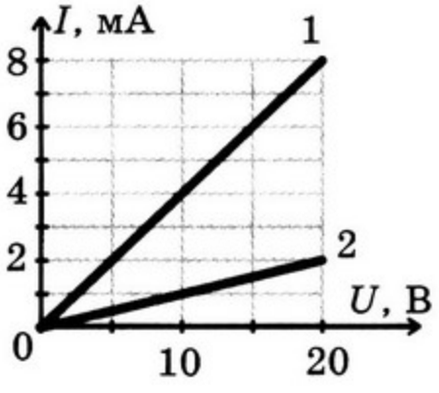
лекул равна $2{,}5 \cdot 10^{-18}$ Дж, а средняя длина свободного пробега 5 мкм? Какую скорость имеют электроны при ударе о молекулу?

31.57. Расстояние между электродами в трубке, наполненной парами ртути, 10 см. Какова средняя длина свободного пробега электрона, если самостоятельный разряд наступает при напряжении 600 В? Энергия ионизации паров ртути $1{,}7 \cdot 10^{-18}$ Дж. Электрическое поле считайте однородным.

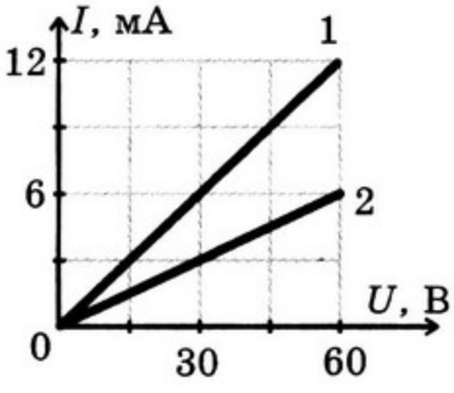
31.58. Плоский конденсатор подключен к источнику напряжением 6 кВ. При каком расстоянии между пластинами произойдет пробой, если ударная ионизация воздуха начинается при напряженности поля 3 МВ/м^2?

31.59. Доказать рассуждением, что соединение InAs (арсенид индия), в котором количества (в молях) индия и мышьяка одинаковы, обладает проводимостью типа собственной проводимости элементов четвертой группы (Ge, Si). Какого типа будет проводимость при увеличении концентрации индия? мышьяка?

31.60. На рисунке показаны вольт-амперные характеристики фоторезистора, соответствующие двум его разным состояниям. Какая из характеристик соответствует освещенному фоторезистору, а какая — затемненному? Во сколько раз изменилось сопротивление фоторезистора при освещении?



К задаче 31.60



К задаче 31.61

31.61. На рисунке показаны вольт-амперные характеристики полупроводникового терморезистора, соответствующие двум его разным состояниям. Какая из характеристик соответствует более высокой температуре терморезистора? Каковы сопротивления терморезистора в каждом из состояний?

31.62. В усилителе, собранном на транзисторе по схеме с общей базой, сила тока в цепи эмиттера равна 12 мА, в цепи базы — 600 мкА. Найдите силу тока в цепи коллектора.

Высокий уровень

Решите устно

31.63. Металлический брусок, ударяясь о жесткую преграду, электризуется. Какова причина этой электризации? Заряд какого знака появляется в этом случае на куске металла?

31.64. Две одинаковые электролитические ванны заполнены раствором медного купороса. В первой ванне концентрация раствора выше. Сравните количество выделившейся на их катодах меди, если ванны соединены: а) последовательно; б) параллельно.

31.65.  При нанесении металлических покрытий с помощью электролиза иногда в конце процесса на некоторое время изменяют направление тока на противоположное. В результате поверхность становится более гладкой. Почему?

31.66. Электрический ток проходит через различные ванны с раствором медного купороса. Вторая ванна вдвое длиннее первой, в третьей раствор нагревается, а в четвертой ванне находится насыщенный раствор купороса. На катоде первой ванны отложилось 2 г меди. Сколько граммов меди отложится на катодах остальных ванн, если все они соединены последовательно?

31.67. Известно, что вода, в которой растворились кристаллики поваренной соли, становится электропроводной. Будет ли проводить ток вода, в которой растворились такие же кристаллики сахара?

31.68. Что лучше проводит ток — раствор 1 г кислоты в 1 л воды или 1 г воды в 1 л кислоты?

31.69. При каких условиях несамостоятельный разряд переходит в самостоятельный?

31.70. Почему искровой разряд возникает при напряжении в несколько киловольт, в то время как для возникновения дугового разряда достаточно 40–50 В?

31.71. Почему при разряде в разряженных газах каждый газ светится своим цветом?

31.72. Почему ширина базы в транзисторе должна быть мала?

31.73. Почему концентрация примесей в эмиттере транзистора значительно больше, чем в базе?

31.74. Какой зависимостью связаны сила тока эмиттера, базы и коллектора?

31.75. На транзисторе одинаково увеличивают напряжение на участках эмиттер–база и база–коллектор. Одинаково ли возрастает сила тока в цепи коллектора в этих случаях?

Решите и запишите

31.76. По медному проводнику течет электрический ток. Плотность тока $j = 6$ А/мм^2. Найдите среднюю скорость v упорядоченного движения электронов, считая, что на каждый атом меди приходится один свободный электрон.

31.77. С какой частотой следует вращать металлический диск радиусом 25 см, чтобы можно было обнаружить разность потенциалов между осью и краем диска, возникшую благодаря вращательному эффекту? Чувствительность гальванометра 10^{-6} В/дел.

31.78. Какова плотность тока j в медном проводнике при напряженности электрического поля 17 мВ/м?

31.79. Найдите скорость упорядоченного движения электронов в медном проводе длиной 100 м, к которому приложено напряжение 10 В. Считайте, что на каждый ион меди приходится два электрона проводимости.

31.80. При электролизе подкисленной воды через ванну прошел заряд $q = 7500$ Кл. Выделившийся кислород находится в объеме $V = 0{,}50$ л под давлением $p = 101$ кПа. Какова его абсолютная температура T?

31.81. Деталь надо покрыть слоем хрома толщиной 40 мкм. Сколько времени будет продолжаться электролиз при плотности тока 1,5 кА/м^2? Электрохимический эквивалент хрома $1{,}8 \cdot 10^{-7}$ кг/Кл.

31.82. Электролитическое серебрение изделия происходит при плотности тока 0,55 А/дм^2. С какой скоростью нарастает слой серебра?

31.83. Аэростат объемом 250 м^3 заполняют водородом при температуре 27 °С и давлении 2 атм. Какой заряд надо пропустить при электролизе через слабый раствор кислоты, чтобы получить нужное количество водорода?

31.84. Конденсатор емкостью $C = 10$ пФ соединен последовательно с резистором, имеющим сопротивление $R = 1{,}0$ кОм. Расстояние между пластинами конденсатора $d = 3{,}0$ мм. Воздух между пластинами конденсатора ионизируется рентгеновским излучением: каждую секунду в 1 см^3 воздуха образуется $n = 5 \cdot 10^4$ пар однозарядных ионов. Найдите силу тока I в цепи и падение напряжения U на резисторе, если к цепи подключен источник высокого напряжения.

31.85. Какой наименьшей кинетической энергией W_k и скоростью v должен обладать электрон, чтобы он мог ионизировать неподвижный атом неона? Потенциал ионизации атомов неона $\varphi = 21{,}5$ В.

31.86. Какой наименьшей кинетической энергией W_k и скоростью v должен обладать ион неона, чтобы при столкновении его с неподвижным нейтральным атомом неона могла произойти ионизация атома? Потенциал ионизации атомов неона $\varphi = 21{,}5$ В.

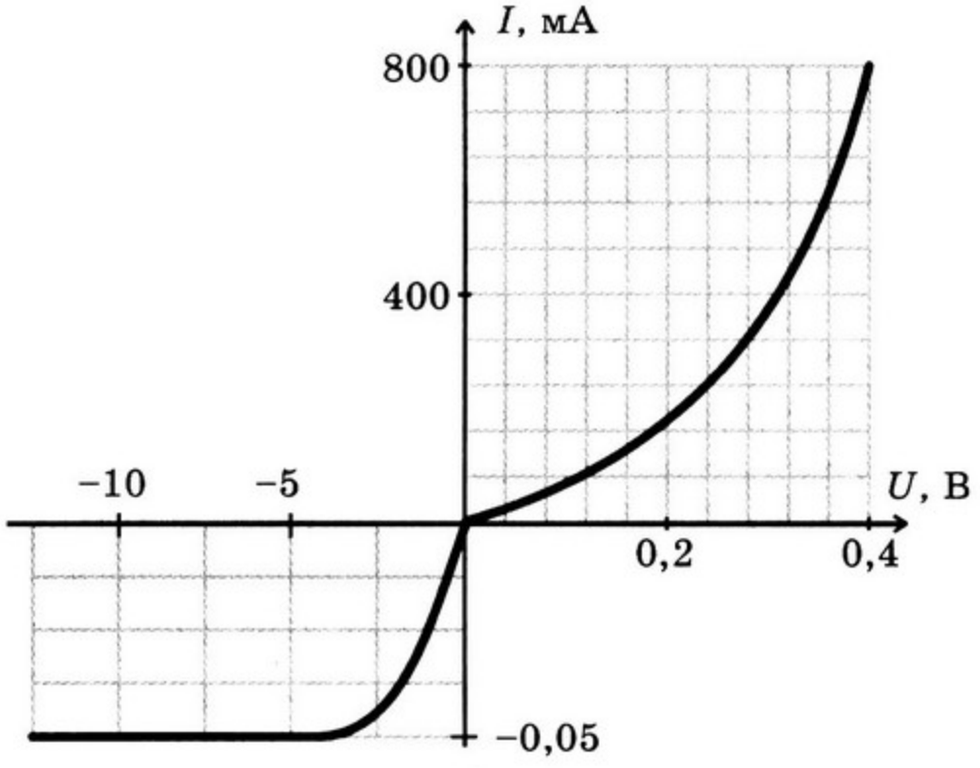
31.87. При какой абсолютной температуре T средняя кинетическая энергия движения атомов неона равна энергии, необходимой для ионизации этих атомов? Потенциал ионизации атомов неона $\varphi = 21{,}5$ В.

31.88. Легирование германия акцепторной примесью (например, индием) намного увеличивает концентрацию дырок. Как при этом изменяется концентрация свободных электронов?

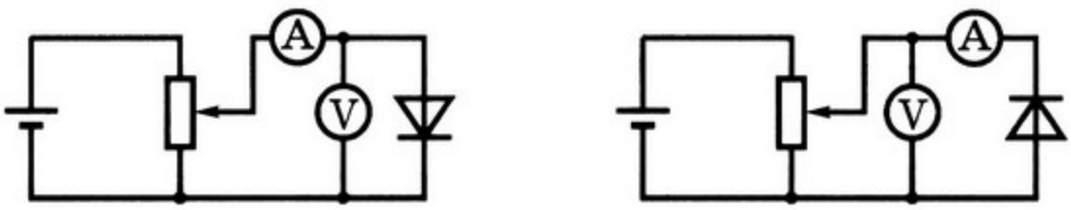
31.89. При нагревании одного из концов полупроводникового стержня (германий с примесью индия) возникает разность потенциалов между нагретым и холодным концами. Почему? Потенциал какого конца стержня выше?

31.90. На рисунке приведена вольт-амперная характеристика полупроводникового диода. Диод подключен к источнику постоянного напряжения: а) +0,4 В; б) −5 В. Во сколько

раз изменится сила тока, идущего через диод, если последовательно с ним включить резистор сопротивлением 100 Ом?



31.91. Почему для получения вольт-амперной характеристики полупроводникового диода используют две *различные* схемы соединения приборов (см. рис. *а*, *б*)?



а *б*

Олимпиадные задачи

О-165. Пучок электронов, разогнанных напряжением $U_1 = 5$ кВ, влетает в плоский конденсатор посередине между пластинами и параллельно им. Длина конденсатора $l = 10$ см, расстояние между пластинами $d = 10$ мм. При каком наименьшем напряжении U_2 на конденсаторе электроны не будут вылетать из него?

О-166. Электрическое поле действует на свободные электроны в газе и на однозарядные ионы с одинаковой по модулю

силой. Казалось бы, вследствие этого электроны и ионы должны одинаково часто приобретать кинетические энергии, достаточные для ударной ионизации молекул газа. Однако в действительности главную роль в этом процессе играют электроны. Почему?

О-167. Плоский воздушный конденсатор с расстоянием между обкладками 2 мм и площадью обкладок 10 см^2 заряжен до напряжения 2 кВ и отключен от источника тока. Под действием внешнего ионизатора в пространстве между обкладками за секунду образуется 10^8 пар одновалентных ионов. На сколько изменилось напряжение на конденсаторе через 5 с после начала действия ионизатора? Считайте, что все ионы достигают обкладок конденсатора.

МАГНИТНОЕ ПОЛЕ

Индукция магнитного поля. Принцип суперпозиции магнитных полей. Сила Ампера. Сила Лоренца. *Электроизмерительные приборы. Магнитные свойства вещества.*

Магнитный поток. Закон электромагнитной индукции Фарадея. Вихревое электрическое поле. Правило Ленца. Самоиндукция. Индуктивность. Энергия магнитного поля.

32. МАГНИТНОЕ ПОЛЕ. ВЕКТОР МАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ

$$F_A = BIl\sin\alpha,\ F_Л = qvB\sin\alpha$$

Пример решения задачи

На горизонтальных рельсах, находящихся в вертикальном однородном магнитном поле, лежит стальной брусок, перпендикулярный рельсам. Длина бруска $a = 15$ см, масса $m = 300$ г, коэффициент трения между бруском и рельсами $\mu = 0{,}2$. Чтобы брусок сдвинулся с места, по нему необходимо пропустить ток $I = 40$ А. Какова индукция B магнитного поля?

Дано:

$a = 15$ см $= 0{,}15$ м

$m = 300$ г $= 0{,}3$ кг

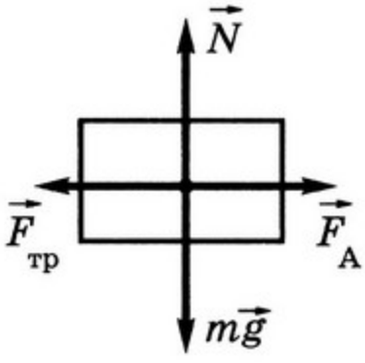
$\mu = 0{,}2$

$I = 40$ А

$\alpha = 90°$

B –?

Решение.



На рисунке показаны действующие на брусок силы. Сила Ампера $F_A = BIa \cdot \sin\alpha$; в тот момент, когда брусок сдвигается с места, сила трения $F_{тр} = \mu N = \mu mg$. Из условия $F_A = F_{тр}$ находим: $B = \dfrac{\mu mg}{I \cdot a \cdot \sin\alpha}$.

Проверяем единицы величин: $[B] = \dfrac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}^2 \cdot \text{А} \cdot \text{м}} = \text{Тл}$.

Вычисляем индукцию: $B = \dfrac{0{,}2 \cdot 0{,}3 \cdot 9{,}8}{40 \cdot 0{,}15 \cdot 1} = 9{,}8 \cdot 10^{-2}$ (Тл).

Ответ. 98 мТл.

Средний уровень

Решите устно

32.1. Какие взаимодействия называют магнитными?

32.2. Какие магнитные явления вам известны?

32.3. Как взаимодействуют постоянные магниты?

32.4. Где находится северный и южный магнитные полюса Земли?

32.5. На какие частицы или тела действует электрическое поле? магнитное?

32.6. Отклонится ли магнитная стрелка, если ее разместить вблизи пучка движущихся частиц: а) электронов; б) атомов; в) положительных ионов?

32.7. Будет ли действовать магнит на магнитную стрелку, если между ними поместить руку? Алюминиевый лист?

32.8. В каком месте Земли магнитная стрелка обоими концами показывает на юг?

32.9. Притягиваются или отталкиваются провода троллейбусной линии, когда по ним проходит электрический ток?

32.10. От чего зависит сила, действующая на прямолинейный проводник с током во внешнем магнитном поле?

Решите и запишите

32.11. Магнитная стрелка, помещенная около провода, отклонилась при пропускании по нему тока. За счет какого вида энергии совершена работа, необходимая для поворота стрелки? Объясните.

32.12. В однородном магнитном поле с индукцией 0,8 Тл перпендикулярно линиям магнитной индукции расположен проводник длиной 1,28 м. Определите силу, действующую на проводник, если сила тока в нем равна 18 А.

32.13. В однородном магнитном поле с индукцией 0,12 Тл под углом 30° к направлению поля расположен проводник с током длиной 1,5 м. Определите силу тока в проводнике, если на него действует сила 1,8 Н.

32.14. Однородное магнитное поле с индукцией 0,25 Тл действует на находящийся в нем проводник с силой 2,1 Н. Определите угол между направлением тока в проводнике и направлением магнитного поля, если длина проводника 1,4 м, а сила тока в нем 12 А.

32.15. Какая сила действует на протон, движущийся со скоростью $2 \cdot 10^6$ м/с в однородном магнитном поле с индукцией 0,1 Тл? Протон движется под углом 60° к линиям магнитной индукции поля.

32.16. Электрон влетает в однородное магнитное поле, индукция которого 20 мТл, перпендикулярно линиям магнитной индукции поля со скоростью 10^8 см/с. Вычислите радиус окружности, по которой будет двигаться электрон.

32.17. Электрон описывает в магнитном поле окружность радиусом 4 мм. Скорость электрона $3{,}6 \cdot 10^6$ м/с. Определите индукцию магнитного поля.

Достаточный уровень

Решите устно

32.18. Можно ли получить «одиночные» магнитные полюса — только северный или только южный?

32.19. Турист нашел в лесу стальное полотно ножовки. Как он может определить, намагничено ли это полотно, если у туриста нет с собой предметов из намагниченных материалов?

32.20. Когда нет перемещения тела, то не совершается и механическая работа. На что же расходуется энергия, подводимая к электромагниту, когда он «держит» груз?

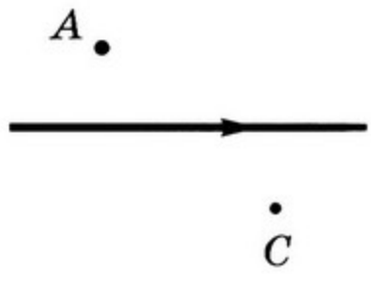
32.21. Намагниченная стальная пластинка, опущенная в стакан с соляной кислотой, растворилась. На что израсходована магнитная энергия пластинки?

32.22. Как будут взаимодействовать соседние витки катушки с током, когда по ним потечет постоянный ток? переменный ток?

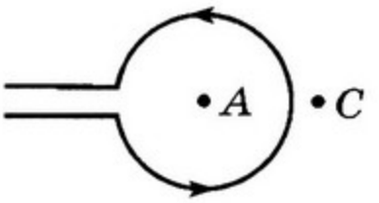
32.23. Почему магнитное поле не действует на проводник без тока, ведь свободные электроны в проводнике находятся в постоянном тепловом движении?

32.24. Как должен двигаться электрон в магнитном поле, чтобы на него не действовала сила Лоренца?

32.25. По проводу (см. рисунок) идет электрический ток. В каком направлении повернется магнитная стрелка, помещенная в точку A? в точку C?

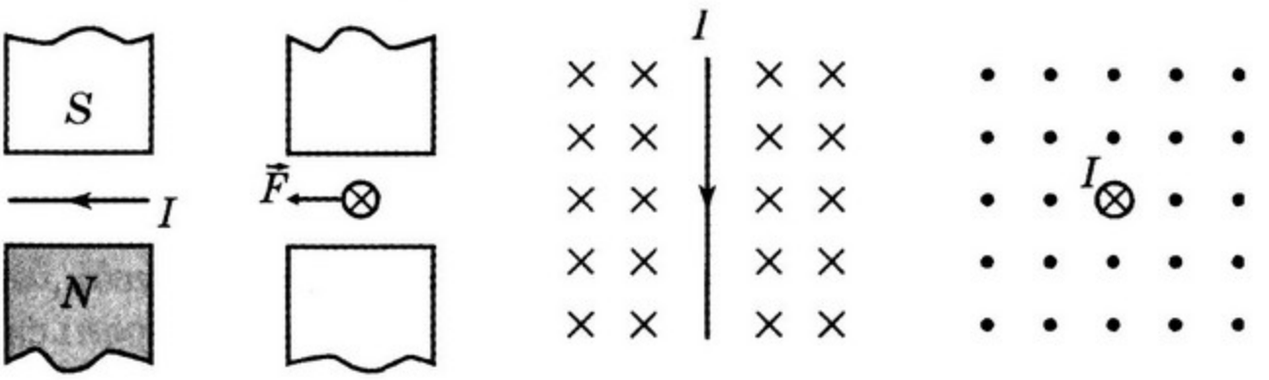


32.26. По витку провода (см. рисунок) идет электрический ток. В каком направлении повернется магнитная стрелка, помещенная в точку A? в точку C?

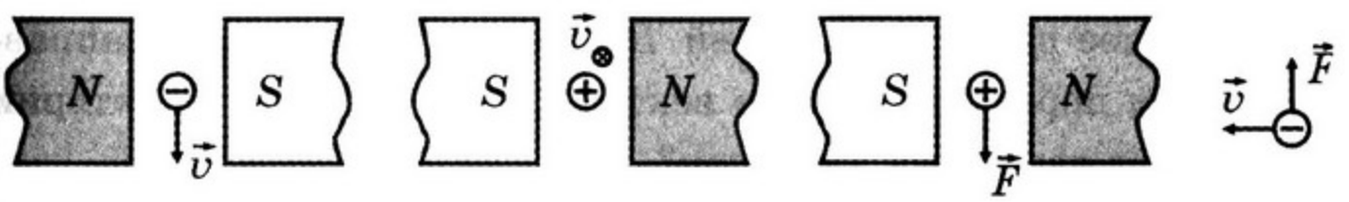


32.27. Прямоугольная рамка с током находится в однородном магнитном поле. Докажите, что равнодействующая сил Ампера, приложенных ко всем сторонам рамки, равна нулю.

32.28. На рисунках представлены проводники с током, находящиеся в магнитном поле. Сформулируйте задачу по каждому из приведенных рисунков и решите ее.

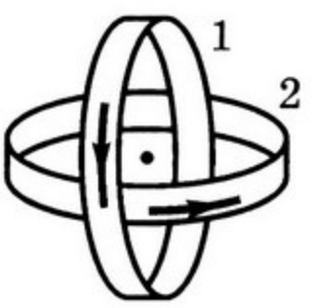


32.29. На рисунках схематически изображены различные случаи взаимодействия движущейся заряженной частицы и магнитного поля. Сформулируйте задачу в каждом случае и решите ее.

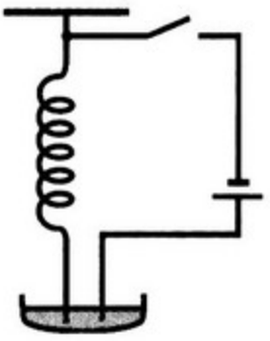


Решите и запишите

32.30. По двум одинаковым металлическим обручам текут одинаковые токи. Один из обручей расположен вертикально, другой — горизонтально (см. рисунок). Найдите направление вектора магнитной индукции $\vec{B}$ в общем центре обручей.



32.31. Мягкая металлическая пружина висит, погрузившись нижним концом в ртуть на небольшую глубину (см. рисунок). Что произойдет после замыкания ключа?



32.32. Горизонтальный проводник массой $m = 20$ г подвешен за концы на двух проводах. Средняя часть проводника длиной $l = 50$ см находится в вертикальном однородном магнитном поле с индукцией $B = 0{,}10$ Тл; провода находятся вне области магнитного поля. По проводнику протекает ток $I = 2$ А. На какой угол α от вертикали отклоняются провода?

32.33. На горизонтальных рельсах, находящихся в вертикальном однородном магнитном поле, лежит стальной брусок, перпендикулярный рельсам. Расстояние между рельсами $l = 15$ см. Масса бруска $m = 300$ г, коэффициент трения между бруском и рельсами $\mu = 0{,}20$. Чтобы брусок сдвинулся с места, по нему необходимо пропустить ток силой $I = 40$ А. Какова индукция B магнитного поля?

32.34. Электрон влетает со скоростью $\vec{v}$ в однородное магнитное поле с индукцией $\vec{B}$. Скорость электрона направлена перпендикулярно вектору $\vec{B}$. По какой траектории будет двигаться электрон?

32.35. Как зависит период T обращения электрона по окружности (см. задачу 32.34) от скорости электрона?

32.36. Циклотрон предназначен для ускорения протонов до энергии 5 МэВ. Определите наибольший радиус орбиты, по которой движется протон, если индукция магнитного поля 1 Тл.

Высокий уровень

Решите устно

32.37. Полосовой магнит разделили на две равные части и получили два магнита. Будут ли эти магниты оказывать такое же действие, как и целый магнит, из которого они получены?

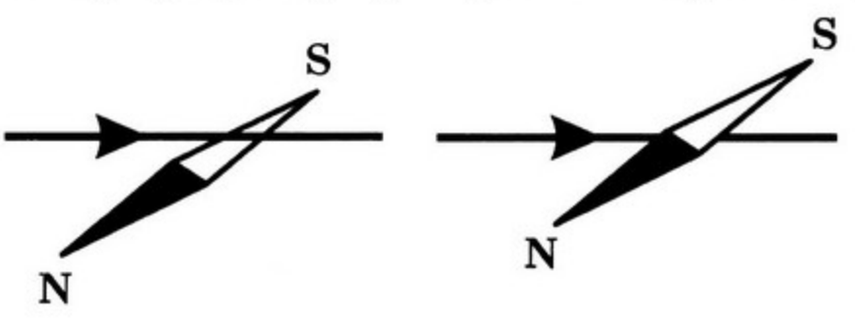
32.38. Тонкая стальная полоса хорошо намагничена, и только к середине ее железные опилки не притягиваются. Полосу сгибают и получают обруч, при этом концы полосы склеивают в торец. Останется ли магнитом полоса, образовавшаяся из обруча, когда его разрезали в том месте, где опилки не притягивались?

32.39. Почему магнитные стрелки, расположенные далеко друг от друга, ориентируются в одном направлении (см. рис. *а*), а расположенные поблизости друг от друга (см. рис. *б*) — в другом направлении?



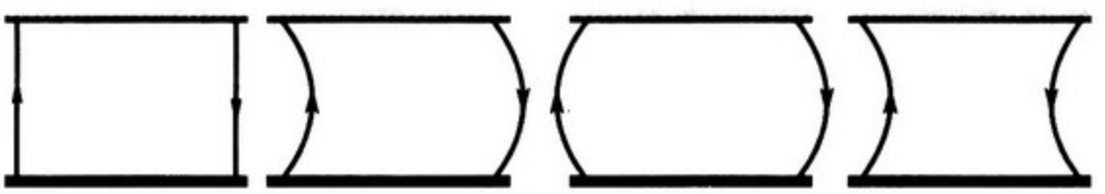
а *б*

32.40. Как повернется магнитная стрелка вблизи провода, если по проводу пропустить достаточно сильный электрический ток? Рассмотрите два случая: а) провод проходит *над* стрелкой (см. рис. *а*); б) провод проходит *под* стрелкой (см. рис. *б*).



а *б*

32.41. Через горизонтальный стержень, подвешенный на двух проводах, пропускают электрический ток (см. рис. *а*). *Всю* систему помещают в сильное однородное магнитное поле, перпендикулярное плоскости рисунка. Какие из рис. *б–г* могут быть правильными? Каково при этом направление вектора индукции магнитного поля?



а *б* *в* *г*

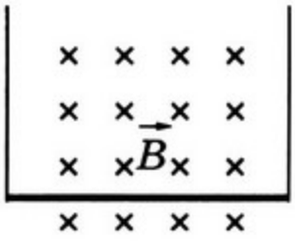
32.42. На гладкой горизонтальной поверхности лежит петля из гибкого провода. Какую форму примет эта петля, если создать в ней сильный электрический ток?

32.43. Прямоугольная рамка с током находится в однородном магнитном поле. Укажите положения устойчивого и неустойчивого равновесия рамки.

32.44. Прямоугольная рамка с током находится в неоднородном магнитном поле. Докажите, что действующие на стороны рамки силы Ампера втягивают ее в область более сильного поля.

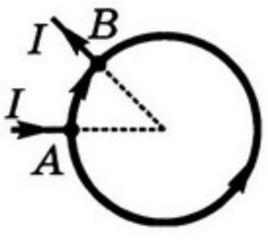
Решите и запишите

32.45. Прямолинейный проводник подвешен горизонтально на двух проводах. Средняя часть проводника, имеющая длину $l = 50$ см, находится в горизонтальном однородном магнитном поле с индукцией $B = 0{,}05$ Тл (см. рисунок). Проводник перпендикулярен вектору $\vec{B}$. Каким должно быть направление тока в проводнике, чтобы натяжение проводов уменьшилось? При какой силе тока I действующая на проводник сила Ампера уравновесит силу тяжести? Масса проводника $m = 5{,}0$ г.



32.46. Горизонтальный проводник массой $m = 30$ г подвешен за концы на двух проводах. Средняя часть проводника, имеющая длину $l = 50$ см, находится в вертикальном однородном магнитном поле с индукцией $B = 0{,}1$ Тл; провода находятся вне области магнитного поля. По проводнику протекает ток $I = 2$ А. На какой угол α от вертикали отклоняются провода?

32.47. К двум точкам проволочного кольца подведен ток (см. рисунок). Протекающие по кольцу токи создают магнитное поле. Куда направлен вектор магнитной индукции $\vec{B}$ этого поля в центре кольца?

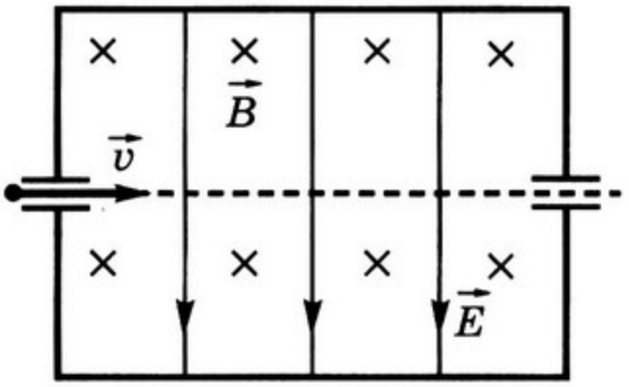


32.48. По жесткому кольцу из медной проволоки течет ток силой $I = 5$ А. Кольцо находится в перпендикулярном к его плоскости магнитном поле с индукцией $B = 0{,}5$ Тл. Найдите растягивающее механическое напряжение σ в проволоке, если радиус кольца $R = 5$ см, а площадь сечения проволоки $S = 3$ мм^2. Магнитным взаимодействием между различными участками кольца можно пренебречь.

32.49. Электрон влетает в однородное магнитное поле со скоростью $\vec{v}$ под углом α к направлению поля. Магнитная индукция поля $\vec{B}$. По какой траектории будет двигаться электрон?

32.50. Опишите движение электрона в однородных параллельных электрическом и магнитном полях. Начальная скорость электрона v направлена под углом α к векторам $\vec{E}$ и $\vec{B}$.

32.51. Объясните действие «фильтра скоростей», показанного на рисунке. Внутри прибора созданы однородные поля: магнитное с индукцией $\vec{B}$ и электрическое с напряженностью $\vec{E}$.

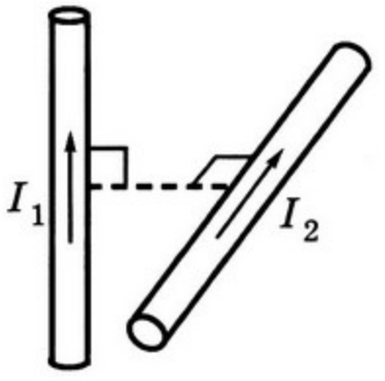


Поля направлены перпендикулярно друг к другу и к начальной скорости частиц.

32.52. Около сильного длинного полосового магнита расположен гибкий свободный провод (см. рисунок). Как расположится провод, если по нему пропустить ток?



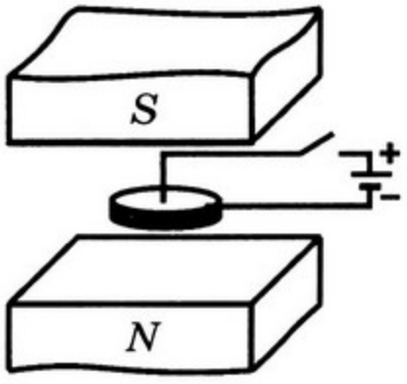
К задаче 32.52



К задаче 32.53

32.53. По двум жестким незакрепленным прямолинейным проводникам, скрещивающимся под прямым углом, проходят токи I_1 и I_2 (см. рисунок). Как будет меняться взаимное расположение проводников вследствие магнитного взаимодействия между ними?

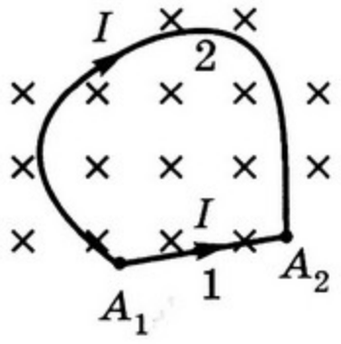
32.54. Кювета (широкий круглый стеклянный сосуд) с раствором медного купороса находится между полюсами сильного электромагнита (см. рисунок). В центре кюветы в раствор погружен медный электрод, соединенный с положительным полюсом источника тока, а по периметру погружено медное кольцо, соединенное с отрицательным полюсом. Что произойдет при замыкании цепи?



Олимпиадные задачи

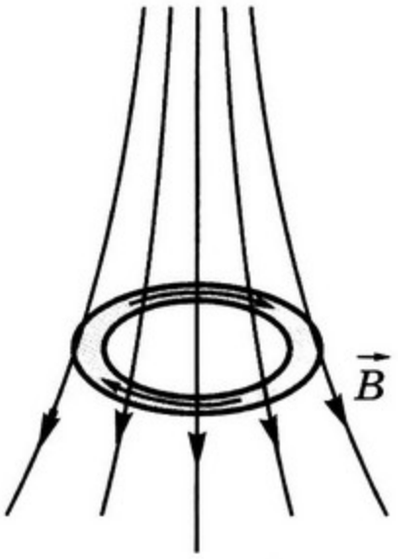
О-168. Опишите движение свободно подвешенной прямоугольной проволочной рамки с током в магнитном поле. Рассмотрите два случая: движение в магнитном поле Земли и движение в поле стального магнита.

О-169. Проводники 1 и 2 лежат в плоскости, перпендикулярной однородному магнитному полю (см. рисунок). По проводникам текут одинаковые токи. Докажите, что на проводники действуют одинаковые (по модулю и направлению) силы Ампера.

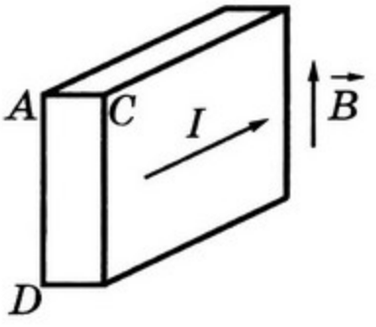


О-170. Горизонтальное сверхпроводящее кольцо, по которому течет ток силой $I = 2$ А, «парит» в неоднородном магнитном поле (см. рисунок). Вектор магнитной индукции в точках, где находится кольцо, образует угол $\alpha = 30°$ с осью кольца

и равен по модулю $B = 0{,}1$ Тл. Найдите массу m кольца, если его радиус $R = 5$ см.



О-171. Металлическую полоску, по которой течет ток I, помещают в однородное магнитное поле с индукцией $\vec{B}$ (см. рисунок). При этом между точками A и C возникает разность потенциалов (эффект Холла). Объясните это явление. Найдите разность потенциалов U_{AC}, если $AC = a$, $AD = b$. Концентрация свободных электронов равна n.



О-172. Сплошной металлический цилиндр, радиус которого $R = 20$ см, вращается с постоянной угловой скоростью $\omega = 10^3$ рад/с. Чему равна напряженность E электрического поля внутри цилиндра на расстоянии r от оси? Какова разность потенциалов U между поверхностью цилиндра и осью вращения? Какова должна быть индукция B магнитного поля, направленного вдоль оси цилиндра, чтобы электрическое поле не возникло?

33. ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ИНДУКЦИЯ

$$\Phi = BS\cos\alpha, \quad \mathcal{E}_i = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}, \quad \mathcal{E}_{si} = -L\frac{\Delta I}{\Delta t}, \quad W_м = \frac{LI^2}{2}$$

Пример решения задачи

Какой заряд q пройдет через поперечное соединение замкнутого проводника с сопротивлением $R = 50$ Ом при изменении магнитного потока от $\Phi_1 = 30$ мВб до $\Phi_2 = 10$ мВб?

Решение. Разобьем мысленно весь процесс на такие короткие этапы, что на протяжении каждого из них скорость изменения магнитного потока можно считать постоянной. Используем закон Ома для замкнутой цепи $I = \frac{\mathcal{E}_i}{R}$ и закон электромагнитной индукции $\mathcal{E}_i = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$. Откуда:

$$I = -\frac{1}{R}\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}.$$

В течение каждого этапа через проводник проходит заряд:

$$\Delta q = I\Delta t = -\frac{\Delta\Phi}{R}.$$

Просуммировав аналогичные соотношения для всех этапов процесса, получим $q = \frac{\Phi_1 - \Phi_2}{R}$.

Вычисляем заряд: $q = \frac{30 - 10}{50} = 0{,}4$ (мКл).

Ответ. 0,4 мКл.

Средний уровень

Решите устно

33.1. Предложите способы изменения магнитного потока, пронизывающего данный контур.

33.2. Как необходимо ориентировать проволочную рамку в однородном магнитном поле, чтобы магнитный поток через рамку был равен нулю? был максимальным?

33.3. Проволочная рамка находится в однородном магнитном поле. В каких случаях в ней может возникнуть индукционный ток?

33.4. Замкнутое металлическое кольцо движется в однородном магнитном поле поступательно. Возникает ли индукционный ток в кольце? Почему?

33.5. Почему для обнаружения индукционного тока замкнутый проводник лучше брать в виде катушки, а не в виде прямолинейного провода?

33.6. Между любыми двумя точками некоторого контура разность потенциалов равна нулю, а ток в контуре существует. Когда это возможно?

33.7. К батарее аккумуляторов присоединены параллельно две цепи. Одна содержит лампы накаливания, другая — большой электромагнит. Величина тока в обеих цепях одна и та же. При размыкании какой из цепей будет наблюдаться более сильная искра?

33.8. В каком случае ЭДС самоиндукции больше — при замыкании цепи постоянного тока или при ее размыкании?

Решите и запишите

33.9. Определите магнитный поток, пронизывающий плоскую прямоугольную площадку со сторонами 25 см и 60 см, если магнитная индукция во всех точках площадки равна 1,5 Тл, а вектор магнитной индукции образует с нормалью к этой площадке угол 45°.

33.10. Магнитный поток через квадратную проволочную рамку со стороной 2 см, плоскость которой перпендикулярна линиям индукции однородного магнитного поля, равен 0,1 мВб. Каков модуль вектора магнитной индукции поля?

33.11. Определите площадь контура, если известно, что пронизывающий его магнитный поток равен 0,25 мВб. Вектор магнитной индукции составляет угол 45° с нормалью к контуру, а его модуль равен 30 мТл.

33.12. За 3 с магнитный поток через контур уменьшился на 12 Вб/с. Определите ЭДС индукции в контуре.

33.13. В контуре проводника магнитный поток изменился за 0,3 с на 60 мВб. Какова скорость изменения магнитного потока? Какова ЭДС индукции в контуре? При каком условии ЭДС индукции будет постоянной?

33.14. Определите ЭДС самоиндукции, возникающую в катушке индуктивностью 25 мГн, если спустя 75 мс после замыкания цепи в ней устанавливается сила тока 3,75 А. Каков физический смысл знака ЭДС самоиндукции?

33.15. Определите индуктивность катушки, если при уменьшении силы тока на 2,8 А за 62 мс в катушке возникает средняя ЭДС самоиндукции, равная 14 В.

33.16. Определите энергию магнитного поля катушки индуктивностью 24 мГн при силе тока в ней 2,3 А. Как изменится энергия магнитного поля при уменьшении силы тока в два раза?

33.17. Магнитное поле катушки индуктивностью 95 мГн обладает энергией 0,19 Дж. Чему равна сила тока в катушке?

33.18. Какова индуктивность катушки, если при силе тока 3 А энергия магнитного поля катушки равна 1,8 Дж?

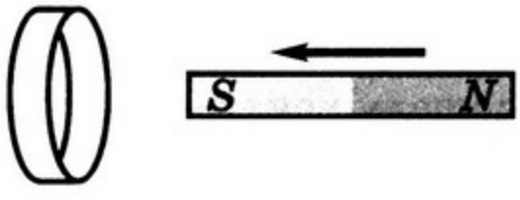
Достаточный уровень

Решите устно

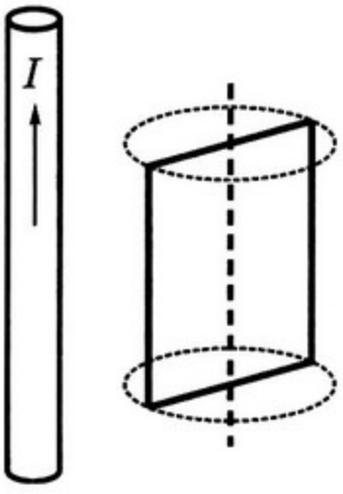
33.19. Как надо перемещать в магнитном поле Земли замкнутый проволочный прямоугольник, чтобы в нем наводился электрический ток?

33.20. Какие явления происходят, когда в кольцо вдвигают магнит? Рассмотрите два случая: а) кольцо проводящее; б) кольцо сверхпроводящее.

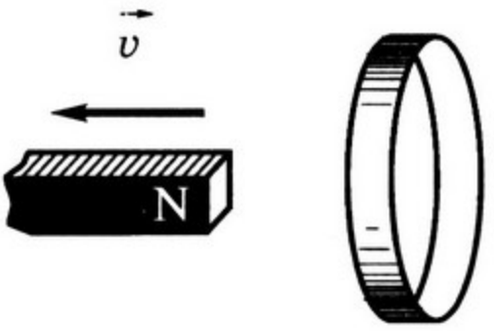
33.21. Найдите направление индукционного тока в металлическом кольце, к которому приближают магнит (см. рисунок).



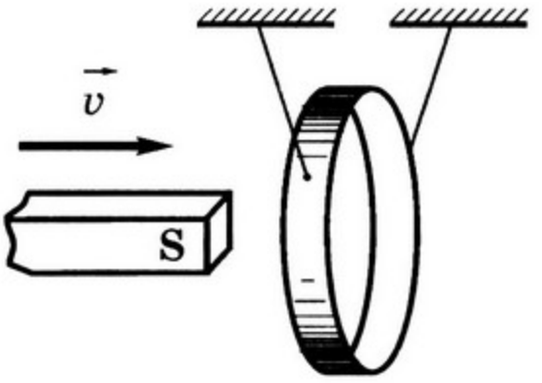
33.22. Прямоугольная проволочная рамка равномерно вращается вокруг неподвижной оси. Параллельно этой оси расположен провод, по которому течет ток I (см. рисунок). При каких положениях рамки в ней возникает наименьшая ЭДС индукции? Наибольшая?



33.23. Какие явления происходят в проводящем кольце, если от него удалять магнит? Объясните.



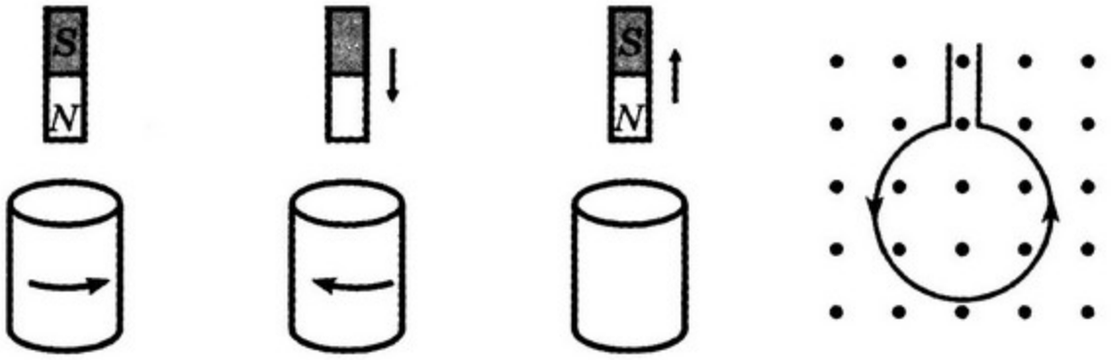
К задаче 33.23



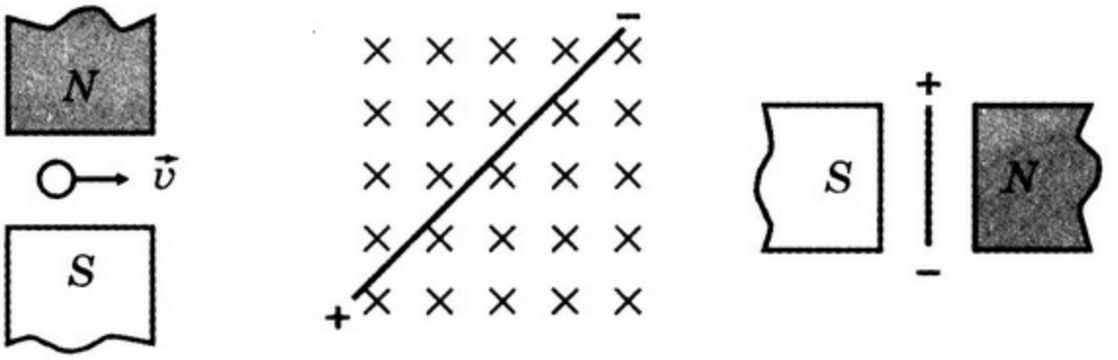
К задаче 33.24

33.24. В вертикальной плоскости подвешено на двух нитях медное кольцо. В первый раз в него вдвигают стальной стержень, а во второй раз — магнит. Влияет ли движение стержня и магнита на положение кольца?

33.25. На рисунке показаны различные ситуации, в которых наблюдается явление электромагнитной индукции. Сформулируйте и решите задачу для каждого случая.



33.26. На рисунке показаны различные ситуации, в которых наблюдается явление электромагнитной индукции. Сформулируйте и решите задачу для каждого случая.



33.27. Электромагнит с разомкнутым сердечником включен в цепь постоянного тока. При замыкании сердечника якорем происходит кратковременное уменьшение силы тока в цепи. Почему?

33.28. Поясните превращения энергии, происходящие при следующих процессах: а) магнитная стрелка поворачивается вблизи провода, по которому пустили ток; б) электромагнит притягивает к себе якорь; в) от электромагнита, по обмотке которого идет ток, отрывают якорь; г) постоянный магнит притягивает к себе кусок железа.

Решите и запишите

33.29. ЭДС индукции в замкнутом проводящем контуре равна 10 В. Какой заряд проходит по контуру за 2 с, если его сопротивление равно 50 Ом?

33.30. Плоский проволочный виток расположен перпендикулярно линиям индукции однородного магнитного поля. Какой заряд пройдет по витку при его повороте на угол $\pi/2$? Сопротивление витка 14 Ом, его площадь 40 см^2. Модуль вектора магнитной индукции 7 мТл.

33.31. Свинцовое кольцо радиусом r расположено горизонтально между полюсами электромагнита, создающего вертикальное однородное магнитное поле с магнитной индукцией B. Охлаждая кольцо, его переводят в сверхпроводящее состояние. Какой магнитный поток Ф будет пронизывать плоскость кольца после выключения электромагнита?

33.32. По сверхпроводящему проводу, имеющему форму кольца радиусом r, идет ток. Индукция магнитного поля в центре кольца равна B_0. Проводу придают форму, показанную на рисунке. Какова теперь индукция B магнитного поля в центре уменьшенного кольца?



33.33. Катушку радиусом $r = 3$ см с числом витков $n = 1000$ помещают в однородное магнитное поле (ось катушки параллельна линиям поля). Индукция поля изменяется с

постоянной скоростью $\frac{\Delta B}{\Delta t} = 10$ мТл/с. Какой заряд q будет на конденсаторе, подключенном к концам катушки? Емкость конденсатора $C = 20$ мкФ.

33.34. Катушка (см. задачу 33.33) замыкается накоротко. Найдите выделяющуюся в ней тепловую мощность P, если сопротивление катушки $R = 16$ Ом.

33.35. В замкнутую накоротко катушку вводят магнит: в первый раз быстро, а во второй — медленно. Одинаковый ли заряд проходит по цепи в обоих случаях? Одинаковое ли количество теплоты выделяется?

33.36. Катушка радиусом r с числом витков n и сопротивлением R находится в однородном магнитном поле с индукцией B. Ось катушки направлена вдоль линий поля. Концы катушки замкнуты. Какой заряд q пройдет через катушку, если повернуть ее ось на угол α?

33.37. На замкнутый ферромагнитный сердечник намотана катушка. Как зависит ее индуктивность L от числа витков N? Магнитную проницаемость сердечника можно считать неизменной.

33.38. В каком случае обмотка электромотора сильнее нагревается проходящим по ней током — когда мотор вращается вхолостую или когда совершает работу? Напряжение в сети считайте постоянным.

Высокий уровень

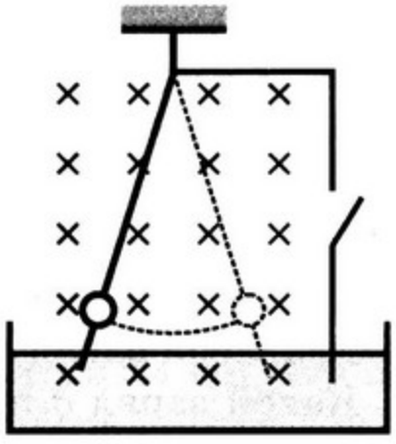
Решите устно

33.39. Каркас для глобуса сделан из двух изолированных друг от друга металлических обручей, расположенных во взаимно перпендикулярных плоскостях (см. рисунок). В одном из обручей течет переменный ток. Возникает ли во втором обруче ЭДС индукции?



33.40. Магнит падает в длинной вертикальной медной трубе, воздух из которой откачан. Магнит с трубой не соприкасается. Опишите характер падения.

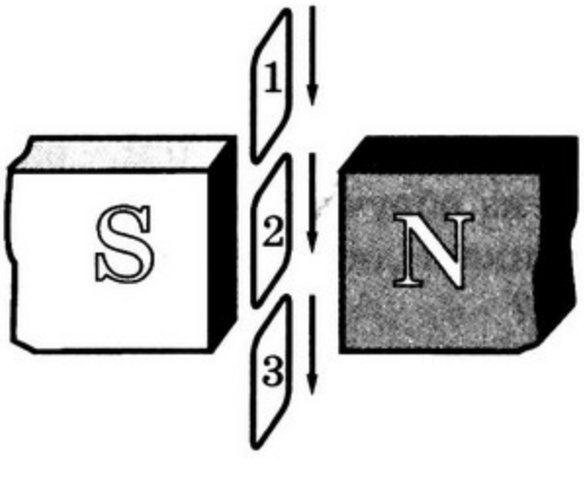
33.41. Маятник, состоящий из металлических нити, шарика и острия, погруженного в ртуть, совершает малые колебания в сильном однородном магнитном поле (см. рисунок). Как изменится характер колебаний после замыкания ключа?



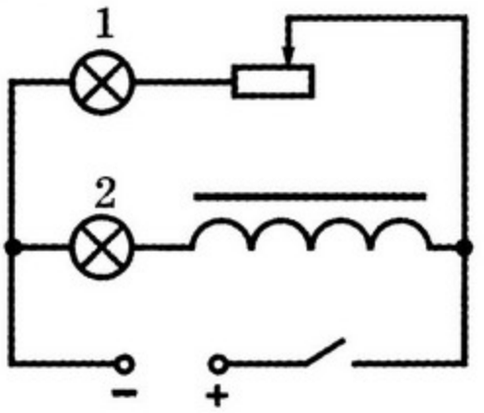
33.42. Плоская проволочная рамка может свободно вращаться вокруг оси, перпендикулярной магнитной индукции однородного магнитного поля. Каково положение устойчивого равновесия рамки, если магнитное поле возрастает? Если магнитное поле убывает?

33.43. Сквозь горизонтальное проводящее кольцо падают с одинаковой высоты алюминиевый брусок и магнит. Какой предмет упадет первым? Почему?

33.44. На рисунке показаны три последовательных положения проволочной рамки, падающей между полюсами магнита. Как направлен индукционный ток в рамке при прохождении ею положений 1, 2, 3? Как направлены силы, действующие на рамку со стороны магнитного поля магнита?



33.45. В показанной на рисунке цепи при замкнутом ключе сила тока в обеих лампах одинакова. Какая из ламп раньше загорается при замыкании ключа? раньше гаснет при размыкании ключа?

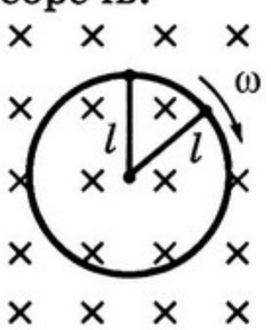


33.46. Сопротивление в цепи нагрузки генератора переменного тока увеличилось. Как должна измениться мощность двигателя, вращающего генератор, чтобы частота переменного тока не изменилась?

Решите и запишите

33.47. На цилиндрический железный сердечник радиусом r надето изолированное металлическое кольцо такого же радиуса, имеющее электрическое сопротивление R. В сердечнике создается однородное магнитное поле, индукция которого изменяется по закону $B = aB_0t$. Как изменяется со временем сила тока i в кольце и разность потенциалов между диаметрально противоположными точками кольца?

33.48. Металлическое кольцо радиусом l находится в однородном магнитном поле с индукцией $\vec{B}$, перпендикулярной плоскости кольца. Две металлические стрелки сопротивлением R каждая имеют контакт между собой и с кольцом (см. рисунок). Одна стрелка неподвижна, а другая равномерно вращается с угловой скоростью ω. Найдите силу тока I, текущего через стрелки. Сопротивлением кольца можно пренебречь.



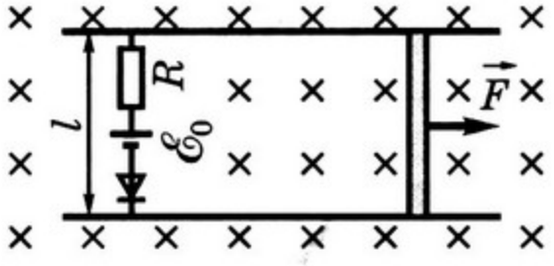
33.49. Кольцо из алюминиевой проволоки расположено горизонтально в однородном вертикальном магнитном поле, магнитная индукция которого равна 0,5 Тл. Какой заряд пройдет через поперечное сечение проволоки, если: а) магнитное поле исчезнет; б) кольцо повернут на 180° вокруг горизонтальной оси? Радиус кольца равен 3 см, радиус проволоки — 1 мм.

33.50. Замкнутый изолированный провод длиной 4 м расположен по периметру круглой горизонтальной площадки. Какой заряд пройдет через провод, если придать ему форму квадрата? Сопротивление провода равно 2 Ом, вертикальная составляющая магнитного поля Земли 50 мкТл.

33.51. Металлический стержень может скользить без трения по параллельным горизонтальным рельсам, находящимся на расстоянии l друг от друга. Рельсы соединены перемычкой, имеющей сопротивление R (см. рисунок). Система находится в вертикальном однородном магнитном поле с индукцией $\vec{B}$. Как будет двигаться стержень, если к нему приложить постоянную силу $\vec{F}$? Электрическим сопротивлением стержня и рельсов можно пренебречь. Явление самоиндукции не учитывайте.

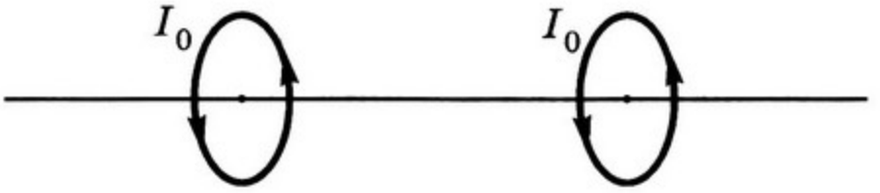


33.52. Как изменится ответ в задаче 33.51, если в цепь включить источник тока и идеальный диод, как показано на рисунке?



33.53. Два одинаковых сверхпроводящих кольца могут свободно перемещаться вдоль одной прямой, причем плоскости колец остаются перпендикулярными этой прямой (см. рисунок). В начальный момент расстояние меж-

ду кольцами намного превышает их размеры; по кольцам текут в одном направлении одинаковые токи I_0. Какие токи I установятся в кольцах после того, как они сблизятся вплотную? Как при этом изменится энергия магнитного поля?

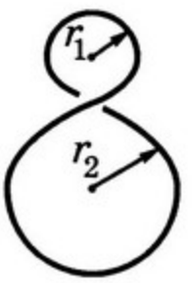


33.54. В цилиндрическом сердечнике радиусом R создано однородное магнитное поле, направленное вдоль оси цилиндра. Индукция магнитного поля изменяется со временем по закону $B = kt$. Найдите напряженность E вихревого электрического поля на расстоянии r от оси цилиндра.

33.55. Электродвигатель включен в сеть постоянного тока с напряжением $U = 120$ В. Сопротивление обмотки двигателя $R = 12$ Ом. Какую максимальную мощность N_{max} может развить этот двигатель? При какой силе тока I_0 достигается эта мощность? Напряжение в сети считайте постоянным.

Олимпиадные задачи

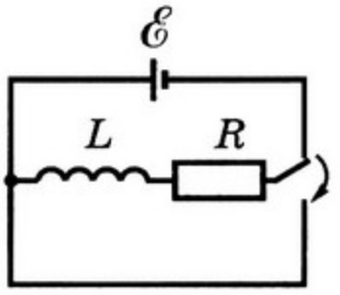
О-173. Виток изолированного провода изогнут в виде восьмерки (см. рисунок), так что $r_1 = 20$ мм и $r_2 = 60$ мм. В течение промежутка времени $\Delta t = 0{,}5$ мс индукция однородного магнитного поля, перпендикулярного плоскости витка, равномерно возрастает от нуля до $B = 5$ Тл. На какое напряжение U должна быть рассчитана изоляция между проводами, чтобы не произошел ее пробой?



О-174. Катушка имеет индуктивность L и электрическое сопротивление R. В момент $t = 0$ катушку подключают к аккумулятору. Как выглядит график зависимости силы тока I в катушке от времени? Оцените характерное время

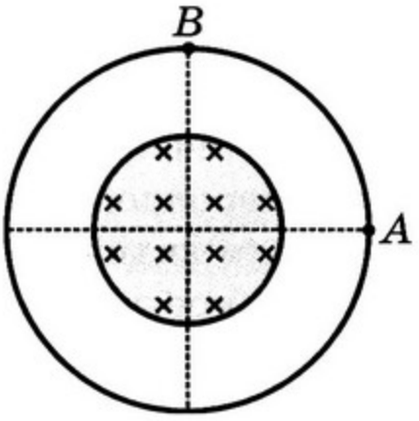
τ возрастания тока в катушке. ЭДС аккумулятора равна $\mathscr{E}$, его внутренним сопротивлением можно пренебречь.

О-175. Через катушку (см. задачу О-175) течет постоянный ток. В момент t_0 источник тока отключают и катушку замыкают накоротко (см. рисунок). Как выглядит график зависимости силы тока от времени? Каково характерное время τ убывания тока в цепи?



О-176. Магнитное поле имеет вертикальную ось симметрии (ось z). Проекция вектора магнитной индукции $\vec{B}$ на эту ось $B_z = B_0(1 + z/h_0)$. С большой высоты падает медное кольцо диаметром d, имеющее электрическое сопротивление R; плоскость кольца все время горизонтальна, а его центр движется вдоль оси z. Найдите установившуюся скорость падения v, если масса кольца равна m. Сопротивлением воздуха можно пренебречь.

О-177. Индукция однородного магнитного поля в цилиндрическом сердечнике радиусом r (см. рисунок) возрастает со временем по закону $B = kt$. Проволочное кольцо радиусом $2r$ имеет общую с сердечником ось. Какова разность потенциалов между точками A и B? Какое напряжение покажет вольтметр, подключенный к точкам A и B? Сопротивление вольтметра велико по сравнению с сопротивлением кольца.



О-178. При решении задачи О-178 было показано, что разность потенциалов между точками A и B равна нулю. Возникнет ли разность потенциалов между этими точками, если соединить их проводником?

Колебательный контур. Свободные электромагнитные колебания. Вынужденные электромагнитные колебания. Переменный ток. Действующие значения силы тока и напряжения. *Конденсатор и катушка в цепи переменного тока. Активное сопротивление. Электрический резонанс. Трансформатор.* Производство, передача и потребление электрической энергии.

Электромагнитное поле. *Вихревое электрическое поле.* Скорость электромагнитных волн. Свойства электромагнитных волн. *Принципы радиосвязи и телевидения.*

Свет как электромагнитная волна. Скорость света. Интерференция света. *Когерентность.* Дифракция света. Дифракционная решетка. *Поляризация света.* Законы отражения и преломления света. Полное внутреннее отражение. Дисперсия света. Различные виды электромагнитных излучений, их свойства и практическое применение. Формула тонкой линзы. Оптические приборы. *Разрешающая способность оптических приборов.*

Постулаты специальной теории относительности Эйнштейна. *Пространство и время в специальной теории относительности.* Полная энергия. Энергия покоя. Релятивистский импульс. *Связь полной энергии с импульсом и массой тела.*

34. СВОБОДНЫЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ КОЛЕБАНИЯ. ПЕРЕМЕННЫЙ ТОК

$$T = 2\pi\sqrt{LC},\ I = \frac{I_m}{\sqrt{2}},\ U = \frac{U_m}{\sqrt{2}}$$

Пример решения задачи

Катушка индуктивностью 31 мГн присоединена к плоскому конденсатору с площадью каждой пластины 20 см^2 и расстоянием между ними 1 см. Чему равна диэлектрическая проницаемость среды, заполняющей пространство между пластинами, если амплитуда силы тока в контуре 0,2 мА и амплитуда напряжения 10 В?

Решение. Согласно закону сохранения энергии $\frac{CU_m^2}{2} = \frac{LI_m^2}{2}$. Отсюда получаем $C = L\frac{I_m^2}{U_m^2}$. С другой стороны, емкость плоского конденсатора $C = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon S}{d}$. Из последних двух формул получаем $\frac{\varepsilon_0 \varepsilon S}{d} = L\frac{I_m^2}{U_m^2}$, откуда $\varepsilon = L\frac{I_m^2}{U_m^2}\frac{d}{S\varepsilon_0}$.

Проверка единиц величин:

$$[\varepsilon] = \text{Гн}\frac{\text{А}^2}{\text{В}^2}\frac{\text{м}}{\text{м}^2 \cdot \text{Ф/м}} = \frac{\text{В} \cdot \text{с}}{\text{А}}\frac{\text{А}^2}{\text{В}^2}\frac{\text{В}}{\text{Кл}} = \frac{\text{А} \cdot \text{с}}{\text{А} \cdot \text{с}} = 1.$$

Вычисляем диэлектрическую проницаемость среды:

$$\varepsilon = \frac{31 \cdot 10^{-3} \cdot 4 \cdot 10^{-8}}{100}\frac{10^{-2}}{20 \cdot 10^{-4} \cdot 8{,}85 \cdot 10^{-12}} = 7.$$

Ответ: 7.

Средний уровень

Решите устно

34.1. Могут ли в контуре, состоящем из конденсатора и резистора, возникать свободные колебания? Почему?

34.2. Как изменится период электромагнитных колебаний в колебательном контуре, если электроемкость конденсатора увеличить в два раза?

34.3. Как изменится период электромагнитных колебаний в колебательном контуре, если индуктивность катушки уменьшить в четыре раза?

34.4. Как изменится период электромагнитных колебаний в колебательном контуре, если в его катушку ввести железный сердечник?

34.5. Как изменится период электромагнитных колебаний в колебательном контуре, если увеличить расстояние между пластинами конденсатора?

34.6. Почему мы не замечаем мерцания лампочек, включенных в осветительную сеть переменного тока?

34.7. Почему не применяют для освещения переменный ток с частотой 10—15 Гц?

34.8. Каково главное преимущество переменного тока перед постоянным?

Решите и запишите

34.9. Чему равен период собственных колебаний в колебательном контуре, если его индуктивность равна 2,5 мГн и электроемкость — 1,5 мкФ?

34.10. Колебательный контур состоит из катушки с индуктивностью 2 мГн и конденсатора электроемкостью 888 пФ. На какую частоту настроен контур?

34.11. Определите период и частоту собственных колебаний в колебательном контуре при емкости конденсатора 2,2 мкФ и индуктивности катушки 0,65 мГн.

34.12. Какую индуктивность надо включить в колебательный контур, чтобы при электроемкости конденсатора 2 мкФ получить колебания с периодом 1 мс?

34.13. Период собственных колебаний в колебательном контуре равен 0,25 мкс. Какова электроемкость конденсатора в этом контуре, если катушка контура имеет индуктивность 2 мкГн?

34.14. Напряжение в сети, измеренное вольтметром, 120 В. Каково максимальное значение напряжения в сети?

34.15. Амперметр переменного тока показывает 15 А. Каково максимальное значение силы тока в цепи?

Достаточный уровень

Решите устно

34.16. Будут ли происходить электрические колебания в контуре, если сообщить энергию катушке индуктивности, а не конденсатору? Почему?

34.17. Какие превращения энергии происходят при свободных незатухающих колебаниях в колебательном контуре?

34.18. Как изменится частота колебаний в контуре, если в два раза увеличить диэлектрическую проницаемость среды между пластинами конденсатора?

34.19. Какова энергия конденсатора в колебательном контуре в моменты максимумов тока в катушке в случае, когда сопротивление проводов ничтожно мало?

34.20. В чем проявляется аналогия между электромагнитными колебаниями в контуре и колебаниями математического маятника?

34.21. Электроплитку можно питать и постоянным, и переменным напряжением. Будет ли различие в накале спирали, если напряжение, измеренное вольтметром, в обоих случаях одинаково?

34.22. Напряжение зажигания неоновой лампы 150 В. Почему эта лампа горит в сети переменного тока с напряжением 127 В?

34.23. Почему жидкостные реостаты применяют только в цепях переменного тока?

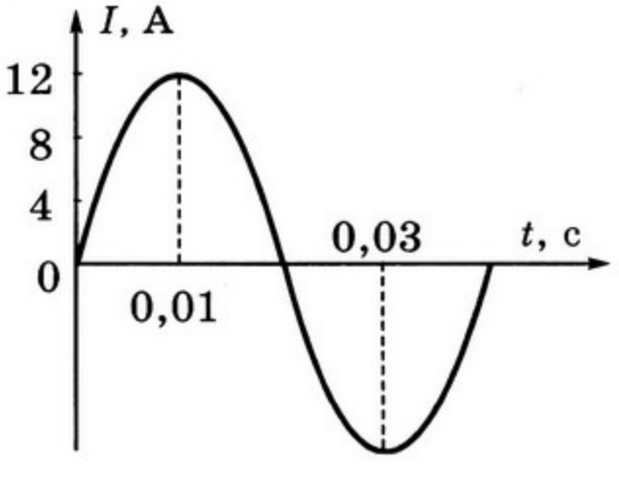
Решите и запишите

34.24. Плоский конденсатор состоит из двух круглых пластин диаметром 8 см. Между пластинами зажата стеклянная пластина толщиной 5 мм. Обкладки конденсатора замкнуты через катушку индуктивностью 0,02 Гн. Определите частоту колебаний, возникающих в этом контуре.

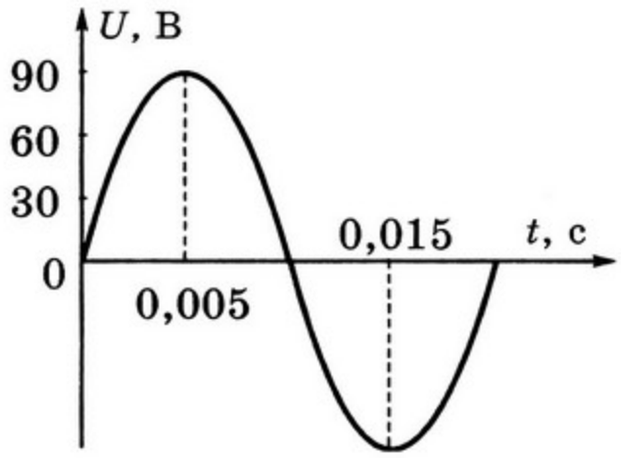
34.25. Батарею из двух одинаковых конденсаторов емкостью $C = 0{,}01$ мкФ каждый заряжают от источника постоянного напряжения и подключают к катушке индуктивностью $L = 8$ мкГн. Найдите период T и частоту ν возникающих в контуре электромагнитных колебаний, если конденсаторы в батарее соединены: а) последовательно; б) параллельно.

34.26. В колебательном контуре, настроенном на частоту 20 МГц, имеется катушка индуктивности 10^{-6} Гн и плоский слюдяной конденсатор с площадью пластины 20 см^2. Определите толщину слюды, если ее диэлектрическая проницаемость равна 6.

34.27. По графику, изображенному на рисунке, определите амплитуду силы тока, период и частоту. Напишите уравнение мгновенного значения силы переменного тока.



34.28. По графику, изображенному на рисунке, определите амплитуду напряжения и период колебания. Запишите уравнение мгновенного значения напряжения.



34.29. Значение силы тока, измеренное в амперах, задано уравнением $i = 0{,}28 \sin 50\pi t$, где t выражено в секундах. Определите амплитуду силы тока, частоту и период. Постройте график $i(t)$.

34.30. Значение напряжения, измеренное в вольтах, задано уравнением $u = 120 \cos 40\pi t$, где t выражено в секундах. Чему равна амплитуда напряжения, период и частота? Постройте график $u(t)$.

Высокий уровень

Решите устно

34.31. Почему колебания в колебательном контуре не прекращаются в тот момент, когда заряд конденсатора становится равным нулю?

34.32. Чем отличаются друг от друга свободные колебания в двух колебательных контурах с одинаковыми параметрами, если конденсаторы контуров были заряжены от батарей с неодинаковой ЭДС?

34.33. Где сосредоточена энергия при свободных колебаниях в колебательном контуре через 1/8, 1/4, 1/2, 3/4 периода после начала разряда конденсатора?

34.34. Совпадают ли по фазе напряжение на обкладках конденсатора и ток в колебательном контуре?

34.35. Энергия магнитного поля катушки колебательного контура во время свободных колебаний изменяется с частотой 100 кГц. Какова частота колебаний?

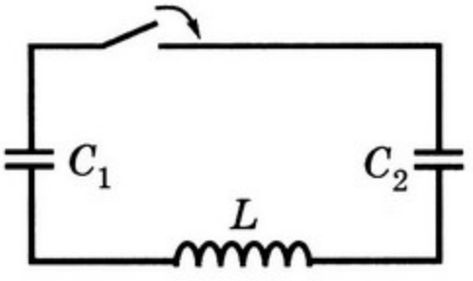
34.36. Можно ли измерять чувствительным электрометром напряжение в цепи переменного тока?

34.37. Почему в качестве частоты переменного напряжения используется частота 50 Гц?

Решите и запишите

34.38. Колебательный контур состоит из катушки с индуктивностью 3 мГн и плоского конденсатора в виде двух дисков радиусом 1,2 см, расположенных на расстоянии 0,3 мм друг от друга. Найдите период T электромагнитных колебаний контура. Каков будет период T_1 колебаний, если конденсатор заполнить веществом с диэлектрической проницаемостью 4?

34.39. Конденсатор емкостью C_1 заряжен до напряжения U_1, а конденсатор емкостью C_2 не заряжен (см. рисунок). Каким будет максимальное значение $I_м$ силы тока в катушке индуктивностью L после замыкания ключа? Конденсаторы и катушку считайте идеальными.

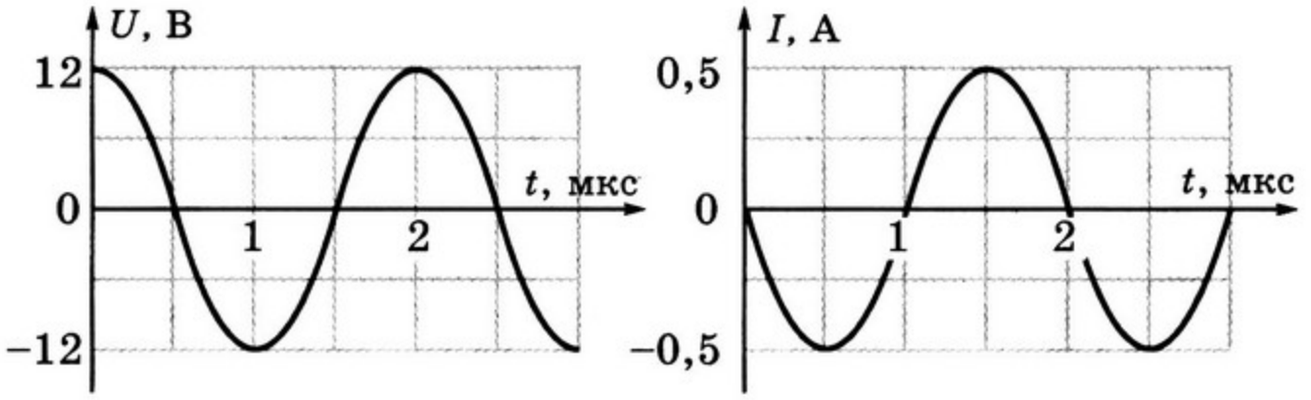


34.40. Ток в колебательном контуре изменяется со временем по закону $i = 0{,}01 \cos 1000t$. Найдите индуктивность контура, зная, что емкость его конденсатора равна $2 \cdot 10^{-5}$ Ф.

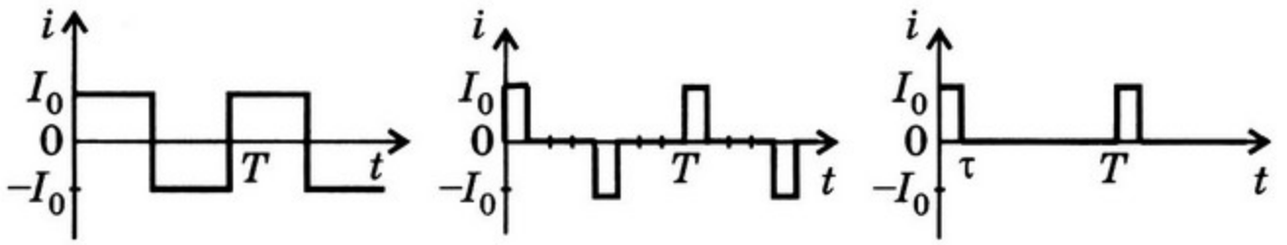
34.41. В колебательном контуре зависимость силы тока от времени описывается уравнением $i = 0{,}06 \sin 10^6 \pi t$. Определите частоту электромагнитных колебаний и индуктивность катушки, если максимальная энергия магнитного поля — $1{,}8 \cdot 10^{-4}$ Дж.

34.42. Заряд на обкладках конденсатора колебательного контура изменяется по закону $q = 3 \cdot 10^{-7} \cos 800\pi t$. Индуктивность контура равна 2 Гн. Пренебрегая активным сопротивлением, найдите электроемкость конденсатора и максимальные значения энергии электрического поля конденсатора и магнитного поля катушки индуктивности.

34.43. На рисунках приведены графики изменений напряжения на конденсаторе колебательного контура и силы тока в катушке этого контура. Найдите емкость конденсатора и индуктивность катушки контура.



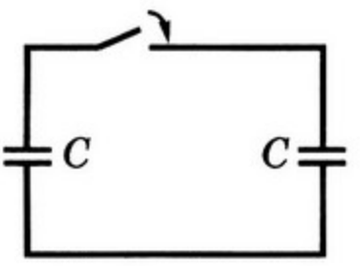
34.44. Найдите действующее значение I переменного тока (см. рис. *а*, *б*, *в*).



а *б* *в*

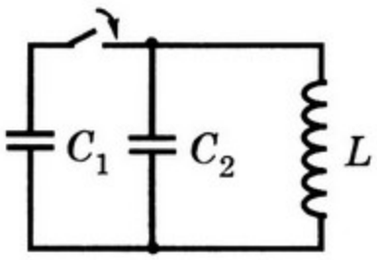
Олимпиадные задачи

О-179. Один из двух одинаковых конденсаторов (см. рисунок) заряжен до напряжения U_0, а другой — не заряжен. Какое напряжение U установится на конденсаторах после замыкания ключа? Как согласуется этот результат с законом сохранения энергии? Рассмотрите, в частности, случай, когда соединительные провода являются сверхпроводящими.



О-180. В цепи (см. рисунок) $C_1 = C_2 = C$. До замыкания ключа напряжение на первом конденсаторе равно U_1,

а второй конденсатор не заряжен. Найдите максимальное значение $I_м$ силы тока через катушку с индуктивностью L после замыкания ключа. Сопротивлением катушки можно пренебречь.



О-181. Неоновая лампа с напряжением зажигания $U_з$ = = 156 В включена в сеть 220 В, 50 Гц. Найдите частоту n вспышек лампы. В течение какой части периода лампа горит? Напряжение гашения лампы считайте равным напряжению зажигания.

35. ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ ПОЛЕ. ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ВОЛНЫ

Пример решения задачи

Максимальное значение напряжения на конденсаторе входного колебательного контура равно 20 мВ, а максимальное значение силы тока в контуре — 8 А. На какой длине волны работает радиоприемник, если емкость конденсатора равна 2000 пФ?

Дано:

$U_m = 20$ мВ

$I_m = 8$ мА

$C = 2000$ пФ

$c = 3 \cdot 10^8$ м/с

$\lambda - ?$

Решение.

Согласно закону сохранения энергии максимальная энергия электрического поля конденсатора равна максимальной энергии магнитного поля катушки:

$$\frac{CU_m^2}{2} = \frac{LI_m^2}{2}.$$

Отсюда $L = \dfrac{CU_m^2}{I_m^2}$. Длина принимаемых радиоволн

$$\lambda = cT = 2\pi c\sqrt{LC}.$$

Подставив значение L, получим

$$\lambda = \frac{2\pi cCU_m}{I_m}.$$

Проверка единиц величин:

$$[\lambda] = \frac{\text{м} \cdot \Phi \cdot \text{В}}{\text{с} \cdot \text{А}} = \frac{\text{м} \cdot \text{Кл} \cdot \text{В}}{\text{с} \cdot \text{В} \cdot \text{А}} = \frac{\text{м} \cdot \text{А} \cdot \text{с} \cdot \text{В}}{\text{с} \cdot \text{В} \cdot \text{А}} = \text{м}.$$

Вычисляем длину волны:

$$\lambda = \frac{2 \cdot 3{,}14 \cdot 3 \cdot 10^8 \cdot 2000 \cdot 10^{-12} \cdot 20 \cdot 10^{-3}}{8 \cdot 10^{-3}} = 9{,}4 \text{ (м)}.$$

Ответ. 9,4 м.

Средний уровень

Решите устно

35.1. Как должна двигаться заряженная частица, чтобы она излучала электромагнитные волны?

35.2. Почему закрытый колебательный контур плохо излучает электромагнитные волны?

35.3. Во время каких природных явлений образуются и излучаются электромагнитные волны?

35.4. Как ориентированы векторы $\vec{E}$ и $\vec{B}$ по отношению друг к другу в электромагнитной волне?

35.5. Перечислите основные свойства электромагнитных волн.

35.6. Какие факты свидетельствуют о переносе энергии электромагнитными волнами?

35.7. Можно ли, превратив звуковые колебания в электрические, подавать их в антенну и таким образом осуществить передачу по радио речи или музыки?

35.8. Почему нельзя принятые и усиленные электромагнитные колебания подавать сразу в динамик?

35.9. В чем отличие радиовещания от радиотелефонной связи?

35.10. Почему для радиолокации используют электромагнитные волны с очень малой длиной?

Решите и запишите

35.11. На какой частоте работает радиостанция, передающая сообщения на волне 250 м?

35.12. Радиостанция работает на частоте 60 МГц. На какую длину волны должен быть настроен радиоприемник?

35.13. В некоторой однородной среде электромагнитные волны распространяются со скоростью $2 \cdot 10^8$ м/с. Определите длину волны электромагнитных колебаний в этой среде, если их частота равна 2 МГц.

35.14. Электромагнитные колебания частотой 1 МГц возбуждают в некоторой однородной среде электромагнитные волны с длиной волны 200 м. Чему равна скорость волн в этой среде? Определите длину волн от этого же источника в вакууме.

35.15. Сигнал радиолокатора возвратился от цели через 0,4 мс. На каком расстоянии находится цель?

35.16. Спутниковые телефоны передают сигналы через спутник, «висящий» на высоте 36 000 км над Землей. Какой будет минимальная задержка сигнала при использовании таких телефонов?

Достаточный уровень

Решите устно

35.17. Почему утверждение о том, что в данной точке пространства существует только электрическое или только магнитное поле, не является вполне определенным?

35.18. Можно ли выбрать систему отсчета, в которой электронный луч в кинескопе телевизора не создает электрического поля? магнитного поля?

35.19. Можно ли выбрать систему отсчета, в которой прямолинейный участок провода с постоянным током не создает магнитного поля?

35.20. Почему переменный ток в осветительной сети практически не излучает электромагнитные волны?

35.21. Зависит ли качество радиоприема от погоды?

35.22. Почему зимой и ночью радиоприем лучше, чем летом и днем?

35.23. В диапазоне дециметровых волн часто легче связаться с другим континентом, чем с соседней областью. Почему?

35.24. Летчик самолета на экране радиолокатора хорошо отличает сушу от водоемов. Чем это можно объяснить?

35.25. Почему даже далекая гроза существенно сказывается на качестве радиосвязи?

35.26. Радиоволна отражается от металлической крыши. Как при этом изменяются длина волны и ее частота?

Решите и запишите

35.27. Передатчик излучает электромагнитную волну с длиной $\lambda = 300$ м. Сколько электромагнитных колебаний происходит в течение одного периода звуковых колебаний с частотой $\nu = 500$ Гц?

35.28. Колебательный контур радиоприемника настроен на частоту $\nu = 6$ МГц. Во сколько раз нужно изменить емкость конденсатора, чтобы настроиться на длину волны $\lambda = 150$ м?

35.29. В некоторой точке пространства индукция магнитного поля электромагнитной волны изменяется от нуля до максимального значения за 1,5 мкс. Чему равна длина волны?

35.30. Длина радиоволны в вакууме равна 120 м. За какое время напряженность электрического поля волны уменьшится от максимума до нуля?

35.31. Колебательный контур радиоприемника настроен на длину волны 300 м. Катушка индуктивности в контуре обладает индуктивностью 100 мкГн. Найдите электроемкость конденсатора в контуре.

35.32. Радиолокатор излучает высокочастотные импульсы длительностью 10 мкс. Какова наименьшая дальность обнаружения цели этим радиолокатором?

35.33. Частота следования импульсов, посылаемых радиолокатором, 1,5 кГц. Длительность импульса 1 мкс. Каковы наибольшее и наименьшее расстояния, на которых локатор может обнаружить цель?

35.34. Радиолокатор работает на волне 15 см и дает 2000 импульсов в секунду. Длительность каждого импульса 2 мкс. Сколько колебаний содержится в каждом импульсе и какова наибольшая дальность работы локатора?

35.35. Что нужно делать для приема более коротких волн — сближать или раздвигать пластины конденсатора, включенного в колебательный контур приемника? Увеличивать или уменьшать площадь перекрытия пластин в конденсаторе переменной емкости?

Высокий уровень

Решите устно

35.36. Зависит ли скорость распространения электромагнитных волн в вакууме от: а) частоты колебаний; б) амплитуды полей; в) направления распространения волн? Ответ объясните.

35.37. Электромагнитная волна из вакуума попадает в диэлектрик с диэлектрической постоянной ε. Какие характеристики волны изменяются при этом и каким образом?

35.38. Почему при радиосвязи колебания высокой частоты называют несущими?

35.39. Почему телефонные наушники не реагируют на высокочастотные волны?

35.40. Почему затруднена радиосвязь на коротких волнах в горной местности?

35.41. Почему дальность действия передающей телевизионной станции ограничена линией горизонта? Почему башни телецентров строят очень высокими?

35.42. Почему увеличение дальности радиолокации в 2 раза требует увеличения мощности радиопередатчика в 4 раза?

Решите и запишите

35.43. Емкость конденсатора колебательного контура радиоприемника можно изменять от C_1 до $C_2 > C_1$. Какой комплект сменных катушек следует взять, что-

бы диапазон длин волн, на которые можно настраивать приемник, был как можно более широким и не содержал «просветов»? Какова верхняя граница λ_{max} этого диапазона, если его нижняя граница λ_{min}, а комплект состоит из N катушек?

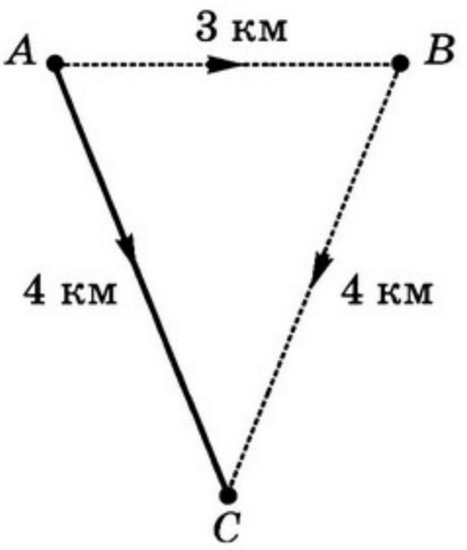
35.44. Емкость конденсатора колебательного контура радиоприемника можно изменять от $C_1 = 56$ пФ до $C_2 = 670$ пФ. Сколько сменных катушек надо иметь, чтобы радиоприемник можно было настраивать на любые радиостанции, работающие в диапазоне длин волн от $\lambda_1 = 40$ м до $\lambda_2 = 2600$ м?

35.45. Антенна корабельного радиолокатора находится на высоте $h = 25$ м над уровнем моря. На каком максимальном расстоянии s_{max} радиолокатор может обнаружить спасательный плот? С какой частотой n могут при этом испускаться импульсы?

35.46. Радиолокатор работает на волне $\lambda = 5$ см и испускает импульсы длительностью $\tau = 1{,}5$ мкс. Сколько колебаний содержится в каждом импульсе? Какова минимальная дальность s_{min} обнаружения цели?

35.47. Почему увеличение дальности радиосвязи с космическими кораблями в три раза требует увеличения мощности передатчика в 9 раз? Во сколько раз следует увеличить мощность передатчика для увеличения дальности *радиолокации* в три раза? Поглощение энергии при распространении радиоволн не учитывайте.

35.48. Антенна телевизора (точка C на рисунке) принимает, наряду с волной от телецентра (точка A), волну, отраженную от железной крыши (точка B). В результате изображение на экране двоится. На сколько сдвинуты получаемые изображения относительно друг друга? Ширина экрана телевизора $l = 50$ см; кадры на экране сменяются с частотой $n = 25$ с$^{-1}$, изображение состоит из $N = 625$ строк.



35.49. В некоторых системах цветного телевидения нужно «задержать» телевизионный сигнал на время, в течение которого электронный луч «нарисует» на экране телевизора одну строку. Каково время задержки, если кадры на экране телевизора сменяются с частотой 25 $с^{-1}$, а изображение состоит из 625 строк?

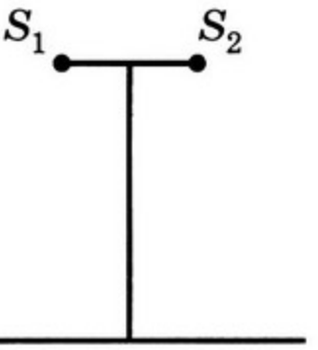
35.50. Определите скорость перемещения светящегося пятна по экрану трубки в телевизоре, если известно, что в течение 0,04 с луч создает на экране одно изображение, прочерчивая 625 горизонтальных строк длиной по 28 см каждая. Временем обратного хода луча можно пренебречь.

36. ВОЛНОВЫЕ СВОЙСТВА СВЕТА

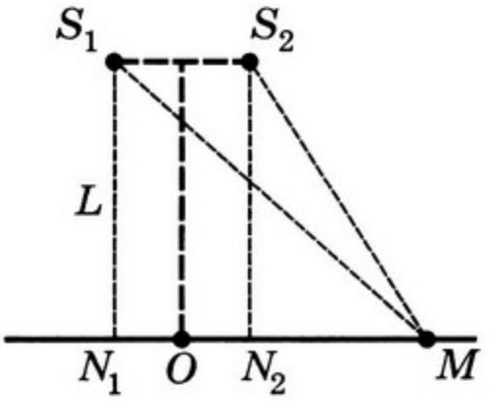
$\Delta d = k\lambda$ — максимум интерференционной картины,
$\Delta d = (2k+1)\lambda/2$ — минимум $(k = 0,\ 1,\ 2,\ 3,\ \ldots)$

Пример решения задачи

На расстоянии $L = 2$ м от экрана находятся два когерентных источника S_1 и S_2 света с длиной волны $\lambda = 500$ нм (см. рисунок). Расстояние между источниками $S_1S_2 = 0{,}5$ мм. Каково расстояние x между ближайшими максимумами освещенности на экране?



Решение. Будем для простоты считать, что волны излучаются с одинаковыми фазами. Тогда в равноудаленной от источников точке O будет максимум освещенности, а в точке M следующего максимума (см. рисунок) разность хода волн равна длине волны λ.



Поскольку $MN_1 = x + s$ и $MN_2 = x - s$, где $s = S_1S_2/2$ и $x = OM$, получаем $\sqrt{L^2 + (x+s)^2} - \sqrt{L^2 + (x-s)^2} = \lambda$. Воспользовавшись малостью x и s по сравнению с L, можно упростить последнее уравнение. Помножив и разделив его левую часть на «сопряженное» выражение $\sqrt{L^2 + (x+s)^2} + \sqrt{L^2 + (x-s)^2}$, приближенно равное $2L$, находим $x = \dfrac{\lambda L}{2s} = \dfrac{\lambda L}{S_1S_2}$.

Отсюда $x = \dfrac{500 \cdot 10^{-9} \cdot 2}{0{,}5 \cdot 10^{-3}} = 2 \cdot 10^{-3}$ (м).

Ответ. 2 мм.

Средний уровень

Решите устно

36.1. Какие свойства света подтверждает явление интерференции?

36.2. Благодаря какому явлению при освещении белым светом мыльного пузыря мы видим радужные пятна?

36.3. Почему возникают радужные полосы в тонком слое керосина, плавающего на поверхности воды?

36.4. Почему крылья стрекоз имеют радужную окраску?

36.5. Могут ли интерферировать световые волны, идущие от двух электрических лампочек?

36.6. Свет переходит из стекла в вакуум. Как изменяется частота световой волны?

36.7. Свет переходит из воздуха в воду. Как изменяется длина волны света?

36.8. Чем объяснить радужную окраску дисков для лазерных проигрывателей?

36.9. Для изготовления искусственных перламутровых пуговиц на их поверхности нарезают мельчайшую штриховку. Почему после этого пуговицы приобретают радужную окраску?

36.10. Почему дифракция звуковых волн более очевидна в повседневном опыте, чем дифракция световых волн?

36.11. Если в театре встать за колонной, то артиста не видно, а голос его слышно. Почему?

36.12. Почему радиоволны огибают здания, а световые волны, также являющиеся электромагнитными, нет?

Решите и запишите

36.13. В некоторую точку пространства приходят световые пучки когерентного излучения с оптической разностью хода 6 мкм. Определите, усиление или ослабление света про-

изойдет в этой точке, если длина волны равна: а) 500 нм; б) 480 нм.

36.14. Две когерентные световые волны приходят в центр экрана с разностью хода 0,9 мкм. Какой может быть длина волн, если в центре экрана виден интерференционный максимум?

36.15. Два когерентных луча с длинами волн 404 нм пересекаются в одной точке на экране. Что будет наблюдаться в этой точке — усиление или ослабление света, если оптическая разность хода лучей равна 17,17 мкм?

36.16. Два точечных источника когерентного видимого света с длиной волны 450 нм освещают лист бумаги. Какой может быть разность хода световых волн от этих источников до точки на листе, в которой наблюдается интерференционный минимум?

36.17. Частота когерентных световых волн от источников A и B равна $6 \cdot 10^{14}$ Гц. Каков результат интерференции света в точке отрезка AB, отстоящей на 0,25 мкм от середины этого отрезка?

36.18. Найдите наибольший порядок спектра красной линии лития с длиной волны 671 нм, если период дифракционной решетки 0,01 мм.

36.19. Дифракционная решетка имеет 50 штрихов на миллиметр. Под каким углом виден максимум первого порядка монохроматического излучения с длиной волны 400 нм?

36.20. Определите длину световой волны, если в дифракционном спектре максимум второго порядка возникает при оптической разности хода волн 1,15 мкм.

Достаточный уровень

Решите устно

36.21. Почему интерференционная окраска одного и того же места поверхности мыльного пузыря постоянно меняется?

36.22. Возможно ли получить когерентные световые волны от одного источника?

36.23. После удара камнем по прозрачному льду возникают трещины, переливающиеся всеми цветами радуги. Почему?

36.24. В каком свете кольца Ньютона видны более отчетливо — в отраженном или в проходящем?

36.25. Можно ли создать оптический микроскоп, позволяющий разглядеть атомы?

36.26. Если, прищурив глаз, смотреть на нить лампочки накаливания, то нить кажется окаймленной светлыми бликами. Почему?

36.27. Говорят, что дифракция — это огибание светом контуров непрозрачных предметов. Как физически понимать такое явление — огибание? Можно ли толковать его как искривление прямолинейной траектории распространения света?

36.28. Как изменяется картина дифракционного спектра при удалении экрана от решетки?

36.29. Посмотрите на нить электрической лампы через птичье перышко, батистовый платок или капроновую ткань. Что вы наблюдаете? Объясните явление.

36.30. В куске картона сделайте иглой отверстие и посмотрите через него на раскаленную нить электрической лампы. Что вы видите? Объясните свой ответ.

Решите и запишите

36.31. Два когерентных источника испускают монохроматический свет с длиной волны 0,6 мкм. Определите, на каком расстоянии от точки, расположенной на экране на равном расстоянии от источников, будет первый максимум освещенности. Экран удален от источников на 3 м, расстояние между источниками 0,5 мм.

36.32. В установке Юнга расстояние между щелями 1,5 мм, а экран расположен на расстоянии 2 м от щелей. Определите расстояние между интерференционными полосами на экране, если длина волны монохроматического света равна 670 нм.

36.33. Два когерентных источника света расположены один от другого на расстоянии 0,5 мм так, что линия, их соединяющая, параллельна плоскости экрана и удалена от него на 2 м. Свет какой длины волны посылают источники на экран, если расстояние между соседними максимумами освещенности равно 2,4 мм?

36.34. Монохроматический свет падает нормально на дифракционную решетку, имеющую 500 штрихов на миллиметр. Каков наибольший порядок наблюдаемого спектра k_{max}, если длина волны света $\lambda = 520$ нм?

36.35. На дифракционную решетку с периодом $d = 14$ мкм падает нормально монохроматическая световая волна. При этом расстояние s на экране между максимумами второго и третьего порядка равно 8,7 см. Какова длина волны λ падающего света, если расстояние от решетки до экрана $L = 2{,}0$ м?

36.36. На дифракционную решетку с периодом $d = 4{,}0$ мкм падает нормально свет, пропущенный через светофильтр. Полоса пропускания светофильтра — от $\lambda_1 = 500$ нм до $\lambda_2 = 550$ нм. Будут ли спектры разных порядков перекрывать друг друга?

Высокий уровень

Решите устно

36.37. Известно, что световые волны, как всякие другие, несут энергию. Что же происходит с энергией на тех участках, где при наложении когерентные волны взаимно гасятся? Нет ли при этом перехода энергии видимого излучения в другие формы энергии?

36.38. Цвета тонких пленок (например, пленки бензина на воде) часто называют «радужными». Но действительно ли эти цвета являются такими же чистыми спектральными цветами, как цвета радуги?

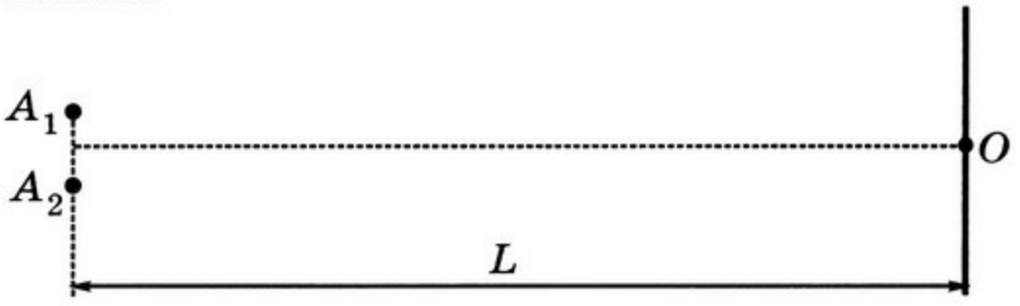
36.39. При помощи зеркал Френеля получили на экране интерференционные полосы. Что будет видно на экране, если: а) одно из зеркал накрыть плотной бумагой; б) источники света сначала прикрыть красным, а потом фиолетовым стеклом?

36.40. Чем отличаются и в чем сходны картины интерференции и дифракции?

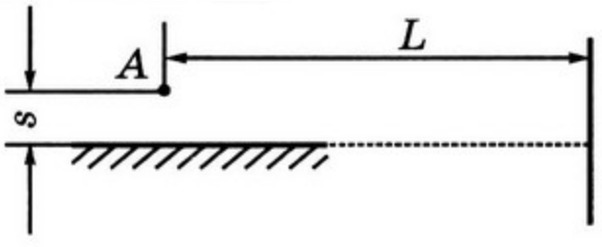
36.41. Если нанести на стеклянную пластину тонкий слой чистого спирта, то можно увидеть в пластине изображение горящей электрической лампочки. Вскоре слой спирта приобретает легкую радужную окраску. Объясните это явление. Почему радужная окраска появляется не сразу, а через некоторое время?

36.42. Почему интерференционная окраска наблюдается только у достаточно тонких пленок?

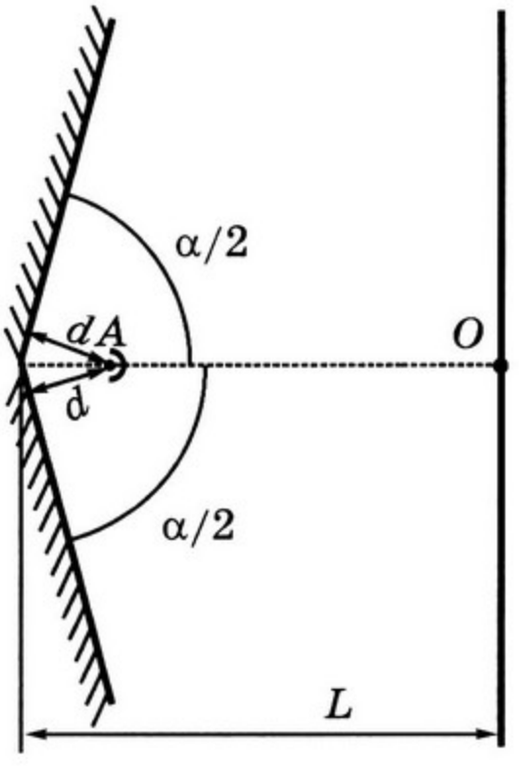
36.43. Два когерентных источника монохроматического света с длиной волны $\lambda = 600$ нм находятся на расстоянии $A_1A_2 = 1$ мм друг от друга и на одинаковом расстоянии $L = 3$ м от экрана (см. рисунок). Каково расстояние x между ближайшими максимумами освещенности (серединами светлых полос) на экране? Будет ли наблюдаться максимум освещенности в точке O, равноудаленной от обоих источников?



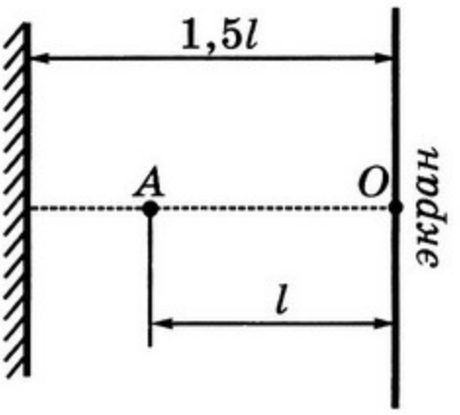
36.44. Точечный источник монохроматического света находится на расстоянии $s = 1$ мм от большого плоского зеркала и на расстоянии $L = 4$ м от экрана, перпендикулярного зеркалу (см. рисунок). Каково расстояние x между соседними максимумами освещенности на экране, если длина волны света $\lambda = 600$ нм?



36.45. Два плоских зеркала образуют двугранный угол $\alpha = 179{,}5°$ (см. рисунок). На одинаковых расстояниях $d = 10$ см от каждого из зеркал расположен точечный источник A монохроматического света с длиной волны $\lambda = 600$ нм. Найдите расстояние x между серединами соседних светлых интерференционных полос на экране, расположенном на расстоянии $L = 3$ м от линии пересечения зеркал. Свет непосредственно от источника на экран не попадает.



36.46. Точечный источник A монохроматического света с длиной волны $\lambda = 500$ нм расположен на расстоянии $l = 50$ см от экрана, а на расстоянии $1{,}5l$ от экрана находится параллельное экрану плоское зеркало (см. рисунок). Какой вид имеет интерференционная картина на экране? Темная или светлая интерференционная полоса проходит на расстоянии $R = 2$ мм от точки O?



36.47. На дифракционную решетку с периодом $d = 2$ мкм падает нормально свет с длиной волны $\lambda = 500$ нм. За решеткой расположена собирающая линза с фокусным расстоянием $F = 50$ см. Где нужно разместить экран, чтобы получить на нем четкий дифракционный спектр? Каково расстояние s на экране между спектром третьего порядка и центральным максимумом?

36.48. Свет, имеющий длину волны λ, падает наклонно на дифракционную решетку с периодом d. Угол падения равен α. Какой вид имеет в этом случае формула дифракционной решетки?

Олимпиадные задачи

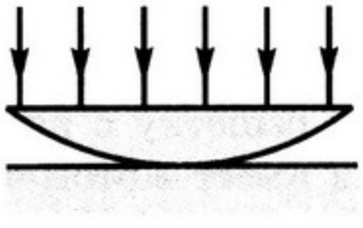
О-182. Лучи белого света падают наклонно на тонкую прозрачную пластинку. При этом максимум отражения наблюдается в зеленой части спектра. В сторону какого конца спектра сместится максимум отражения при небольшом уменьшении угла падения лучей? при увеличении угла?

О-183. Белый свет падает нормально на поверхность мыльной пленки с показателем преломления $n = 1{,}33$. Отраженный свет пропускают через светофильтр с узкой поло-

сой пропускания. Используя поочередно различные светофильтры, наблюдают зависимость коэффициента отражения света от длины волны: при $\lambda_1 = 630$ нм — максимум, а при $\lambda_2 = 525$ нм — ближайший к нему минимум. Какова толщина пленки d?

О-184. Собирающая линза с фокусным расстоянием $F = 10$ см разрезана по диаметру, и части линзы раздвинуты на расстояние $h = 0{,}5$ мм. Перед линзой на расстоянии $d = 15$ см находится точечный источник монохроматического света с длиной волны $\lambda = 500$ нм. Оцените число N светлых интерференционных полос на экране, расположенном за линзой на расстоянии $L = 60$ см. Промежуток между частями линзы закрыт непрозрачной перегородкой.

О-185. *Кольца Ньютона.* Плоско-выпуклая линза с радиусом кривизны выпуклой стороны $R = 1$ м лежит на плоской стеклянной пластине (см. рисунок). Систему освещают сверху монохроматическим светом с длиной волны $\lambda = 500$ нм. При наблюдении сверху (в отраженном свете) видно круглое темное пятно, окруженное концентрическими светлыми и темными кольцами. Объясните это явление. Определите радиус r_3 третьего темного кольца.



37. ЦВЕТ. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ СВЕТА С ВЕЩЕСТВОМ

Пример решения задачи

Могут ли две разноцветные световые волны, например красного и зеленого излучений, иметь одинаковые длины волн? Если могут, то при каких условиях?

Решение. Могут. Цвет световой волны зависит от ее частоты, а не от длины волны. Так как длина волны красного цвета $\lambda_{кр}$ больше, чем длина волны $\lambda_з$ зеленого цвета, то, если пропустить красное излучение через прозрачную среду с оптической плотностью, превышающей оптическую плотность воздуха, можно получить, что $\lambda_{кр} = n\lambda'_{кр}$, где n — показатель преломления среды, а $\lambda'_{кр}$ — длина волны красного цвета в этой среде. По условию задачи требуется, чтобы $\lambda_з = \lambda'_{кр}$. Отсюда следует, что $\lambda_{кр} = n\lambda'_з$. Тогда $n = \dfrac{\lambda_{кр}}{\lambda_з}$, откуда $n = \dfrac{760\text{ нм}}{570\text{ нм}} = 1{,}33$. Длина волны красного цвета в воде равна длине волны зеленого цвета в воздухе.

Средний уровень

Решите устно

37.1. Чем определяется цвет, видимый глазом, — длиной волны или частотой?

37.2. Одинакова ли скорость распространения красного и фиолетового излучений в вакууме? в воде? Объясните.

37.3. Как глаз различает цвета?

37.4. Чем обусловлена окраска предметов?

37.5. Каким будет казаться цвет зеленых листьев, если смотреть на них через красное стекло?

37.6. Рисунок сделан зеленым фломастером на белом листе бумаги. При каком освещении рисунок становится практически невидимым?

37.7. Белый луч света падает на боковую грань призмы под углом 0°. Получим ли на экране спектр?

37.8. Сколько цветов на экране телевизора и дисплее компьютера?

Решите и запишите

37.9. Световая волна с частотой $7{,}2 \cdot 10^{14}$ Гц при распространении в прозрачной среде имеет длину волны 312,5 нм. Какова скорость света в этой среде?

37.10. Световая волна с частотой $4{,}8 \cdot 10^{14}$ Гц распространяется в стекле. Какова длина волны?

37.11. Показатель преломления воды для красного света 1,331, а для фиолетового — 1,343. Найдите скорость распространения этих световых волн в воде.

37.12. В глаз человека проникает электромагнитное излучение частотой $9{,}5 \cdot 10^{14}$ Гц. Воспримет ли человек это излучение как свет? Какова длина волны этого излучения в вакууме?

37.13. Насколько изменится длина волны фиолетовых лучей с частотой колебаний $7{,}5 \cdot 10^{14}$ Гц при переходе из воды в вакуум, если скорость распространения таких лучей в воде равна $223 \cdot 10^6$ м/с?

37.14. Может ли произойти изменение длины волны света при переходе из одной среды в другую от 0,6 мкм до 0,4 мкм? Почему?

Достаточный уровень

Решите устно

37.15. Если бы Солнце излучало монохроматический свет, например красный, то какими бы казались разноцветные тела на Земле?

37.16. Объясните происхождение цвета синей бумаги, синего стекла, синего неба.

37.17. Как возникает радуга?

37.18. Почему небо голубое, а закат — красный?

37.19. Почему с Земли небо кажется голубым, а с Луны — черным?

37.20. Как формируется цветное изображение на экране телевизора?

37.21. Почему зимой в ясную погоду тени деревьев на снегу имеют голубоватый оттенок?

37.22. Можно ли увидеть предмет, глядя на него через два сложенных цветных стекла — зеленое и красное?

37.23. Почему виднеющийся на горизонте лес кажется не зеленым, а подернутым голубой дымкой?

37.24. Почему система цветного телевидения основана на применении трех цветов — красного, зеленого и синего?

Решите и запишите

37.25. Воду освещают зеленым светом, длина волны которого в воздухе равна 500 нм. Какова длина световой волны в воде? Какой цвет видит человек, открывший глаза под водой?

37.26. Вода освещена красным светом с длиной волны 728 нм. Какова длина волны этого света в воде? Какой цвет увидит человек, открывший глаза под водой? Какой цвет зафиксирует положенная в воду цветная позитивная фотопленка?

37.27. Показатель преломления для красного света в стекле равен 1,6444, а для фиолетового — 1,6852. Найдите разницу углов преломления в стекле данного сорта, если угол падения равен 80°.

37.28. В эталоне метра укладывается 1650763,73 длин волн оранжевых лучей, испускаемых атомами криптона-86 в вакууме. Какова частота колебаний этого излучения?

37.29. При переходе световых лучей из воды в вакуум длина их волны увеличилась на 0,12 мкм. Определите длины волн этих лучей в вакууме и в воде.

37.30. Определите скорость и длину волны желтого света в стекле с показателем преломления 1,56. Длина волны этого цвета в воздухе 589 нм.

Высокий уровень

Решите устно

37.31. Почему небо голубое, а Солнце кажется желтоватым?

37.32. Почему некоторые тела кажутся белыми, серыми и черными? Объясните.

37.33. Почему освещенный столб дыма на темном фоне кажется синеватым, а на фоне светлого неба — желтым или красноватым?

37.34. С одинаковой ли скоростью приходят к границам атмосферы Земли от Солнца волны красной и фиолетовой части

спектра? Одинакова ли их скорость в атмосфере и в любой иной среде?

37.35. Почему Солнце или Луна приобретают красный оттенок, когда находятся низко над горизонтом?

37.36. Чем обусловлен цвет прозрачных и непрозрачных тел, не являющихся самостоятельными источниками света?

37.37. Длина волны в воде уменьшается в n раз, где n — показатель преломления. Означает ли это, что ныряльщик не может видеть окружающие его тела в естественном свете?

37.38. Английский физик Рэлей обнаружил, что короткие волны рассеиваются на мелких неоднородностях среды значительно сильнее, чем длинные. Объясните, исходя из этого, голубой цвет неба.

37.39. В темноте наблюдают сигналы светофора. Одинаково ли кажущееся расстояние до светофора при красном, желтом, зеленом свете?

37.40. В цветном телевидении все цвета получаются в результате смешивания красного, синего и зеленого цветов в различных пропорциях. Как при таком смешивании получается желтый цвет и чем он отличается от желтого цвета в спектре радуги?

Решите и запишите

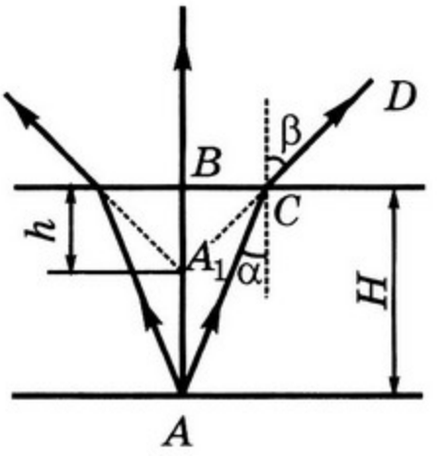
37.41. Какова приблизительно толщина пленки мыльного пузыря в местах, где он кажется голубым?

37.42. На мыльную пленку нормально падает белый свет. В отраженном свете она кажется синей. При какой наименьшей толщине пленки это возможно? Длина волны синего света в вакууме равна 480 нм. Считайте показатель преломления мыльной пленки равным показателю преломления воды.

Пример решения задачи

Если смотреть сверху на неглубокий водоем с чистой водой, глубина водоема кажется меньше, чем она в действительности. Во сколько раз?

Решение. Рассмотрим ход лучей, идущих из точки A на дне водоема. Эта точка (см. рисунок) рассеивает попадающие на нее солнечные лучи; узкий вертикальный пучок лучей (на рисунке он сильно расширен), преломившись на поверхности воды, создает мнимое изображение точки A в точке A_1.



Из соотношений $\operatorname{tg}\alpha = BC/H$, $\operatorname{tg}\beta = BC/h$ (здесь H и h — соответственно действительная и кажущаяся глубины водоема), используя закон преломления, получаем $h = H/n$ (мы учли, что синус и тангенс малого угла практически совпадают). Итак, из-за преломления света на поверхности воды глубина водоема кажется уменьшенной в $n = 1{,}33$ раза.

Ответ. В 1,33 раза.

Средний уровень

Решите устно

38.1. Каково условие применимости геометрической оптики?

38.2. Как влияют размеры источника света на ширину области полутени?

38.3. В какое время дня — утром, в полдень или вечером — размеры облака над поверхностью Земли наиболее близки к размерам самого облака?

38.4. На сколько изменится угол между падающим и отраженным лучами при повороте плоского зеркала на угол α?

38.5. Можно ли в плоском зеркале небольшого размера увидеть полное изображение большого здания?

38.6. Действительные или мнимые изображения деревьев, стоящих на берегу озера, дает водная гладь?

38.7. Почему в свете фар автомобиля лужа на асфальте кажется водителю темным пятном?

38.8. Каков физический смысл показателя преломления?

38.9. Почему изображение предмета в воде всегда менее ярко, чем сам предмет?

38.10. В каком случае угол преломления света больше угла падения?

38.11. Почему ложка, поставленная в стакан с водой, кажется изогнутой?

38.12. В тонкостенном стакане с водой ложечка кажется увеличенной. Почему?

38.13. Как при помощи солнечных лучей приблизительно определить фокусное расстояние собирающей линзы?

38.14. Как отличить собирающую линзу от рассеивающей, посмотрев сквозь них на предмет?

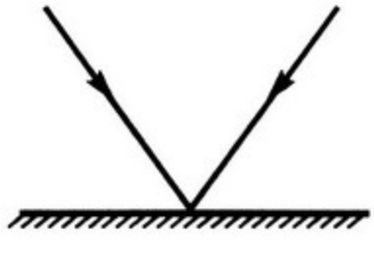
38.15. С каким оптическим прибором более всего сходен глаз?

Решите и запишите

38.16. Шест высотой 1,5 м, установленный вертикально, отбрасывает в полдень тень длиной 1 м. Какова угловая высота Солнца?

38.17. В солнечный день длина тени от отвесно поставленной метровой линейки равна 90 см, а от дерева — 6 м. Какова высота дерева?

38.18. Световой луч падает на плоское зеркало под некоторым углом (см. рисунок). Зеркало поворачивают по часовой стрелке на 30°. В какую сторону и на сколько повернется отраженный луч?



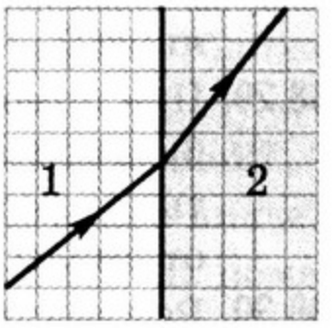
38.19. Угол между падающим лучом и плоским зеркалом равен углу между падающим лучом и отраженным. Чему равен угол падения?

38.20. Постройте изображение точечного источника света в двух плоских зеркалах, если внутренний угол между ними равен 90°. Сколько изображений получается?

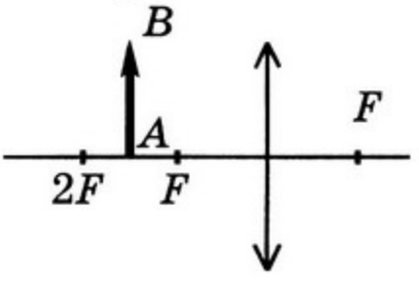
38.21. Угол падения луча из воздуха на поверхность прозрачного пластика равен 50°, угол преломления — 25°. Каков показатель преломления этого пластика относительно воздуха?

38.22. Водолаз, находящийся на дне озера, направил луч фонаря на поверхность воды. Угол падения луча равен 25°. Найдите угол преломления луча.

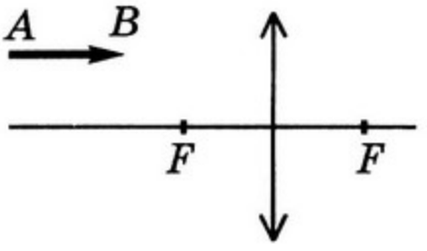
38.23. Световой луч идет из среды 1 в среду 2 (см. рисунок). Найдите показатель преломления второй среды относительно первой.



38.24. Постройте изображение данного предмета в линзе. Какое это изображение?



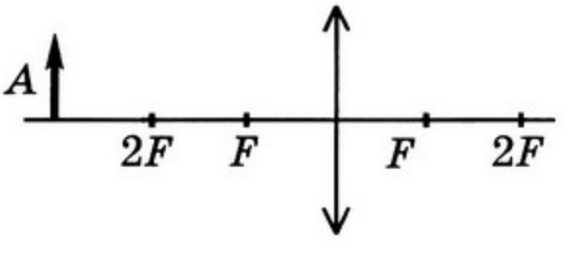
К задаче 38.24



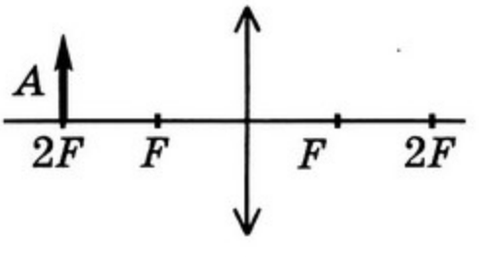
К задаче 38.25

38.25. Постройте изображение предмета AB в линзе. Каким является это изображение?

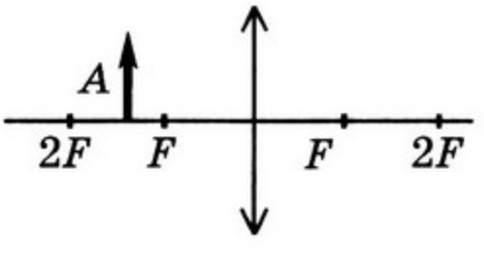
38.26. Найдите с помощью построения (см. рис. *а–г*) изображение предмета A в собирающей линзе и определите тип изображения (действительное или мнимое, увеличенное или уменьшенное).



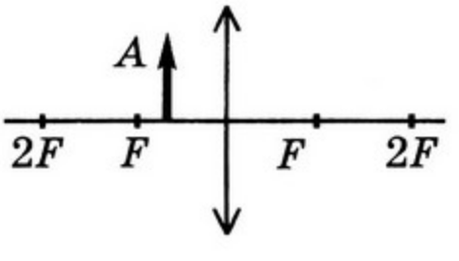
а



б



в



г

38.27. Найдите фокусное расстояние линзы, если известно, что действительное изображение предмета, находящегося на расстоянии 30 см от линзы, получается на таком же расстоянии от нее.

38.28. Главное фокусное расстояние рассеивающей линзы равно 12 см. Изображение предмета находится на расстоянии 9 см от линзы. Чему равно расстояние от предмета до линзы?

38.29. При помощи собирающей линзы с фокусным расстоянием 6 см получают мнимое изображение рассматриваемой монеты на расстоянии 18 см от линзы. На каком расстоянии от линзы размещена монета?

38.30. Расстояние между предметом и экраном 120 см. Где нужно поместить собирающую линзу с фокусным расстоянием 25 см, чтобы на экране получилось четкое изображение предмета?

Достаточный уровень

Решите устно

38.31. Как волновая теория света объясняет отражение и преломление света?

38.32. Следуют ли законы геометрической оптики из волновой теории света?

38.33. С помощью маленького отверстия, сделанного в листе картона, получите на экране изображение источника света. Выясните, зависят ли размеры изображения от расстояния между отверстием и экраном?

38.34. При каком условии в плоском зеркале можно получить действительное изображение?

38.35. Два вертикальных зеркала образуют двугранный прямой угол. На одно из них падает горизонтальный луч света и после отражения падает на второе зеркало. Как изменится направление распространения света после отражения от двух зеркал?

38.36. Человек смотрит в зеркало, подвешенное вертикально. Будут ли изменяться размеры видимой в зеркале части тела человека по мере его удаления от зеркала?

38.37. В каких случаях граница раздела двух прозрачных сред невидима?

38.38. Аквалангист, плавающий под водой, видит рыбака на берегу, а рыбак лишь в редких случаях может увидеть аквалангиста. Почему?

38.39. Почему трудно попасть в рыбу, стреляя в нее из ружья с берега, если она находится на глубине нескольких десятков сантиметров от поверхности воды?

38.40. Водолаз из-под воды смотрит на птицу, парящую вблизи поверхности воды. Будет ли птица казаться ему ближе или дальше, чем на самом деле?

38.41. Может ли двояковыпуклая линза быть рассеивающей?

38.42. Какие типы изображений возможны в собирающей линзе?

38.43. Где находится изображение точечного источника, помещенного на главной оптической оси собирающей линзы?

38.44. Может ли вогнутая линза быть собирающей, а выпуклая — рассеивающей?

38.45. Какой физический смысл имеет выражение: «Из глаз посыпались искры»?

38.46. Почему для того, чтобы получить четкое изображение предмета, близорукий человек обычно щурит глаза?

Решите и запишите

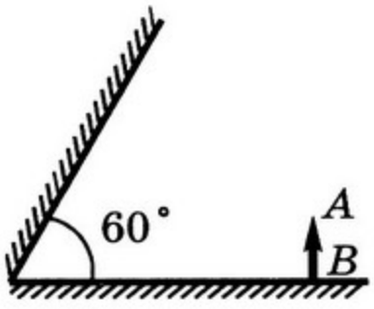
38.47. Вертикальный шест высотой $h = 1{,}0$ м, поставленный недалеко от уличного фонаря, отбрасывает тень длиной $l_1 = 80$ см. Если расстояние между фонарным столбом и шестом увеличить на $s = 1{,}5$ м, то длина тени возрастет до $l_2 = 1{,}3$ м. На какой высоте H находится фонарь?

38.48. Высота солнца над горизонтом (т. е. угол α между солнечными лучами и горизонтальной плоскостью) составляет 48°. Под каким углом β к горизонту следует расположить зеркало, чтобы осветить «зайчиком» дно глубокого колодца?

38.49. Два зеркала образуют двугранный угол 150°. На эту систему зеркал падает луч, перпендикулярный ребру угла. Как изменится направление распространения света после отражения от двух зеркал?

38.50. Какой должна быть минимальная высота вертикального зеркала, чтобы человек ростом H мог видеть в нем свое изображение во весь рост? На какой высоте должен находиться нижний край этого зеркала?

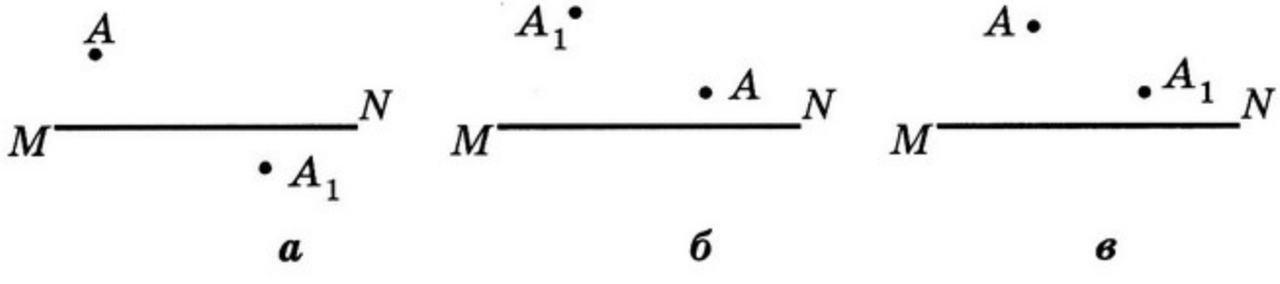
38.51. Сколько изображений предмета AB (см. рисунок) дают зеркала, расположенные под углом 60°? Где находятся эти изображения?



38.52. Луч света направлен из воды в воздух так, что происходит полное отражение на границе вода–воздух. Сможет ли этот луч выйти в воздух, если на поверхность воды налить слой прозрачного масла, показатель преломления которого превышает показатель преломления воды?

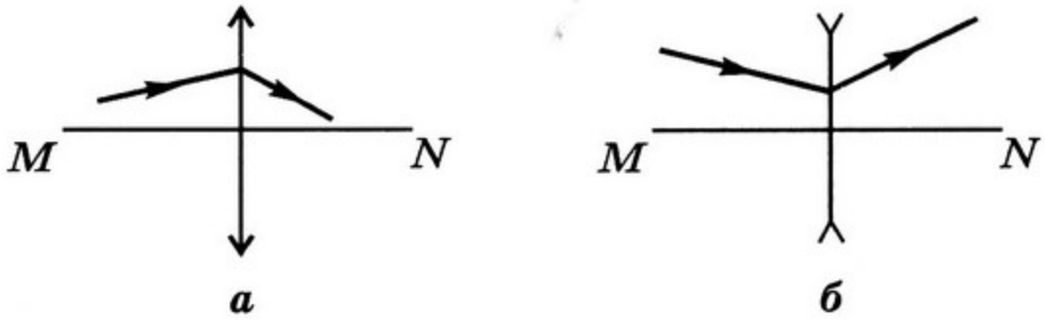
38.53. На дне ручья лежит камешек. Мальчик хочет попасть в него палкой. Прицеливаясь, мальчик держит палку в воздухе под углом 45°. На каком расстоянии от камешка палка воткнется в дно ручья, если его глубина 32 см?

38.54. На каждом из рис. *а*, *б*, *в* показана главная оптическая ось тонкой линзы MN, светящаяся точка A и ее изображение A_1. Найдите с помощью построения, где находятся оптический центр O линзы и ее фокусы F. Определите также тип линзы (собирающая или рассеивающая) и тип изображения (действительное или мнимое).



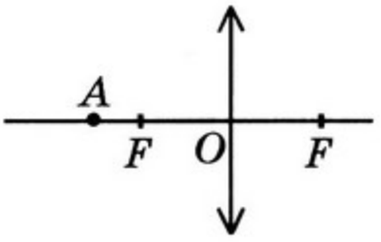
а *б* *в*

38.55. Задана главная оптическая ось MN линзы и ход одного из лучей (см. рис. *а*, *б*). Найдите построением положение фокусов линзы.



а *б*

38.56. Постройте изображение точки A, лежащей на главной оптической оси линзы (см. рисунок).



Высокий уровень

Решите устно

38.57. Сформулируйте закон отражения света и докажите его с помощью принципа Гюйгенса.

38.58. Объясните с помощью принципа Гюйгенса отражение сферического волнового фронта от плоской поверхности.

38.59. Между двумя параллельными плоскими зеркалами поместили свечу. Сколько изображений ее получится при этом? Каким будет расстояние между первыми изображениями свечи?

38.60. Как надо поставить лампу у зеркала, чтобы лучше видеть в нем свое лицо?

38.61. Почему конец пальца, приложенный к зеркалу, не совпадает с концом изображения пальца? В каких зеркалах это явление не будет иметь места?

38.62. Сформулируйте закон преломления света и докажите его с помощью принципа Гюйгенса.

38.63. Если плыть на лодке по спокойной прозрачной воде озера, то кажется, что самое глубокое место находится под лодкой. Почему?

38.64. Угловую высоту Солнца над горизонтом одновременно определяют два наблюдателя: первый, погрузившись на дно водоема, и второй, находящийся на его берегу. Для кого из них Солнце будет казаться выше?

38.65. * Как изменится изображение, полученное на экране при помощи собирающей линзы, если закрыть верхнюю ее половину?

38.66. * Из двух сортов стекла с различными показателями преломления изготовлена слоистая линза (см. рисунок).

Какое изображение точечного источника света даст эта линза? Считайте, что на границах между слоями свет полностью поглощается.



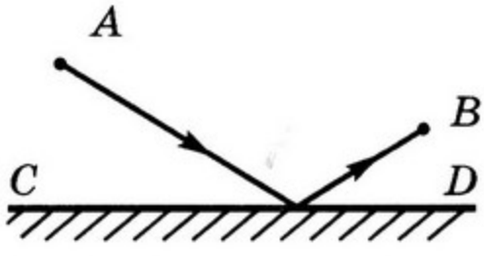
38.67. Почему, открывая глаза под водой, мы видим размытые очертания предметов? Почему маска для подводного плавания позволяет отчетливо видеть под водой?

38.68. В романе писателя-фантаста Герберта Уэллса описаны приключения человека-невидимки, который мог безнаказанно совершать дерзкие преступления. В чем состоит физическая ошибка фантаста?

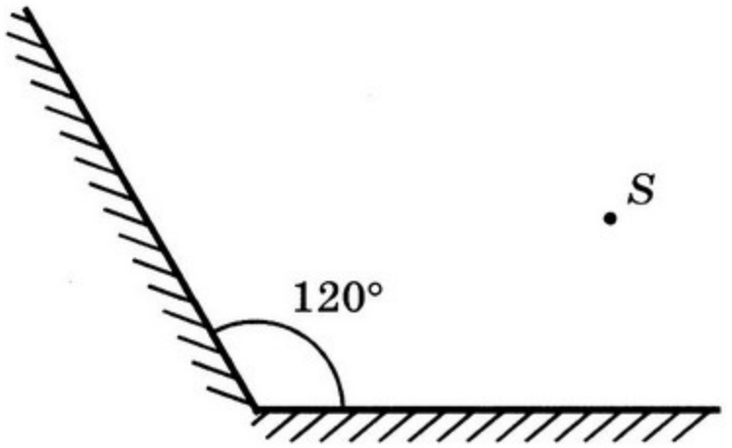
Решите и запишите

38.69. Солнечные лучи, проходя сквозь маленькие отверстия в листве дерева, дают на земле светлые пятна в форме эллипсов одинаковой формы, но разных размеров. Большая ось самых крупных эллипсов $a = 16$ см, а малая ось $b = 12$ см. Какова высота H дерева? Под каким углом α к горизонту падают солнечные лучи? Угловой размер солнечного диска $\beta = 9{,}3 \cdot 10^{-3}$ рад.

38.70. Луч света, идущий из точки A, приходит в точку B, отразившись от плоского зеркала CD (см. рисунок). Докажите, что, «подчиняясь» закону отражения, луч «выбирает» кратчайший путь.



38.71. Светящаяся точка S находится между двумя зеркалами, образующими двугранный угол 120° (см. рисунок). Постройте все изображения точки S в зеркалах.



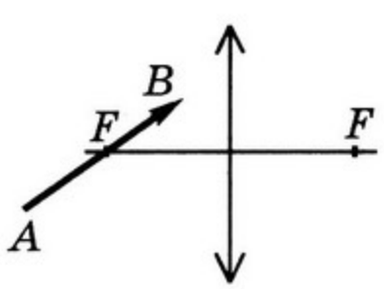
38.72. Свая, вбитая в дно озера, возвышается над водой на $h_1 = 1$ м. Глубина озера $h_2 = 2$ м. Найдите длину тени сваи на поверхности воды и на дне, когда высота Солнца над горизонтом $\alpha = 30°$.

38.73. В ясный солнечный день стоящий на дне озера водолаз видит в водном «зеркале» у себя над головой отражение всех участков дна, находящихся от него на расстоянии, большем $s = 10$ м. Какова глубина H озера? Рост водолаза $h = 1{,}7$ м.

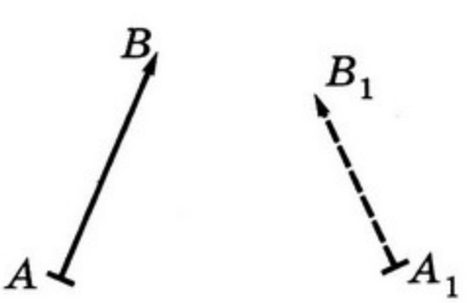
38.74. Рыба, находящаяся на глубине $h_1 = 1$ м, смотрит вертикально вверх в глаза рыболову. Голова рыболова находится на высоте $h_2 = 1{,}5$ м над водой. Каким покажется рыбе расстояние l до головы рыболова?

38.75. * Над водой на высоте $h_1 = 1$ м поместили горизонтально плоское зеркало. На какой высоте h над водой увидит свое отражение рыба, находящаяся на глубине $h_2 = 0{,}5$ м?

38.76. * Постройте изображение наклонной стрелки AB, проходящей через фокус собирающей линзы (см. рисунок).



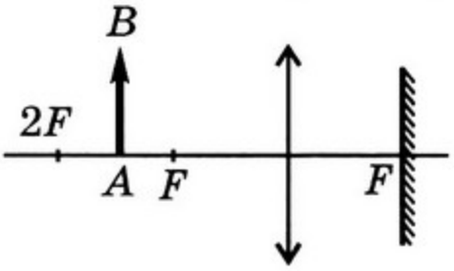
К задаче 38.76



К задаче 38.77

38.77. На рисунке показано положение предмета AB и его изображение A_1B_1. Найдите построением положение линзы и расположение ее фокусов.

38.78. Постройте ход лучей и найдите положение изображения предмета AB в оптической системе, состоящей из собирающей линзы и плоского зеркала (см. рисунок).



38.79. При съемке с расстояния $d_1 = 4{,}25$ м изображение предмета имеет высоту $H_1 = 2{,}7$ мм; при съемке с расстояния $d_2 = 1$ м — высоту $H_2 = 12$ мм. Найдите фокусное расстояние F объектива.

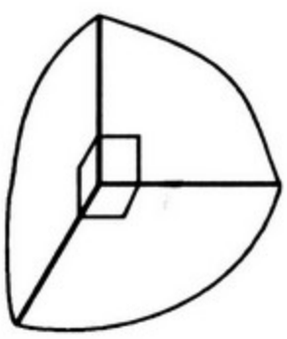
38.80. На расстоянии $l = 90$ см от стены находится лампа. На каком расстоянии f от стены следует разместить собирающую линзу с фокусным расстоянием $F = 20$ см, чтобы получить на стене четкое изображение нити накала лампы? Главная оптическая ось линзы перпендикулярна стене.

38.81. Как изменяется оптическая сила хрусталика глаза при переводе взгляда со страницы книги на облака за окном?

38.82. Близорукий человек читает без очков, держа книгу на расстоянии $d = 10$ см от глаз. Какова оптическая сила D необходимых ему очков для чтения?

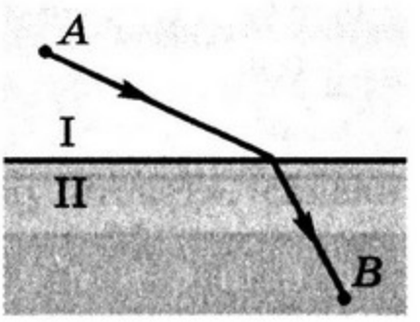
Олимпиадные задачи

О-186. Три зеркала образуют между собой двугранные прямые углы (см. рисунок). Докажите, что после трех отражений от этой системы зеркал направление луча света изменяется на противоположное.



О-187. *Принцип Ферма.* Луч света идет из точки A в точку B, преломляясь на плоской границе раздела двух сред

(см. рисунок). Докажите, что время прохождения света из точки A в точку B минимально как раз в том случае, когда луч «подчиняется» закону преломления.



О-188. На сферическую каплю воды падает луч света. Найдите угол δ отклонения луча от первоначального направления в результате двух преломлений и одного отражения на поверхности капли. Угол падения луча из воздуха на поверхность капли равен α.

О-189. Расстояние между двумя точечными источниками света $l = 32$ см. Где между ними надо поместить собирающую линзу с фокусным расстоянием $F = 12$ см, чтобы изображения обоих источников оказались в одной точке?

О-190. Объектив состоит из двух тонких линз, расстояние между которыми $l = 15$ см. Фокусные расстояния линз $F = 20$ см, $F_2 = -10$ см. С помощью этого объектива, обращенного собирающей линзой к Солнцу, получают на экране изображение Солнца. С помощью какой *одной* линзы можно получить изображение Солнца такого же размера?

О-191. Правильно ли утверждение, что лупа «приближает» к глазу рассматриваемый предмет? Как связано фокусное расстояние лупы с коэффициентом увеличения, указанным на оправе (например, «×4»)?

39. ЭЛЕМЕНТЫ ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ

$$v = \frac{v_1 + v_2}{1 + \dfrac{v_1 v_2}{c^2}}, \quad E = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \dfrac{v^2}{c^2}}}$$

Пример решения задачи

Какую скорость приобретает электрон, пройдя ускоряющую разность потенциалов $U = 500$ кВ? Какую скорость приобретает протон, пройдя такую же ускоряющую разность потенциалов?

Решение. Энергия покоя частицы с массой покоя m равна mc^2. Пройдя ускоряющую разность потенциалов U, частица приобретает кинетическую энергию eU. Таким образом, полная энергия частицы после ускорения $\dfrac{mc^2}{\sqrt{1 - \dfrac{v^2}{c^2}}} = mc^2 + eU$.

Отсюда получаем $v = c\dfrac{\sqrt{eU\left(eU + 2mc^2\right)}}{eU + mc^2}$. Для электрона при заданных условиях величины mc^2 и eU сравнимы, для протона $eU \ll mc^2$. Поэтому для протона полученную формулу можно упростить: $v = \sqrt{2eU/m}$, т. е. справедлива известная формула классической механики.

Вычисляем скорость электрона:

$$v = 3 \cdot 10^8 \times$$

$$\times \frac{\sqrt{1{,}6 \cdot 10^{-19} \cdot 5 \cdot 10^5 \left(1{,}6 \cdot 10^{-19} \cdot 5 \cdot 10^5 + 2 \cdot 9{,}1 \cdot 10^{-31} \cdot 9 \cdot 10^{16}\right)}}{1{,}6 \cdot 10^{-19} \cdot 5 \cdot 10^5 + 9{,}1 \cdot 10^{-31} \cdot 9 \cdot 10^{16}} =$$

$$= 2{,}6 \cdot 10^8 \left(\frac{\text{м}}{\text{с}}\right).$$

Вычисляем скорость протона:

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19} \cdot 5 \cdot 10^5}{1{,}67 \cdot 10^{-27}}} = 9{,}8 \cdot 10^6 \left(\frac{\text{м}}{\text{с}}\right).$$

Ответ. $2{,}6 \cdot 10^8$ м/с; $9{,}8 \cdot 10^6$ м/с.

Средний уровень

Решите устно

39.1. Что включает в себя понятие «система отсчета»?

39.2. В чем различие инерциальных и неинерциальных систем отсчета, движущихся с ускорением?

39.3. Всегда ли систему отсчета, связанную с Землей, можно считать инерциальной?

39.4. Зависит ли от скорости движения системы отсчета: а) скорость тела; б) скорость света?

39.5. Зависит ли от выбора системы отсчета в классической механике относительная скорость двух частиц?

39.6. В чем отличия в формулировке принципа относительности Галилея и принципа относительности Эйнштейна?

39.7. Чем релятивистский закон сложения скоростей отличается от закона сложения скоростей в классической механике?

39.8. При каких условиях справедливы: а) преобразования Галилея; б) преобразования Лоренца?

39.9. Почему нагревание тела приводит к увеличению его массы?

39.10. Можно ли утверждать, что физические процессы и явления, которые будут открыты когда-нибудь, подчинятся принципу относительности?

Решите и запишите

39.11. На ракете, скорость которой относительно Земли равна $0{,}9c$, включен прожектор. Какова скорость распространения света относительно Земли, если луч прожектора направлен: а) в направлении движения ракеты; б) в противоположную сторону?

39.12. С ракеты, скорость которой относительно Земли равна $0{,}9c$, выпустили вперед и назад снаряды со скоростью $0{,}5c$ относительно ракеты. Какова скорость снарядов относительно Земли?

39.13. Две фотонные ракеты удаляются друг от друга со скоростью 0,65с относительно земного наблюдателя. Какова относительная скорость ракет?

39.14. Какова длина метрового стержня (для земного наблюдателя), движущегося со скоростью $0{,}6c$?

39.15. Длина линейки, неподвижной относительно земного наблюдателя, 2 м. Какова длина этой же линейки, движущейся со скоростью $0{,}5c$?

39.16. Тело, имеющее массу покоя 1 кг, движется со скоростью $2 \cdot 10^5$ км/с. Определите массу этого тела для неподвижного наблюдателя.

39.17. С какой скоростью движется тело, масса которого с точки зрения неподвижного наблюдателя равна 4 кг, если масса покоя этого тела 2,4 кг?

39.18. Какова энергия покоя 1 г любого вещества?

39.19. Найдите полную энергию космического аппарата с массой покоя 10 т, движущегося со скоростью $0{,}9c$.

39.20. Каким импульсом обладает электрон, движущийся со скоростью $0{,}8c$?

Достаточный уровень

Решите устно

39.21. Можно ли двигаться относительно зеркала с такой скоростью, чтобы не видеть своего изображения в нем?

39.22. Что именно — ускорение, скорость, масса или кинетическая энергия частицы — не зависит от выбора системы отсчета с точки зрения классической механики?

39.23. Изменяются ли во время движения со скоростью, близкой к скорости света: а) длина линейки; б) ее объем; в) количество атомов в ней?

39.24. Выполняется ли третий закон Ньютона для взаимодействия галактик в: а) классической механике; б) специальной теории относительности?

39.25. Может ли масса электрона оставаться постоянной с увеличением его кинетической энергии?

39.26. Являются ли известные вам количественные выражения закона всемирного тяготения и закона Кулона релятивистскими?

39.27. К телу с массой покоя m в течение бесконечного интервала времени приложена постоянная сила. Как изменятся со временем скорость и масса тела?

39.28. Частица обладает массой покоя m_0. Какую энергию необходимо сообщить частице, чтобы ее масса увеличилась в k раз?

39.29. Два события в некоторой инерциальной системе отсчета происходят в одной точке одновременно. Будут ли эти события одновременными в другой инерциальной системе отсчета?

39.30. Предположим, что скорость света стала бы бесконечно большой. Что при этом произошло бы с предсказаниями специальной теории относительности по поводу замедления времени и сокращения длины?

Решите и запишите

39.31. При какой скорости v движения тела[1] релятивистское сокращение длины составляет 1 %? 50 %?

39.32. Собственное среднее время жизни одной из нестабильных элементарных частиц (время, измеренное в системе отсчета, в которой эта частица покоится) $\tau_0 = 2{,}2$ мкс. Пучок таких частиц движется со скоростью $v = 0{,}95c$. Какова средняя длина l их пробега в отсутствие столкновений?

39.33. При какой скорости движения кинетическая энергия тела в 3 раза превышает энергию покоя?

39.34. Найдите кинетическую энергию космического аппарата с массой покоя 10 т, движущегося со скоростью $0{,}9c$.

39.35. На сколько изменяется масса покоя 10 кг воды при охлаждении от 100 °C до 0 °C?

39.36. На сколько изменяется масса покоя 1 кг льда при плавлении?

39.37. На сколько изменяется масса покоя пружины с жесткостью 5 кН/м при сжатии на 10 см?

39.38.  До какой скорости должен был бы разогнаться поезд, чтобы его кинетическая энергия была в 3 миллиарда раз меньше энергии покоя?

39.39. При какой скорости v движения частицы ее кинетическая энергия равна энергии покоя?

39.40. В результате ядерной реакции масса покоя вещества уменьшается на 0,1 %. Какая энергия выделяется в результате использования 1 г ядерного топлива?

Высокий уровень

Решите устно

39.41. Два космических корабля A и $Б$ движутся навстречу друг другу. Предположим, что космонавты лишены возможно-

---

[1] Здесь и далее под скоростью подразумевается скорость относительно наблюдателя, если не оговорено иное. В частности, неподвижным мы называем тело, покоящееся относительно наблюдателя.

сти наблюдать какие-либо тела в окружающем космическом пространстве. Один из космонавтов, находящийся на корабле, утверждает, что корабль *А* находится в покое, а корабль *Б* движется. Второй космонавт придерживается противоположной точки зрения, а третий предполагает, что оба корабля движутся. Смогут ли они каким-нибудь способом проверить, какое из трех утверждений является истинным?

39.42. В чем отличие скорости взаимодействия тел по классической и релятивистской механике?

39.43. Старший брат отправился в путешествие на планету удаленной звездной системы и стал ждать там младшего на год брата, который через год с момента старта первого звездолета полетел на таком же аппарате. Изменится ли разница в возрасте между братьями во время их встречи на планете?

39.44. Является ли инвариантной величиной показатель преломления прозрачной среды в пределах специальной теории относительности?

39.45. В какой системе отсчета импульсы частиц до столкновения по модулю совпадают с их импульсами после упругого столкновения?

39.46. Раскаленный добела железный стержень охладили до комнатной температуры. Изменилась ли его масса?

39.47. Одинаковы ли массы сжатой пружины и пружины в свободном состоянии?

39.48. Чем отличаются графики зависимости от скорости массы и заряда электрона?

39.49. Как будет изменяться ускорение тела от действия постоянной силы при скоростях, близких к скорости света?

39.50. Можно ли остановить световой луч? Почему?

Решите и запишите

39.51. Релятивистская частица распадается на два одинаковых «осколка». Скорость одного из них равна нулю. Найдите скорость v частицы до распада и скорость v_2 второго «осколка», если известно, что при распаде такой же *неподвижной* частицы оба «осколка» имеют скорость u.

39.52. Частица движется со скоростью $0{,}04c$. Во сколько раз увеличится ее кинетическая энергия, если скорость движения увеличится: а) в 2 раза; б) в 20 раз?

39.53. При какой скорости движения кинетическая энергия протона равна: а) энергии покоя протона; б) энергии покоя электрона?

39.54. Пусть в системе отсчета K расстояние между точками, в которых произошли два события, равно l, а промежуток времени между этими событиями равен τ.

Обозначим $S = c\tau - l$. В системе отсчета K' соответствующая величина $S' = c\tau' - l'$, где l' и τ' — расстояние и промежуток времени между *теми же* событиями. Исходя из постулатов теории относительности докажите, что величины S и S' имеют одинаковый знак или *обе* обращаются в нуль.

39.55. Поскольку одновременность событий относительна, возникает вопрос: существует ли такая система отсчета K', в которой попадание мяча в окно происходит одновременно с ударом по этому мячу?

39.56. Найдите импульс протона, у которого кинетическая энергия вдвое больше энергии покоя.

39.57. На сколько меньше скорости света должна быть скорость электрона, чтобы его энергия была равна энергии покоя протона?

39.58. В космическом корабле, летящем со скоростью $v = 0{,}6c$ относительно Земли, растет стебель лука со скоростью $u_0 = 5$ см/сут. Какова скорость u роста стебля с точки зрения земного наблюдателя? Стебель расположен под прямым углом к направлению движения корабля.

39.59. Кинетическая энергия движущегося электрона равна кинетической энергии автомобиля массой 1 т при скорости 72 км/ч. На сколько скорость электрона меньше скорости света в вакууме?

39.60. Выразите полную энергию W релятивистской частицы и ее кинетическую энергию W_k через массу покоя m и импульс p.

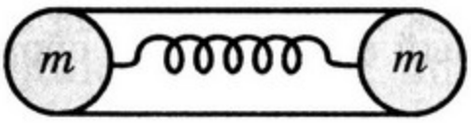
Олимпиадные задачи

О-192. Электрон разгоняется до релятивистской скорости в однородном электрическом поле с напряженностью E. Запишите формулу зависимости скорости v электрона от времени и постройте график этой зависимости. Через

какое время τ скорость v достигнет половины скорости света? Начальную скорость электрона считайте равной нулю.

О-193. Какое расстояние s должен пройти электрон (см. задачу О-193), чтобы приобрести скорость v? Запишите формулу зависимости $s(t)$.

О-194. На концах трубки со сжатой легкой пружиной удерживаются нитью одинаковые шарики массой m (см. рисунок).



При разрыве нити шарики разлетаются с одинаковыми скоростями u. Найдите скорости v_1 и v_2 разлетающихся шариков, если в момент «выстрела» трубка движется поступательно в направлении своей оси со скоростью $v > u$. Найдите также суммарный импульс p разлетающихся шариков. Не противоречит ли полученный результат закону сохранения импульса? Скорости v, u считайте релятивистскими.

О-195. Релятивистская частица распадается на два одинаковых «осколка», каждый из которых имеет массу покоя m. Один из «осколков» неподвижен относительно лабораторной системы отсчета, а другой движется со скоростью $v = 0{,}80c$. Какую скорость u и массу покоя M имела частица до распада?

О-196. Какую энергию W нужно сообщить протону, чтобы при бомбардировке неподвижных атомов водорода стали возможны те же процессы рождения частиц, что и в случае столкновения двух протонов, движущихся навстречу друг другу с энергией $W_1 = 70$ ГэВ каждый?

О-197. До какой энергии W потребуется разогнать *встречные* электроны, чтобы при их столкновении могли происходить те же процессы, что и при электрон-электронных столкновениях в «обычном» ускорителе, где пучок электронов с энергией $W_1 = 20$ ГэВ падает на неподвижную мишень?

КВАНТОВАЯ ФИЗИКА

Гипотеза М. Планка о квантах. Фотоэффект. Опыты А. Г. Столетова. Уравнение А. Эйнштейна для фотоэффекта. Фотон. *Опыты П. Н. Лебедева и С. И. Вавилова.*

Планетарная модель атома. Квантовые постулаты Бора и линейчатые спектры. Гипотеза де Бройля о волновых свойствах частиц. Дифракция электронов. *Соотношение неопределенностей Гейзенберга. Спонтанное и вынужденное излучение света.* Лазеры.

Модели строения атомного ядра. Ядерные силы. Нуклонная модель ядра. Дефект массы и энергия связи ядра. Ядерные спектры. Ядерные реакции. Цепная реакция деления ядер. *Ядерная энергетика. Термоядерный синтез.* Радиоактивность. *Дозиметрия.* Закон радиоактивного распада. *Статистический характер процессов в микромире. Элементарные частицы. Фундаментальные взаимодействия. Законы сохранения в микромире.*

40. СВЕТОВЫЕ КВАНТЫ

$$E = h\nu, \quad p = \frac{h}{\lambda}, \quad h\nu = A + \frac{mv^2}{2}$$

Пример решения задачи

Когда длину волны излучения, падающего на катод фотоэлемента, уменьшили от $\lambda_1 = 500$ нм до $\lambda_2 = 400$ нм, максимальная скорость фотоэлектронов увеличилась в 2 раза. Определите красную границу фотоэффекта λ_{max} для данного катода.

Решение. После изменения длины волны излучения максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов увеличилась в 4 раза. Согласно уравнению Эйнштейна для фотоэффекта

$$hc/\lambda_1 = A + E_{k1}, \quad hc/\lambda_2 = A + E_{k2} = A + 4E_{k1}.$$

Исключая из этих уравнений E_{k1}, найдем $A = \dfrac{hc(4\lambda_2 - \lambda_1)}{3\lambda_1\lambda_2}$.

Поскольку $A = \dfrac{hc}{\lambda_{max}}$, получаем $\lambda_{max} = \dfrac{3\lambda_1\lambda_2}{4\lambda_2 - \lambda_1}$.

Ответ. 545 нм.

Решите устно

40.1. Какие факты свидетельствуют о наличии у света волновых свойств?

40.2. Какие факты свидетельствуют о наличии у света корпускулярных свойств?

40.3. На что расходуется энергия, затрачиваемая в процессе совершения работы выхода электрона из металла?

40.4. Как теория фотоэффекта, предложенная Эйнштейном, объясняет законы фотоэффекта?

40.5. Как изменяется энергия фотона при увеличении длины волны света?

40.6. Как определить энергию, массу и импульс фотона, зная частоту колебаний света ν?

40.7. Какое предположение о взаимодействии фотона с электронами вещества лежит в основе уравнения Эйнштейна?

40.8. Почему при частотах меньших, чем красная граница, фотоэффект не наблюдается?

Решите и запишите

40.9. Чему равна энергия фотона красного света, имеющего в вакууме длину волны 720 нм?

40.10. Найдите энергию фотона видимого света с длиной волны 500 нм. Выразите ответ в джоулях и в электронвольтах.

40.11. Найдите импульс фотона видимого света с длиной в вакууме 600 нм.

40.12. Найдите импульс фотона ультрафиолетового излучения с частотой $1{,}5 \cdot 10^{15}$ Гц.

40.13. Работа выхода электрона из некоторого металла равна 4,76 эВ. Найдите красную границу фотоэффекта для него. Какой это металл?

40.14. Найдите длину волны света, соответствующего красной границе фотоэффекта, для цинка.

40.15. Какова частота света, падающего на пластину из кадмия, если максимальная скорость фотоэлектронов равна $7{,}2 \cdot 10^5$ м/с?

Решите устно

40.16. Изменяется ли энергия фотонов при переходе из одной среды в другую?

40.17. Объясните с точки зрения квантовой природы излучения безынерционность фотоэффекта.

40.18. В чем суть различия между внешним и внутренним фотоэффектом?

40.19. Почему существование красной границы в явлении фотоэффекта говорит в пользу корпускулярной теории света и против волновой?

40.20. Какие законы фотоэффекта противоречат классической электродинамике? В чем состоит это противоречие?

40.21. Частоту падающего света уменьшили в 2 раза. Можно ли утверждать, что максимальная кинетическая энергия вырванных этим светом электронов уменьшилась тоже в 2 раза? Обоснуйте свой ответ.

40.22. Как изменяются при удалении источника света от вакуумного фотоэлемента: а) сила тока насыщения; б) максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов; в) количество фотоэлектронов, ежесекундно вылетающих с поверхности катода; г) задерживающее напряжение?

40.23. Как изменяются максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов и задерживающее напряжение при увеличении частоты излучения, действующего на поверхность металла при фотоэффекте?

Решите и запишите

40.24. Гелий-неоновый лазер непрерывно излучает свет с длиной волны $\lambda = 630$ нм. Сколько фотонов излучает лазер за одну секунду, если его мощность $P = 2$ мВт?

40.25. Энергия каждого фотона в пучке монохроматического излучения $W_0 = 4{,}4 \cdot 10^{-19}$ Дж. Какова длина волны λ этого излучения в воде?

40.26. Измеренное при фотоэффекте значение задерживающего напряжения равно 2,4 В. Найдите длину волны падающего на поверхность излучения, если работа выхода электронов из металла равна $2{,}4 \cdot 10^{-19}$ Дж.

40.27. Под каким напряжением U работает рентгеновская трубка, если самое «жесткое» излучение в ее спектре имеет длину волны $\lambda_{min} = 3{,}0 \cdot 10^{-11}$ м?

40.28. Для калия красная граница фотоэффекта $\lambda_{max} = 0{,}62$ мкм. Какую максимальную скорость υ могут иметь фотоэлектроны, вылетающие при облучении калия фиолетовым светом с длиной волны $\lambda = 0{,}42$ мкм?

40.29. Минимальная частота ν_0 света, вырывающего электроны с поверхности металлического катода, равна $6 \cdot 10^{14}$ Гц. При каких частотах падающего света вылетевшие электроны полностью задерживаются напряжением $U = 3$ В?

40.30. При освещении поверхности некоторого металла фиолетовым светом с длиной волны $\lambda_1 = 0{,}4$ мкм выбитые светом электроны задерживаются запирающим напряжением $U_1 = 2$ В. Чему равно запирающее напряжение U_2 при освещении того же металла красным светом с длиной волны $\lambda_2 = 0{,}77$ мкм?

40.31. Свет падает на поверхность металлического катода, частично покрытую оксидным слоем (этот слой уменьшает работу выхода электронов на 1,5 эВ). Максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов, вылетевших с чистой поверхности металла, равна 0,8 эВ. Найдите максимальную кинетическую энергию фотоэлектронов, вылетевших с поверхности оксидного слоя.

40.32. На сколько надо изменить частоту падающего на поверхность металла излучения, чтобы максимальная скорость фотоэлектронов увеличилась от 500 км/с до 800 км/с?

40.33. Какова максимальная скорость фотоэлектронов при действии на катод света с длиной волны 450 нм, если красная граница фотоэффекта для данного катода равна 600 нм?

Высокий уровень

Решите устно

40.34. Как зарядить цинковую пластину, закрепленную на стержне электрометра, положительным зарядом, имея электрическую дугу, стеклянную палочку и лист бумаги? Палочкой прикасаться к пластине нельзя.

40.35. Ученик, объясняя уравнение Эйнштейна для фотоэффекта, сказал: «Энергия падающего света равна работе выхода электронов и кинетической энергии их движения». В чем неточность ответа?

40.36. Почему выход фотоэлектронов при возникновении фотоэффекта не зависит от освещенности металла?

40.37. Может ли фотон пребывать в состоянии покоя в любой инерциальной системе отсчета?

40.38. Может ли кинетическая энергия электрона, вылетевшего с поверхности металла под действием фотона, быть равна энергии этого фотона? Обоснуйте свой ответ.

40.39. На поверхности различных металлов падает излучение одинаковой частоты. При этом для первого металла наблюдается фотоэффект, а для второго — нет. У какого металла работа выхода больше?

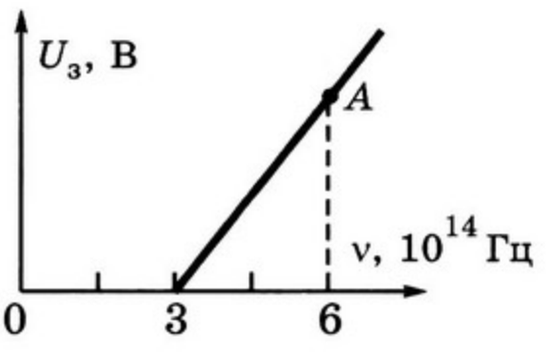
40.40. Падающий на поверхность катода желтый свет вызывает фотоэффект. Обязательно ли возникнет фотоэффект при освещении катода синим светом? Оранжевым светом?

40.41. Свет нормально падает на поверхность твердого тела. Сравните давление света на эту поверхность в трех случаях: а) поверхность зеркальная; б) поверхность черная; в) поверхность белая. Обоснуйте свой ответ.

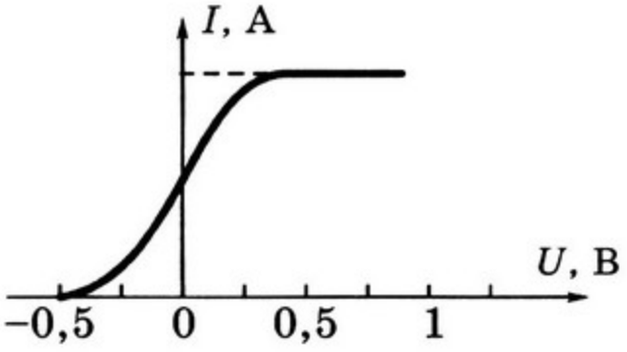
Решите и запишите

40.42. Когда частоту падающего на поверхность катода излучения увеличили на $2 \cdot 10^{14}$ Гц, максимальная энергия фотоэлектронов увеличилась в 2 раза. Во сколько раз увеличится максимальная энергия фотоэлектронов, если частоту излучения увеличить еще раз на такую же величину? Какой была максимальная скорость фотоэлектронов до повышения частоты излучения?

40.43. На рисунке приведен график зависимости задерживающего напряжения от частоты электромагнитного излучения, действующего на катод вакуумного фотоэлемента. Какое задерживающее напряжение соответствует точке A на графике?



40.44. На рисунке показана вольт-амперная характеристика вакуумного фотоэлемента, на катод которого действует свет с длиной волны 450 нм. Найдите красную границу фотоэффекта для данного катода.



40.45. Найдите длину волны λ электромагнитного излучения, если энергия одного кванта этого излучения равна энергии покоя электрона. С какой скоростью v должен двигаться электрон, чтобы его импульс был равен импульсу такого фотона? Чему равно отношение энергии W движущегося с этой скоростью электрона к энергии W_γ фотона?

40.46. Излучение лазера с длиной волны 440 нм падает на зеркальную поверхность. Угол падения равен 30°. Какой импульс передает поверхности каждый фотон?

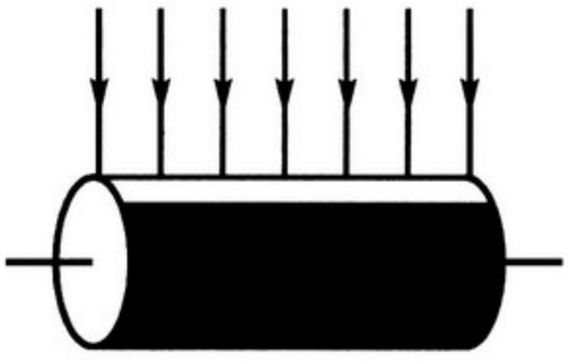
40.47. При действии на поверхность металла излучения мощного лазера возможен многофотонный фотоэффект (электрон поглощает не один фотон, а несколько). По аналогии с уравнением Эйнштейна для фотоэффекта запишите уравнение многофотонного фотоэффекта. Постройте график зависимости задерживающего напряжения от частоты излучения для трехфотонного фотоэффекта на цезии.

40.48. * На поверхность падает нормально свет. Интенсивность излучения I. Найдите давление p света на поверхность в двух случаях: когда поверхность черная и когда она зеркальная.

40.49. Свет падает на зеркальную поверхность. Найдите давление p света на эту поверхность, если интенсивность излучения равна I, а угол падения α.

40.50. Какова длина волны падающего на графит рентгеновского излучения, если после рассеяния на угол 90° длина волны увеличивается на 25 %?

О-198. Находящийся в вакууме легкий цилиндр может с очень малым трением вращаться вокруг своей оси (см. рисунок). Половина поверхности цилиндра окрашена в черный цвет, другая половина — зеркальная. Каким будет положение устойчивого равновесия цилиндра под действием света, если световые лучи перпендикулярны оси цилиндра?



О-199. *Эффект Комптона.* При взаимодействии с веществом рентгеновское излучение с длиной волны λ рассеивается. При этом длина волны излучения, отклонившегося от первоначального направления распространения на угол θ, увеличивается на $\Delta\lambda$. Выразите величину $\Delta\lambda$ через угол θ, рассматривая рассеяние как результат столкновений рентгеновских фотонов с неподвижными свободными электронами. Учтите, что вследствие таких столкновений электроны приобретают скорости, сравнимые со скоростью света.

О-200. Длина волны рентгеновского излучения после комптоновского рассеяния (см. задачу 0-200) увеличилась с $\lambda_1 = 2{,}0$ пм до $\lambda_2 = 2{,}4$ пм. Какова кинетическая энергия W_k вылетающих электронов (выразите ее в МэВ) и их скорость v? Найдите также угол рассеяния θ рентгеновского излучения и угол α между направлением вылета электронов и направлением падающего излучения.

41. ФИЗИКА АТОМА

$$h\nu_{kn} = E_k - E_n$$

Пример решения задачи

Атом водорода при переходе из одного стационарного состояния в другое испускает последовательно два кванта с длинами волн $\lambda_1 = 40510 \cdot 10^{-10}$ м и $\lambda_2 = 972{,}5 \cdot 10^{-10}$ м. Определите изменение энергии атома водорода.

Решение. Изменение энергии атома после перехода равно: $\Delta E = h\nu_1 + h\nu_2$. С учетом того, что $\nu = \frac{c}{\lambda}$, получаем, что $\Delta E = \frac{hc}{\lambda_1} + \frac{hc}{\lambda_2} = hc\left(\frac{1}{\lambda_1} + \frac{1}{\lambda_2}\right) = hc\frac{\lambda_1 + \lambda_2}{\lambda_1 \cdot \lambda_2}$.

Ответ. $21 \cdot 10^{-19}$ Дж.

Средний уровень

Решите устно

41.1. Какие частицы использовал Резерфорд для исследования строения атома? Каковы их свойства?

41.2. На основании каких экспериментальных наблюдений Резерфорд пришел к выводу о планетарной модели атома?

41.3. Чем отличаются друг от друга атомы различных химических элементов?

41.4. Что является главной характеристикой определенного химического элемента?

41.5. В ядре атома серебра 108 частиц. Вокруг ядра обращается 47 электронов. Сколько в ядре этого атома нейтронов и протонов?

41.6. Ядро атома и электроны имеют разные знаки зарядов и, следовательно, притягиваются друг к другу. Почему же электроны не падают на ядра атомов?

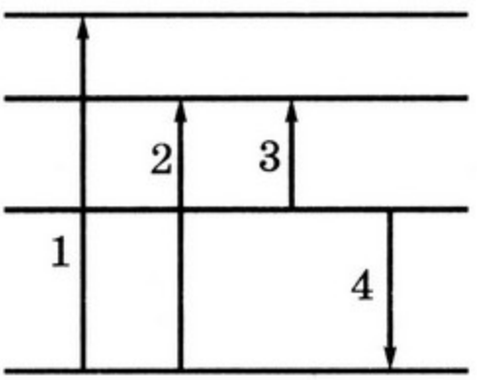
41.7. Укажите, при каких переходах атом излучает энергию, а при каких — поглощает: а) переход с первого энергетического уровня на четвертый; б) переход со второго энергетического уровня на первый; в) переход со второго

энергетического уровня на третий; а) переход с третьего энергетического уровня на первый.

41.8. При каком условии электрон, связанный с атомом, не излучает энергию?

41.9. При каком условии электрон, связанный с атомом, излучает энергию?

41.10. На рисунке показаны энергетические уровни атома. Стрелками обозначены переходы между уровнями. При каких переходах происходит поглощение излучения? При каком переходе испускается излучение с максимальной длиной волны? При каком переходе испускается излучение с максимальной частотой?



Решите и запишите

41.11. Определите минимальную энергию возбуждения атома водорода, если его энергия в нормальном состоянии равна $E_1 = -13{,}55$ эВ.

41.12. При переходе атома водорода с четвертого энергетического уровня на второй излучаются фотоны с энергией 2,55 эВ. Определите длину волны этой линии спектра.

41.13. При облучении паров ртути электронами энергия атома ртути увеличивается на 4,9 эВ. Какова длина волны излучения, которое испускают атомы ртути при переходе в невозбужденное состояние?

41.14. Минимальная частота излучения, которое может поглотить атом, находящийся на первом энергетическом уровне, равна $2 \cdot 10^{15}$ Гц. Каково «расстояние» между первым и вторым энергетическими уровнями атома?

41.15. При переходе электрона в атоме с одного энергетического уровня на другой поглощен фотон с частотой $6 \cdot 10^{14}$ Гц. Увеличилась или уменьшилась в результате перехода энергия атома? На какую величину?

41.16. При переходе электрона в атоме водорода с третьей стационарной орбиты на вторую излучаются фотоны, соответствующие длине волны 652 нм, дающие красную линию водородного спектра. Какую энергию теряет атом водорода при излучении этого фотона?

Достаточный уровень

Решите устно

41.17. В чем заключалось противоречие между ядерной моделью атома Резерфорда и законами классической физики?

41.18. Как можно объяснить явление электризации с помощью модели атома Резерфорда?

41.19. Какие состояния атома называются возбужденными? Чем они отличаются от основного состояния?

41.20. Чем определяется частота излучения атома водорода по теории Бора?

41.21. В каком состоянии находится вещество, имеющее линейчатый спектр испускания?

41.22. Как по теории Бора объясняется совпадение спектров испускания и спектров поглощения паров и газов?

41.23. Почему атомные спектры поглощения и испускания линейчатые?

41.24. В каком случае энергия атома больше: когда электрон находится на удаленной от ядра орбите или когда он находится на самой близкой к ядру орбите?

41.25. В люминесцентных лампах пары ртути при прохождении тока испускают ультрафиолетовое излучение. Находящийся с внутренней стороны стенок баллона лампы слой люминофора поглощает это излучение и испускает видимый свет. Сплошным или линейчатым является спектр ультрафиолетового излучения? излучаемого видимого света?

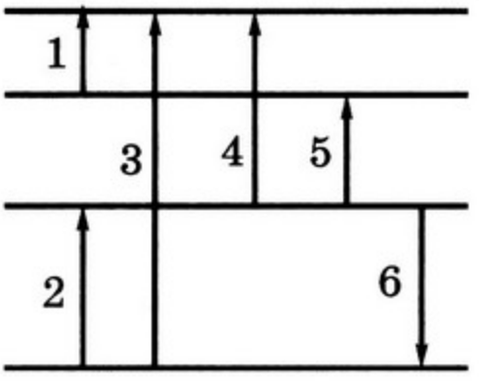
41.26. Какое вещество дает линейчатые спектры испускания и поглощения: а) твердый кислород; б) жидкий кислород; в) разреженный атомарный кислород; г) озон O_3 в атмосфере; д) кислород O_2 в атмосфере?

Решите и запишите

41.27. Энергия ионизации атома водорода, находящегося на первом энергетическом уровне, равна 13,55 эВ. При какой

длине волны излучение может вызвать ионизацию атома водорода, находящегося на втором энергетическом уровне?

41.28. На рисунке показаны энергетические уровни атома. Стрелками обозначены переходы между уровнями. Пусть λ_i — длина волны излучения, испускаемого или поглощаемого при соответствующем переходе. Выразите: а) λ_4 через λ_2 и λ_3; б) λ_3 через λ_1 и λ_6; в) λ_5 через λ_2 и λ_6.



41.29. В каких пределах должна лежать скорость бомбардирующих электронов, чтобы при возбуждении атомов водорода ударами этих электронов спектр водорода имел только одну спектральную линию?

41.30. Электрон в невозбужденном атоме водорода получил энергию 12 эВ. На какой энергетический уровень он перешел? Сколько линий можно будет увидеть в спектре излучений при переходе электрона на более низкие энергетические уровни? Энергия основного состояния атома водорода 13,55 эВ.

41.31. Гелий-неоновый лазер, работающий в непрерывном режиме, дает излучение монохроматического света с длиной волны 630 нм, развивая мощность 40 мВт. Сколько фотонов излучает лазер за 1 с?

41.32. Электрон, обладающий вдали от покоящегося протона скоростью 1,875 км/с, захватывается последним, в результате чего образуется возбужденный атом водорода. Определите длину волны фотона, который испускается при переходе атома в нормальное состояние.

Высокий уровень

Решите устно

41.33. Совпадает ли частота обращения электрона вокруг ядра атома водорода по боровской орбите и частота излучения атома?

41.34. Зависит ли спектр испускания атома от степени его ионизации?

41.35. Какие из разреженных газов дают линейчатые спектры испускания и поглощения: метан, неон, углекислый газ, гелий, радон, водяной пар, пары ртути, сернистый газ?

41.36. У какого атома наименьшее количество возможных уровней энергии?

41.37. Можно ли с помощью формулы закона Кулона вычислить силу взаимодействия альфа-частицы с ядром атома?

41.38. На пути потока быстрых альфа-частиц поставили охлажденный до очень низкой температуры кристаллик водорода. Какие принципиальные изменения будут наблюдаться в опыте по сравнению с опытом Резерфорда, в котором мишень была изготовлена из золота?

41.39. Одинаковая ли энергия понадобится для того, чтобы оторвать от атома гелия: а) первый электрон; б) второй электрон?

41.40. В атоме водорода, согласно теории Бора, существует ограничение на минимальное расстояние электрона от ядра. Существует ли ограничение на максимальное расстояние между электроном и ядром?

41.41. Как изменится согласно теории Бора скорость электронов в атоме водорода при переходе с первого уровня на n–й уровень?

41.42. Во сколько раз кинетическая энергия электрона на 1-й орбите отличается от кинетической энергии на n–й орбите атома водорода?

Решите и запишите

41.43. Наибольшая длина волны в видимой части спектра поглощения атомарного водорода равна 656 нм. Найдите наибольшую длину волны в ультрафиолетовой части спектра этого вещества.

41.44. Наибольшая длина волны в видимой части спектра поглощения атомарного водорода равна 656 нм. Может ли атом водорода поглотить фотон излучения с длиной волны 80 нм? Если может, то к чему приведет поглощение такого фотона?

41.45. Какую минимальную скорость должны иметь электроны, чтобы перевести атом водорода с первого энергетического

уровня на третий, если энергия ионизации атома водорода равна 13,55 эВ? Каковы частоты излучаемых после этого электромагнитных волн?

41.46. В каких пределах должна лежать энергия электронов, чтобы при возбуждении атомов водорода ударами этих электронов спектр водорода имел три спектральные линии? Найдите длины волн этих линий.

41.47. Радиус первой орбиты электрона в атоме водорода равен $0{,}53 \cdot 10^{-10}$ м. Чему равна длина волны де Бройля электрона на этой орбите?

41.48. Какой радиус второй орбиты электрона в атоме водорода, если длина волны де Бройля электрона на этой орбите равна $6{,}6 \cdot 10^{-10}$ м?

42. ФИЗИКА АТОМНОГО ЯДРА

$$N = N_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T}}, \quad E_{св} = \Delta m \cdot c^2 = \left(Zm_p + Nm_n - m_я\right) \cdot c^2$$

Пример решения задачи

При α-распаде неподвижного ядра радия-226 образуется ядро радона-222. Какова скорость образовавшегося ядра радона?

Дано:

$m_{Ra} = 226{,}02435$ а.е.м.

$m_{Rn} = 222{,}01922$ а.е.м.

$m_{He} = 4{,}00260$ а.е.м.

---

v_{Rn} –?

Решение.

При распаде ядра выделяется энергия $E = \Delta m \cdot c^2$, где Δm — разность между массой ядра радия и суммарной массой двух образовавшихся ядер:

$$\Delta m = (m_{Ra})_я - (m_{Rn})_я - (m_{He})_я =$$

$$= (m_{Ra} - 88m_e) - (m_{Rn} - 86m_e) - (m_{He} - 2m_e) =$$

$$= m_{Ra} - m_{Rn} - m_{He} = 2{,}53 \cdot 10^{-3} \text{ а.е.м.}$$

Согласно закону сохранения импульса образовавшиеся ядра разлетаются в противоположных направлениях с одинаковыми по модулю импульсами: $m_{Rn}v_{Rn} = m_{He}v_{He}$.

Из закона сохранения энергии $\Delta m \cdot c^2 = \frac{m_{Rn}v_{Rn}^2}{2} + \frac{m_{He}v_{He}^2}{2}$ получаем

$$v_{Rn} = c\sqrt{\frac{2m_{He} \cdot \Delta m}{m_{Rn}(m_{Rn} + m_{He})}}.$$

Проверка единиц величин:

$$[v] = \frac{\text{м}}{\text{с}}\sqrt{\frac{\text{кг} \cdot \text{кг}}{\text{кг} \cdot \text{кг}}} = \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Вычисляем скорость образовавшегося ядра:

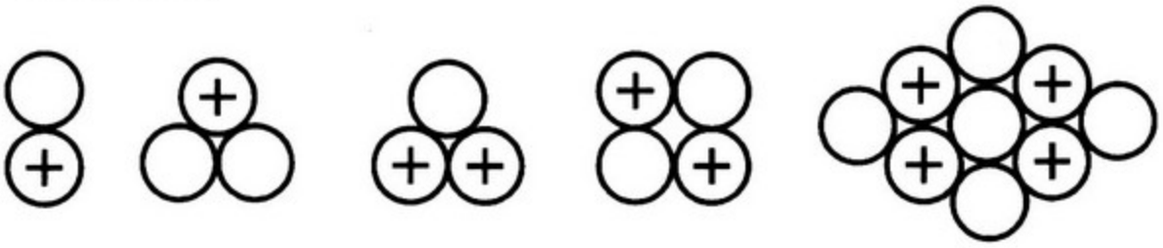
$$v_{Rn} = 3 \cdot 10^8 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 4 \cdot 2{,}53 \cdot 10^{-3}}{222 \cdot (222 + 4)}} = 1{,}9 \cdot 10^5 (\text{м/с}).$$

Ответ. 190 км/с.

Решите устно

42.1. Перечислите факты и явления, подтверждающие сложное строение атома.

42.2. На рисунках *а–д* схематически показаны некоторые ядра. Какие из них принадлежат изотопам одного и того же химического элемента? Назовите соответствующие изотопы.



а *б* *в* *г* *д*

42.3. Используя периодическую систему химических элементов, определите количество протонов, нейтронов и электронов в атомах углерода, фтора, галлия, молибдена.

42.4. Существуют ли атомные ядра с зарядом меньшим, чем у протона?

42.5. Изменяется ли химическая природа элемента при испускании γ -излучения его ядрами?

42.6. Чем характеризуется скорость распада радиоактивного вещества?

42.7. Найдите число протонов и нейтронов, входящих в состав трех изотопов магния: $^{24}_{12}\mathrm{Mg}$, $^{25}_{12}\mathrm{Mg}$, $^{26}_{12}\mathrm{Mg}$.

42.8. Что больше — масса атомного ядра или масса частиц, входящих в его состав?

42.9. Каковы главные особенности ядерных сил?

42.10. Можно ли измерить энергию связи ядра водорода $^{1}_{1}\mathrm{H}$?

Решите и запишите

42.11. Какое ядро образуется в результате α-распада полония-212?

42.12. При β-распаде из ядра свинца-210 вылетают электрон и антинейтрино. Какое ядро образуется в результате β-распада?

42.13. Заряды ядер атомов равны соответственно $0{,}4 \cdot 10^{-17}$ Кл, $5{,}6 \cdot 10^{-18}$ Кл, $88 \cdot 10^{-19}$ Кл. Какие химические элементы представляют эти атомы?

42.14. Чему равны заряды ядер атомов с порядковыми номерами в таблице Менделеева $Z = 1$, 5 и 20?

42.15. При облучении мишени протонами образуется магний-24 и вылетают α-частицы. Запишите уравнение происходящей ядерной реакции.

42.16. При облучении ядрами дейтерия мишени из молибдена-95 наблюдается вылет нейтронов. Запишите уравнение происходящей ядерной реакции.

42.17. Вычислите энергию связи ядра атома дейтерия ${}^{2}_{1}\mathrm{H}$.

42.18. Определите дефект массы ядра атома лития ${}^{7}_{3}\mathrm{Li}$ в атомных единицах массы и килограммах.

42.19. Период полураспада иода-131 равен 8 сут. Сколько процентов начального количества атомов иода-131 останется через 24 сут?

42.20. Определите энергетический выход ядерной реакции

$$ {}^{2}_{1}\mathrm{H} + {}^{2}_{1}\mathrm{H} \rightarrow {}^{3}_{2}\mathrm{He} + {}^{1}_{0}n, $$

если энергия связи ядра изотопа гелия — 7,7 МэВ, ядра атома дейтерия — 2,2 МэВ.

Достаточный уровень

Решите устно

42.21. Узкий пучок β-излучения в однородном магнитном поле заметно расширяется. О чем это свидетельствует?

42.22. Почему α-частицы, испускаемые радиоактивными препаратами, не могут вызвать ядерных реакций в тяжелых элементах?

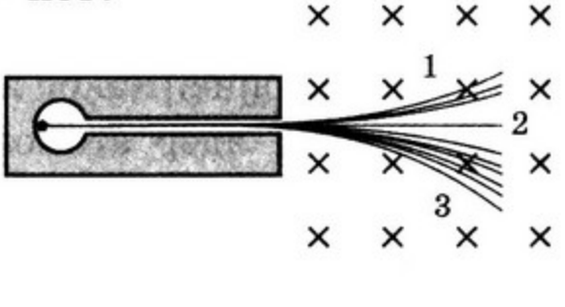
42.23. Почему ядро атома меди устойчиво, а ядро атома урана неустойчиво?

42.24. Одинаковы ли ядерные силы, действующие между двумя протонами, между двумя нейтронами, между протоном и нейтроном? Что из этого следует?

42.25. Альфа-частицу поглотило вещество. Куда же делась эта альфа-частица?

42.26. Какие ядерные процессы приводят к структурной перестройке ядер атомов, а какие — нет?

42.27. Излучение радиоактивного препарата, находящегося на дне канала в куске свинца, расщепляется в однородном магнитном поле на три пучка



(см. рисунок). Какой из этих пучков образован α-частицами? β-частицами? γ-излучением?

42.28. Почему невозможно предсказать момент распада отдельного атома радиоактивного вещества?

42.29. Чем определяется размер ядра? Может ли существовать ядро размером с арбуз?

42.30. Почему распад и деление тяжелых ядер происходят при любой температуре, а реакции синтеза легких ядер — только при достаточно высоких температурах?

Решите и запишите

42.31. Какое ядро с одинаковым числом нейтронов и протонов имеет радиус в полтора раза меньший, чем ядро $^{27}_{13}\mathrm{Al}$?

42.32. Радиоактивный атом $^{232}_{90}\mathrm{Th}$ превратился в атом $^{212}_{83}\mathrm{Bi}$. Сколько произошло α- и β-распадов в ходе этого превращения?

42.33. Ядро $^{216}_{84}\mathrm{Po}$ образовалось после двух последовательных α-распадов. Из какого ядра оно образовалось?

42.34. Вычислите энергию связи $E_{св}$ и удельную энергию связи $E_{св}/A$ для ядер $^{7}_{3}\mathrm{Li}$ и $^{27}_{13}\mathrm{Al}$.

42.35. При образовании ядра атома гелия $^{4}_{2}\mathrm{He}$ из двух ядер дейтерия освобождается 23,8 МэВ энергии. На сколько при этом уменьшилась масса возникшего ядра?

42.36. Какая энергия выделяется при синтезе одного ядра $^{4}_{2}\mathrm{He}$ из дейтерия и трития?

42.37. При бомбардировке с помощью α-частиц бора $^{11}_{5}\mathrm{B}$ наблюдается вылет нейтронов. Напишите уравнение ядерной реакции, приводящей к вылету одного нейтрона. Каков энергетический выход W этой реакции?

42.38. Найдите минимальную энергию W и частоту ν гамма-кванта, способного «разбить» ядро дейтерия на протон и нейтрон.

42.39. Каков период T полураспада изотопа, если за сутки распадается в среднем 900 атомов из 1000? 750 атомов из 1000? 1 атом из 1000?

42.40. Период полураспада радиоактивного йода-131 равен восьми суткам. За какое время t количество атомов йода-131 уменьшится в 1000 раз?

Решите устно

42.41. Свободные нейтроны превращаются в протоны. Почему обратный процесс возможен только внутри атомных ядер?

42.42. О чем свидетельствует факт, что атомное ядро в целом имеет меньшую плотность, чем отдельные его частицы?

42.43. Плотность вещества как легких, так и тяжелых ядер почти одинакова. О какой особенности ядерных сил свидетельствует этот факт?

42.44. Почему нет ядер, состоящих только из нейтронов?

42.45. Кинетическая энергия частиц, вылетающих из ядра при радиоактивном распаде, в миллионы раз превышает кинетическую энергию электронов в атоме. Как объяснить такое огромное различие в энергиях?

42.46. Произошел самопроизвольный распад ядра. Выделилась или поглотилась энергия во время этого распада? Ответ обоснуйте.

42.47. Почему природный уран не является атомным горючим и хранение его не связано с опасностью взрыва?

42.48. Источником энергии Солнца являются термоядерные реакции синтеза водорода и гелия. Почему же Солнце светит миллиарды лет с мало изменяющейся интенсивностью, а не взорвалось как водородная бомба?

42.49. Почему бомбардировка ядер урана медленными нейтронами может дать больший эффект, чем быстрыми?

Решите и запишите

42.50. Одна из α-частиц в опыте Резерфорда после взаимодействия с ядром золота изменила направление движения на противоположное. Какова была ее скорость в момент наибольшего сближения с ядром, если начальная скорость α-частиц равнялась 20 000 км/с?

42.51. Протон, двигавшийся со скоростью $v_0 = 500$ км/с, столкнулся с неподвижным ядром. В результате упругого столкновения направление движения протона измени-

лось на противоположное, а модуль его скорости уменьшился до $v = 400$ км/с. С каким ядром могло произойти это столкновение?

42.52. Во что превратится ядро изотопа урана $^{233}_{92}U$ после шести α- и трех β-распадов?

42.53. Сколько α- и β-распадов должно произойти, чтобы ядро тория-232 превратилось в ядро изотопа свинца-208?

42.54. Кинетическая энергия ядра дейтерия после лобового упругого столкновения уменьшилась на 29,5 %. С ядром какого атома могло произойти столкновение?

42.55. Период полураспада фосфора-32 равен 14 сут. На сколько процентов уменьшается активность препарата фосфора-32 за 20 сут?

42.56. Два образца содержали в начальный момент одинаковое количество радиоактивных атомов. Через сутки количество радиоактивных атомов в первом образце оказалось в 2 раза больше, чем во втором. Найдите период полураспада атомов второго образца, если для атомов первого образца он равен 8 ч.

42.57. Найдите минимальную кинетическую энергию W_k протона, способного «разбить» ядро дейтерия на протон и нейтрон.

42.58. Какую минимальную кинетическую энергию W_0 должна иметь α-частица для осуществления ядерной реакции $^{7}_{3}Li + {}^{4}_{2}He \rightarrow {}^{10}_{5}B + {}^{1}_{0}n$?

42.59. Сколько воды можно нагреть от 20 °С до 100 °С и испарить за счет энергии, выделяющейся при делении 9,4 г урана-235? Считайте, что при каждом делении ядра урана выделяется энергия 200 МэВ. Потери энергии не учитывайте.

42.60. КПД атомной электростанции мощностью 600 МВт равен 28 %. Найдите массу ядерного горючего (урана-235), которое расходует электростанция каждые сутки. Считайте, что при каждом делении ядра урана выделяется энергия 200 МэВ.

42.61. Какую массу $m_в$ воды, взятой при 0°, можно довести до кипения, используя энергию термоядерного синтеза гелия из дейтерия и трития, если КПД преобразования энергии равен 10 %? Масса синтезированного гелия $m = 1$ г.

О-201. Рассматривая электрон как классическую частицу, движущуюся в атоме водорода по круговой орбите вокруг неподвижного протона, выразите скорость v электрона и его механическую энергию W через радиус r орбиты.

О-202. Когда атом водорода находится в основном состоянии, де-бройлевская длина волны электрона как раз совпадает с длиной его «траектории». Пользуясь полученными в задаче 0-202 результатами, найдите радиус r орбиты электрона. Вычислите также энергию ионизации W_i, т. е. энергию, которую необходимо сообщить электрону, чтобы он покинул атом. Величину W_i выразите в электронвольтах.

О-203. В образцах урановой руды всегда содержится некоторое количество атомов тория-234, образовавшихся в результате α-распада урана-238 (период полураспада равен $T_U = 4{,}5 \cdot 10^9$ лет). Торий также радиоактивен (период полураспада $T_{Th} = 24$ сут). Сколько атомов тория содержится в образце урановой руды, в котором находится $m = 0{,}5$ г урана-238?

О-204. Мишень из $^{6}_{3}\mathrm{Li}$ подвергают бомбардировке нейтронами. Какова кинетическая энергия W_n этих нейтронов, если в направлении движения нейтронов вылетают α-частицы с кинетической энергией $W_\alpha = 3$ МэВ? Энергией испускаемых γ -квантов можно пренебречь.

О-205. На покоящееся ядро $^{7}_{3}\mathrm{Li}$ налетает протон с кинетической энергией $W_1 = 5$ МэВ. В результате реакции вылетают две α-частицы с одинаковыми энергиями. Найдите кинетическую энергию W_2 каждой из α-частиц и угол θ разлета α-частиц.

ОТВЕТЫ

МЕХАНИКА

КИНЕМАТИКА

1. МАТЕРИАЛЬНАЯ ТОЧКА. СИСТЕМА ОТСЧЕТА. ПУТЬ И ПЕРЕМЕЩЕНИЕ

1.8. Не означает. Пример — пересечение трамвайных путей.
1.11. 3 м, −1 м. **1.12.** Путь: 3 км, 4 км, 7 км; модуль перемещения: 3 км, 4 км, 5 км. **1.14.** 300 км, 700 км.
1.15. 6,7 м. **1.16.** $x = 11$ м, $y = 11$ м, 10 м.
1.18. Система отсчета, связанная с плоскостью горизонта.
1.19. Следует учесть, что могут изменяться *другие* координаты тела.
1.21. Путь равен модулю перемещения, если тело движется по прямой, не изменяя *направления* движения. Модуль перемещения не может превышать пути.
1.22. В системе отсчета, связанной с диском.
1.23. $s_x = s_y \approx 70$ м. **1.24.** 23,55 м, 7,1 м.
1.25. Путь: 6,28 км, 12,56 км, 25,12 км; модуль перемещения: 4 км, 0, 0.
1.29. а) Перемещения всех точек колеса практически одинаковы; б) максимальный путь прошли точки на поверхности шины, минимальный — точки на оси колеса.
1.32. В 1,57 раза. **1.33.** в) См. рисунок.



1.34. См. рисунок. Аэродром находится на расстоянии 300 км от Южного полюса.



1.35. Участок AB: $s = 20$ м; $s_x = 0$; $s_y = -20$ м; участок BC: $s = 50$ м; $s_x = 40$ м; $s_y = 30$ м; участок CD: $s = 32{,}5$ м; $s_x = -12{,}5$ м; $s_y = -30$ м; участок AD: $s = 34$ м; $s_x = 27{,}5$ м; $s_y = -20$ м. Пройденный футболистом путь найти нельзя, поскольку неизвестна траектория его движения.

1.36. 22 км; ≈ 10 км; $\approx 5{,}6$ км; 8 км. **1.37.** 2,5 км; 9,33 км.

2. ПРЯМОЛИНЕЙНОЕ РАВНОМЕРНОЕ ДВИЖЕНИЕ

2.3. Нельзя, так как неизвестно, как тело двигалось, проходя эти расстояния.

2.5. В системе отсчета «земля» траектория капли — вертикальная линия. В СО «вагон» движение капли есть результат сложения двух движений: горизонтального движения вагона и вертикального падения капли в воздухе. Поэтому след капли на стекле наклонный.

2.6. Относительная скорость взаимного движения поезда равна сумме скоростей движений обоих поездов относительно земли. Эта скорость больше скорости движения одного поезда относительно неподвижных предметов.

2.7. 50 мин. **2.8.** 2,25 км. **2.9.** 400 м. **2.10.** 8 м/с.

2.11. 2 ч; 6 ч. **2.12.** 2,5 км/ч. **2.13.** а) нет: например, тело может двигаться по кривой; б) нет: например, тело может двигаться скачками длиной по 3 м.

2.14. а) Да; б) да; в) нет. **2.15.** Вертикально вверх.

2.16. Формула *а* описывает прямолинейное равномерное движение; формула *в* не может описывать какое-либо реальное движение.

2.17. а) Графики отличаются друг от друга наклоном прямых к оси времени; б) графики отстоят от оси времени на разных расстояниях.

2.21. 10 с; 50 м. **2.22.** 1 м/с; 1 м/с. **2.23.** 4 м/с; −4 м/с.

2.24. 16,7 м/с; $x = 200 + 16{,}7t$. **2.27.** В 2 раза. **2.28.** 4 км/ч; в системе отсчета, связанной со шляпой, плывущей по течению.

2.29. 42 с. Задачу удобнее решать в системе отсчета, связанной с колонной. **2.30.** В два раза. **2.31.** Расстояние увеличивается со скоростью 100 км/ч.

2.32. Может. Обязательным условием является лишь равенство (при натянутом тросе) составляющих скоростей лыжника и катера на направление троса.

2.33. а), б) Нет; в) да. **2.34.** Кратчайшее время переправы не зависит от скорости течения. Течение мешает переплывать реку по кратчайшему пути.

2.35. По следам капель можно найти направление скорости капель относительно автомобиля. Скорость же автомобиля относительно земли показывает спидометр.

2.36. а) 6,5 ч; б) 6 ч. **2.37.** 45 км/ч. **2.39.** Скорость наполнения не изменится.

2.40. а) Количество дождевой воды в обоих ведрах будет одинаковым.

б) На катящийся мяч попадет капель в $\sqrt{1+v^2/u^2}$ раз больше.

2.41. 16 мин. **2.42.** 45 с. **2.43.** 1,5 мин. **2.44.** Каждый из туристов половину пути ехал на велосипеде, половину пути шел пешком. **2.45.** 100.

3. ПРЯМОЛИНЕЙНОЕ РАВНОУСКОРЕННОЕ ДВИЖЕНИЕ

3.3. Одинаково (на север).

3.9. Движение является равноускоренным в случаях *а*, *б*, *г*. Скорость тела в начале движения увеличивается только в случае *г*.

3.11. 25 с. **3.12.** 0,5 м/с^2; 6 м/с. **3.13.** 0,8 мс.

3.14. 4 м/с^2; 24 м/с. **3.15.** 0,6 м/с.

3.17. При прохождении первой половины длины ствола.

3.18. В случае $v_0 \neq 0$.

3.20. 5 с. **3.21.** $a_x = -1$ м/с^2. **3.22.** 12 м/с; при равноускоренном движении без начальной скорости модуль скорости прямо пропорционален времени движения.

3.23. 12 м; 75 м. **3.24.** 100 м.

3.25. 10 м/с^2; 40 м/с; 100 м/с; 15 м; 45 м.

3.27. $v_0 = 45$ см/с; $a = 30$ см/с^2. **3.28.** 5 см/с^2. **3.29.** 2 см/с^2.

3.30. Нет, так как в равноускоренном движении без начальной скорости пути, пройденные в последовательные равные промежутки времени, относятся как последовательный ряд нечетных чисел. В данном случае эта закономерность отсутствует.

3.31. Направление скорости изменяется на противоположное, направление ускорения не изменяется.

3.32. а) Ускорение пренебрежимо мало; б) ускорение можно считать бесконечно большим.

3.33. Ошибка есть: на втором этапе тело двигалось в положительном направлении оси OX, *увеличивая* скорость, поэтому на третьем этапе не могло быть $v_x < 0$.

3.34. Тело 1: а) 1,7 с $\leqslant t \leqslant$ 4,5 с; б) t = 1,7 с; t = 4,5 с; $t \geqslant$ 7 с; в) 0,4 с $\leqslant t \leqslant$ 0,7 с; г) t = 4,5 с; д) t = 1,7 с; t = 4,5 с.
Тело 2: а) 4 с $\leqslant t \leqslant$ 5,5 с; б) t = 0; t = 4 с; t = 5,5 с; в) t = = 1,7 с; г) t = 0; д) 0,4 с $\leqslant t \leqslant$ 0,7 с.

3.35. 10 с; 100 м; $l = s - t(v_{01} + v_{02})$. **3.36.** 68 км/ч.

3.37. $\sqrt{al}$. ***Указание.*** Воспользуйтесь графической интерпретацией пути по графику скорости и понятием средней скорости равноускоренного движения.

3.38. $3 < v_2 \leqslant 5$. **3.42.** 1 м/с; 2,5 м/с^2. **3.43.** $\Delta s = a\Delta\tau^2$. **3.44.** 10 см; 30 см; 50см. **3.45.** 102 мин.

4. СВОБОДНОЕ ПАДЕНИЕ. ДВИЖЕНИЕ ТЕЛА, БРОШЕННОГО ВЕРТИКАЛЬНО ВВЕРХ

4.11. 49 м/с; 122,5 м. **4.12.** 4,5 с. **4.13.** 5 м/с. **4.14.** 5 с; 10 с.

4.15. 16,5 м. **4.16.** 20 м; 24 м. **4.17.** 2 с; 3 м/с. **4.18.** 35 м.

4.19. 2,5 м. **4.20.** В 1,5 раза. **4.23.** Дальность полета прямо пропорциональна начальной скорости.

4.24. Разбег увеличивает горизонтальную составляющую скорости прыжка, поэтому увеличивается дальность полета.

4.27. 5 м; 15 м; 25 м.

4.28. Во всех трех случаях тело падает в течение одного и того же времени. Движение вагона сказывается только на горизонтальных составляющих скорости и ускорения тела и не влияет на характер его движения по вертикали.

4.29. Если увеличить начальную скорость. **4.30.** 60°. **4.31.** 154 м.

4.32. 200 м. **4.33.** 57 м; 3,4 с. **4.34.** 20 м/с; 20 м; 20 м/с.

4.36. $H = \dfrac{3v_0^2}{8g}$. **4.37.** α = 75°. **4.38.** t = 102 с; H = 12,7 км; L = = 88,4 км. Заметим, что реальные значения H и L в несколько раз меньше, поскольку при большой скорости сопротивление воздуха велико.

4.39. $v_0 = \cos\alpha\sqrt{\dfrac{gL}{2\sin\alpha}}$. ***Указание.*** Удобно совместить начало координат с вершиной горы, ось x направить горизонтально,

а ось y — вниз. Тогда координаты точки падения $x = L\cos\alpha$, $y = L\sin\alpha$ должны удовлетворять уравнению траектории горизонтально брошенного тела.

4.45. Одно тело движется относительно другого равномерно и прямолинейно со скоростью $\vec{v} = \vec{g}t$.

4.47. Используют только настильные траектории (время движения снаряда по настильной траектории меньше, чем по навесной).

4.48. Облако будет иметь форму сферы радиусом $v_0 t$.

4.50. Первый метр тело проходит за 0,45 с, последний — за 0,023 с; за первую секунду тело проходит 4,9 м, за последнюю — 39 м. **4.51.** 1 с.

4.52. $t = v_0/g - \tau/2 = 1{,}75$ с; $h = \dfrac{v_0^2}{2g} - \dfrac{g\tau^2}{8} = 19{,}3$ м.

4.53. $t = 0{,}645$ с; болт перемещается относительно Земли на 0,49 м вниз.

4.54. $v_0 = \sqrt{\dfrac{g}{2H}}(H - h) = 7{,}0$ м/с. **4.56.** 2 с. **4.57.** 40 м/с; 8 с.

4.58. 60°. **4.59.** 14 м; 10 м; 6 м; 2 м. **4.60.** 28,6 м. **4.61.** 2 с; 35,3 м; 45°.

4.62. Удар происходит при подъеме мяча; 5,6 м; 10,7 м/с; мяч упадет на расстоянии 13 м от стены.

4.63. О третью ступеньку.

5. РАВНОМЕРНОЕ ДВИЖЕНИЕ ПО ОКРУЖНОСТИ

5.7. 0,01 с. **5.8.** 30 км/с. **5.9.** 6 м/с. **5.10.** 2,25 м/с^2.

5.11. 1,9 м/с; 1,2 м/с^2. **5.12.** В 100 раз.

5.13. Нижняя часть гусеницы трактора неподвижна относительно грунта, поэтому относительно трактора она перемещается назад со скоростью 9 км/ч. Значит, верхняя часть гусеницы относительно трактора должна двигаться с той же скоростью вперед. Таким образом, относительно грунта верхняя часть гусеницы имеет скорость 18 км/ч.

5.14. Верхние точки колеса движутся со скоростью, превышающей скорость велосипеда. Поэтому частички грязи, слетающие с верхней части колеса, вполне могут догнать велосипедиста.

5.16. На прямолинейных участках KA и CM при равномерном движении ускорения нет. Оно появляется на закруглениях ABC и исчезает при переходе на прямолинейный участок.
5.19. 10,6 $с^{-1}$. **5.20.** 2 $с^{-1}$. **5.21.** 8,3 см. **5.22.** 1670 км/ч. **5.23.** 15 км.
5.24. $v = 300$ м/с; $a = 2{,}2$ см/$с^2$. **5.25.** 3,4 см/$с^2$; 2,4 см/$с^2$; 0.
5.26. а) второго; б) первого.
5.27. Кольца не являются сплошными твердыми телами, они состоят из множества отдельных тел.
5.28. Максимальный модуль ускорения на участке CD, ускорение равно нулю на участке EF.
5.30. Правые и левые колеса проходят различные расстояния.
5.32. 317 м/с; точка описывает винтовую линию.
5.33. а) $u = \dfrac{R}{R-r} \cdot v$; б) $u = \dfrac{R}{R+r} \cdot v$. **5.34.** $v_A = 0$; $v_B = 1{,}41$ м/$с^2$; $v_C = 2$ м/с; $a = 5$ м/$с^2$. **5.35.** $r = \dfrac{R}{\sqrt{4\pi^2 + 1}}$. **5.36.** $\omega = \dfrac{l}{\tau \cdot R \cdot \operatorname{tg}\alpha}$.

ДИНАМИКА

6. ЗАКОНЫ НЬЮТОНА

6.2. Из-за явления инерции. **6.5.** Шкаф сохраняет состояние покоя, так как действия тел на него компенсируются.
6.6. Автомобиль сохраняет состояние равномерного движения, так как действия тел на него компенсируются.
6.7. Скорость тела, действующая на него сила и ускорение тела направлены вниз. Скорость тела увеличивается.
6.8. Скорость тела направлена вверх, действующая на тело сила и ускорение тела направлены вниз. Скорость тела уменьшается. **6.9.** Увеличение массы автомобиля уменьшает ускорения, сообщаемые ему толчками камней булыжной мостовой. **6.10.** Чем длиннее ствол орудия, тем дольше снаряд находится под действием пороховых газов и тем больше начальная скорость снаряда при вылете из ствола.
6.11. На оба тела действуют одинаковые по модулю силы.
6.12. Равнодействующая равна векторной сумме сил, действующих на одно и то же тело, поэтому в данном случае речь о равнодействующей идти не может.
6.13. 60 Н. **6.14.** 0,5 м/$с^2$. **6.15.** Масса груза в 2 раза больше массы тележки. **6.16.** 120 Н. **6.17.** 1,8 Н. **6.18.** 4 кН. **6.19.** 2 м/$с^2$.

6.20. 2 кг. **6.21.** Да. **6.22.** Влево.

6.25. Одна из причин состоит в том, чтобы при изменениях скорости танкера нефть не скоплялась на носовой части или на корме.

6.26. Увеличение массы поезда уменьшает ускорения, сообщаемые ему толчками тепловоза, и делает ход поезда более спокойным.

6.29. Согласно третьему закону Ньютона на оба вагона действуют одинаковые по модулю силы, поэтому пружины сжимаются одинаково.

6.30. В третьем законе Ньютона речь идет о равенстве взаимодействующих сил. Результаты же взаимодействия могут быть неодинаковыми (зависят от массы тел, их прочности и т. д.).

6.31. Нарушится. **6.32.** 20 кг. **6.33.** 10 Н. **6.34.** 375 Н. **6.35.** 10 Н.

6.36. 30 кН. **6.37.** 625 Н.

6.38. Во втором случае сила натяжения каната вдвое больше.

6.39. При переходе в другую инерциальную систему отсчета изменяются все перечисленные величины, кроме ускорения. При переходе в неинерциальную систему отсчета изменяются ***все*** величины.

6.40. Требуется непрерывно изменять направление и величину своей скорости, преодолевая инерцию тела.

6.41. Для изменения направления движения требуется сила. Взаимодействие рук человека с деревом или столбом и обеспечивает эту силу.

6.43. При выстреле разгон снаряда происходит слишком быстро, вследствие чего он движется с настолько большим ускорением, что соответствующие перегрузки не смогли бы выдержать не только люди, но и приборы. При использовании же реактивных двигателей продолжительность разгона во много раз увеличивается, вследствие чего перегрузки становятся допустимыми.

6.44. При ударе молота о наковальню она вследствие большой массы приобретает малое ускорение. Соответствующее малое смещение наковальни не опасно для человека.

6.45. Человек и груз будут подниматься вверх с одинаковой скоростью.

6.46. Нет, так как отсутствует взаимодействие с другим телом.

6.47. В начале приседания показание весов уменьшается, а в конце — увеличивается. При выпрямлении вес человека сначала увеличивается, а затем уменьшается.

6.48. ***Указание***: примите во внимание силы трения, действующие между телами: телега–земля и лошадь–земля.

6.49. В случае *а*). **6.50.** 2,5 м/с. **6.51.** 3 м/с.

6.52. $F = F_1(l - x)/l + F_2 x/l$. **6.53.** 49,25 Н.

6.54. а) $T = \dfrac{m_2}{m_1 + m_2} F = 1,2$ Н; б) $T = \dfrac{m_1}{m_1 + m_2} F = 0,8$ Н. ***Указание.*** Обратите внимание на то, что сила T сообщает в обоих случаях одно и то же ускорение телам разной массы.

6.55. $P = 4,4$ кН; в 6,4 раза. **6.56.** В одной плоскости, под углами 120° друг к другу. **6.57.** $F_x = -4$ Н.

7. СИЛА УПРУГОСТИ. СИЛА ТРЕНИЯ

7.8. Да, может (когда тело движется вверх по наклонной плоскости). **7.11.** 50 Н/м. **7.12.** 30 см. **7.13.** 500 Н/м. **7.14.** 8 кН.

7.15. 0,5 кг. **7.16.** 25 Н. **7.17.** 0,3.

7.18. $F = mg\sin\alpha \approx 10$ (Н); растет вплоть до начала скольжения.

7.20. Может, когда вектор скорости направлен перпендикулярно вектору силы упругости.

7.22. Нет. Если гвоздь слегка проржавел с поверхности, это не уменьшает существенно его прочность и одновременно способствует увеличению силы трения гвоздя о стенки отверстия.

7.28. 6 Н/м. **7.29.** 2 см. **7.30.** 2 м/с^2. **7.31.** 6,4 кН/м. **7.32.** 15 м/с.

7.33. 0,3. **7.34.** 13,9 м; 125 м. **7.35.** а) 5 Н; б) 8 Н; в) 9,8 Н.

7.36. $2k$. **7.37.** $4k$. **7.38.** 17 Н. **7.39.** Легче сдвинуть пять верхних.

7.41. Не менее 20 Н. **7.42.** 1 см.

7.43. $t = \sqrt{\dfrac{2m(g-a)}{ak}}$ при $a \leqslant g$, $t = 0$ при $a > g$.

7.44. $x = \dfrac{M}{k\rho_1} \cdot (\rho_1 g - \rho_2 g + \rho_1 a) \approx 1,6$ (см). **7.45.** $F \leqslant T + \mu M_1 g$ при

$T \leqslant \mu M_2 g$; $F \leqslant T\,(1 + M_1/M_2)$ при $T > \mu M_2 g$.

8. ЗАКОН ВСЕМИРНОГО ТЯГОТЕНИЯ. СИЛА ТЯЖЕСТИ И ВЕС ТЕЛА

8.5. Сила тяжести, действующая на самолет, уменьшается, так как во время полета расходуется топливо.

8.8. Во всех точках траектории. **8.9.** Около $2 \cdot 10^{-7}$ Н.

8.10. $4{,}3 \cdot 10^{-7}$ Н. **8.11.** $g_{\text{л}} = 1{,}6$ м/с^2, $g_{\text{с}} = 270$ м/с^2.

8.13. 7,6 Н. **8.14.** 104,4 Н. **8.15.** Керосин. **8.16.** Полый.

8.19. На расстоянии 9 земных радиусов.

8.22. Сила трения покоя. **8.24.** Нет.

8.25. Камень находится в состоянии невесомости во время всего полета независимо от того, в каком направлении брошен камень.

8.26. Если «падением» называть движение с ускорением свободного падения, то надо считать, что спутник падает.

8.27. 6400 км. **8.28.** У Луны меньше радиус.

8.29. 1,6 м/с^2; 270 м/с^2. **8.29.** 664 Н. **8.30.** В 1600 раз.

8.31. $2 \cdot 10^{30}$ кг. **8.32.** 1000 м/с; 27,3 сут. **8.33.** 2,8 кН. **8.34.** 67,5 Н.

8.36. Ускорения, которые сообщает Земле и Луне Солнце, примерно одинаковы. Поэтому Земля и Луна образуют единую систему двух небесных тел, обращающихся вокруг общего центра масс, а центр масс системы Земля–Луна обращается вокруг Солнца.

8.37. Не изменился, так как период обращения спутника по орбите не зависит от его массы.

8.38. а) Повлияло бы существенно; б), в) влияние будет незначительным.

8.39. Под действием сил притяжения Луны и Солнца твердое тело Земли деформируется (вертикальные смещения земной поверхности в течение суток достигают 50 см). Но намного большими (достигающими нескольких метров) являются смещения поверхности Мирового океана, вследствие чего и возникают приливы и отливы.

8.40. Вес больше силы тяжести в случаях *а* и *г*; вес меньше силы тяжести в случаях *б* и *в*.

8.42. Вес больше силы тяжести в случае *б*; вес меньше силы тяжести в случае *а*.

8.43. $v = R\sqrt{\dfrac{g}{R+h}}$, $T = \dfrac{2\pi(R+h)}{R}\sqrt{\dfrac{R+h}{g}}$.

8.44. $F = \dfrac{GMm}{7}\left(\dfrac{8}{d^2} - \dfrac{1}{(d - R/2)^2}\right)$. **8.45.** $\rho = \dfrac{9\pi}{2GT^2} = 5{,}9 \cdot 10^3$ кг/м^3.

8.46. $r = R\left(\dfrac{gT^2}{4\pi^2 R}\right)^{1/3} = 6{,}6\ R = 4{,}2 \cdot 10^4$ км, $v = R\sqrt{\dfrac{g}{r}} = 3{,}1$ км/с,

$T = 24$ ч. Траектория полета должна лежать в экваториальной плоскости.

8.47. В 1,06 раза; вес уменьшился до нуля.

8.48. Расстояние увеличилось; скорость уменьшилась.

8.49. Вес водителя увеличивается в 1,1 раза.

9. ПРИМЕНЕНИЕ ЗАКОНОВ ДИНАМИКИ

9.1. 4,65 Кн. **9.2.** 350 Кн. **9.3.** 15 Н. **9.4.** $a = g/3$. **9.5.** 200 Н.

9.6. 600 Н. **9.7.** $a = g/4$. **9.8.** 28 Н; 2,1 м. **9.9.** 2,3 кН. **9.10.** 3,2 м/с^2.

9.11. 6 кН. **9.12.** 950 Н. **9.13.** 196 м. **9.14.** 19 м/с. **9.15.** 2,5 м/с^2; 5,5 Н.

9.16. $\alpha = \operatorname{arctg}(a/g)$; $T = m\sqrt{g^2 + a^2}$.

9.17. $a = 2{,}0$ м/с^2, $T = 1{,}2$ Н, $F = 2{,}4$ Н. **9.18.** 0,2. **9.19.** 2,45 м/с^2.

9.20. $a = 2{,}4$ м/с^2, $t = 1{,}3$ с. **9.21.** 277,3 Н.

9.22. Время не зависит от угла наклона желоба.

9.23. $T = 2\pi\sqrt{\dfrac{l\cos\varphi}{g}}$.

9.24. $\omega = \sqrt{\dfrac{g\operatorname{tg}\alpha}{r + l\sin\alpha}} = 4{,}7$ рад/с, $n = \dfrac{\omega}{2\pi} = 0{,}75$ с$^{-1}$ $= 45$ об/мин.

9.25. 8 см. **9.26.** 1,5 Н.

9.27. 24 Н. Порвется нить, связывающая первый и второй бруски.

9.28. $a = \dfrac{m_2\sin\beta - m_1\sin\alpha}{m_1 + m_2}g$, $T = \dfrac{m_1 m_2 g(\sin\alpha + \sin\beta)}{m_1 + m_2}$.

9.29. $a_1 = \dfrac{2(2m_1 - m_2)}{4m_1 + m_2}g$, $a_2 = \dfrac{2m_1 - m_2}{4m_1 + m_2}g$, $T = \dfrac{3m_1 m_2 g}{4m_1 + m_2}$.

Указание. Из нерастяжимости нити следует, что перемещения грузов связаны соотношением $s_1 = 2s_2$, поэтому $a_1 = 2a_2$. Уравнения движения грузов:

$m_1 a_1 = m_1 g - T$, $m_2 a_2 = 2T - m_2 g$ ($a_1 > 0$, $a_2 > 0$ *соответствуют опусканию первого груза*).

9.30. $a = \dfrac{m_1 - \mu m_2}{m_1 + m_2}g$, $T = \dfrac{m_1 m_2 g(1 + \mu)}{m_1 + m_2}$ при $m_1 \geqslant \mu m_2$; $a = 0$, $T = m_1 g$ при $m_1 < \mu m_2$. В случае, когда система находится в лифте, следует во всех этих формулах заменить g на $g' = g + a_0$. ***Указание.*** Если масса m_1 невелика, второй груз покоится относительно стола и на него действует сила трения

покоя ($F_{тр} \leqslant \mu N$, где N — сила нормального давления на поверхность). Если же сила натяжения нити превышает максимальную силу трения покоя, система приходит в движение (и будет двигаться с ускорением). При этом на второй груз будет действовать сила трения *скольжения* $F_{тр} = \mu N$.

9.31. а) $a = 0{,}42$ м/с^2, $T = 9{,}4$ Н; б) $a = 0$, $T = 9{,}8$ Н.

9.32. $R = v^2 \operatorname{ctg}\alpha / g = 5800$ м. ***Указание.*** Подъемная сила, действующая на крыло со стороны воздуха, перпендикулярна плоскости крыла; центростремительное ускорение сообщает самолету равнодействующая подъемной силы и силы тяжести.

10. ЭЛЕМЕНТЫ СТАТИКИ

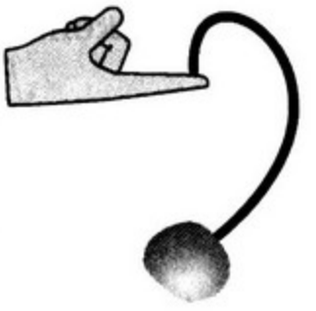
10.4. В случае *а*. **10.5.** Чтобы увеличить плечо силы, прикладываемой к рукоятке, и уменьшить плечо силы, действующей на жесть. **10.6.** Уменьшение плеча рычага дает возможность увеличить вес поднимаемого груза. **10.11.** 40 Н.

10.12. 35 кг и 15 кг. **10.13.** 64 Н. **10.14.** 500 Н. **10.15.** 2 кг и 18 кг.

10.16. Момент равен нулю в верхней и нижней точках; максимален в горизонтальном положении педали.

10.17. Чтобы не создавать опрокидывающих машину в вертикальной плоскости моментов сил, которые могут возникать при торможении передних колес.

10.18. Может, см. рисунок.



10.19. Из-за наличия момента силы тяжести относительно точки опоры.

10.20. Нет, так как точку приложения силы можно перемещать по линии ее действия.

10.22. Чтобы увеличить площадь опоры.

10.23. Держа параллельно. **10.24.** Сила натяжения каждого троса 98 Н. **10.25.** 300 Н; 200 Н. **10.26.** 88 Н и 120 Н.

10.28. Стержень AB растянут силой 17 Н, а стержень BC сжат силой 34 Н. **10.29.** $H \geqslant 5{,}5$ м. **10.30.** $h = \dfrac{l}{\sqrt{3}}$. **10.31.** $F_3 = 6$ мН. Силу $\vec{F}_3$ надо направить противоположно силам $\vec{F}_1$ и $\vec{F}_2$. Линия ее действия должна отстоять на 1,2 мм от линии действия силы $\vec{F}_1$ и на 0,6 мм от линии действия силы $\vec{F}_2$.

10.32. На расстоянии 78 см от левого конца стержня.

10.33. 6,9 кН и 3,9 кН. **10.34.** 250 г; на 1/3 длины линейки.

10.35. $\alpha > \pi/3$. **10.36.** Между шарами массами 2 кг и 3 кг, на расстоянии 10 см от шара массой 2 кг. **10.37.** Второму из приятелей приходится нести вдвое больший вес.

10.40. Момент силы тяжести компенсируется моментом силы трения. Из-за малости последнего уменьшаем плечо силы тяжести, уменьшая длину шага.

10.41. Не нарушится; не зависит. **10.42.** К верхней части обода.

10.44. $0 \leqslant F_{\text{тр.п}} \leqslant F_{\max}$. **10.45.** Может: например, брусок может находиться в неустойчивом равновесии, опираясь на ребро.

10.46. $F = \dfrac{\mu mg}{\cos\alpha - \mu\sin\alpha}$ при $\mu\,\mathrm{tg}\,\alpha < 1$; при $\mu\,\mathrm{tg}\alpha \geqslant 1$ сдвинуть ящик невозможно. **10.47.** $F_{AC} = mg\dfrac{AC}{AB} = 0{,}98$ кН, $F_{AC} = mg\dfrac{BC}{AB} = 1{,}3$ кН. **10.48.** а) $m_3 = 4$ кг; б) $m_3 = 4{,}4$ кг.

10.49. $m = 20$ г. Левое плечо весов вдвое длиннее правого.

10.50. 300 Н к одному концу или 233 Н к другому, если сила направлена вверх; 700 Н или 2,1 кН, если сила направлена вниз. **10.51.** $N_A = 400$ Н, $N_B = 500$ Н.

10.52. $N_A = P\cos\alpha \cdot \dfrac{BC}{AB} = 350$ Н, $N_B = P\cos\alpha \cdot \dfrac{AC}{AB} = 430$ Н; стержень сжат с силой $N = P\sin\alpha = 50$ Н.

10.53. $F > mg\dfrac{\sqrt{h(2R-h)}}{R-h}$ при $h < R$; при $h \geqslant R$ решения нет.

10.54. $T = \dfrac{mg(l+R)}{\sqrt{l(l+2R)}}$, $F = \dfrac{mgR}{\sqrt{l(l+2R)}}$. **10.55.** $\alpha_{\max} = \mathrm{arctg}\,(2\mu)$.

10.56. Центр тяжести находится в точке пересечения медиан треугольника.

ЗАКОНЫ СОХРАНЕНИЯ В МЕХАНИКЕ

11. ИМПУЛЬС. ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ ИМПУЛЬСА

11.3. Может, отбрасывая от себя какие-либо предметы.

11.4. Передается молекулам воздуха. **11.5.** Реактивное.

11.9. Импульс автобуса в 37,5 раз больше. **11.10.** 0; −24 кг · м/с. **11.11.** 100 Н. **11.12.** 300 Н. **11.13.** 30 м/с. **11.14.** 7,5 м/с. **11.15.** 2 кН. **11.16.** 0,9 м/с. **11.17.** 5 м/с. **11.18.** 3 м/с. **11.19.** Импульс свинцового тела в 1,5 раза больше. **11.20.** Нет: импульсы автомобилей равны только по модулю, направлены же они противоположно. **11.21.** Нет, в первом случае дальше. **11.22.** С груженой. **11.23.** Согласно закону сохранения импульса внутренние силы системы не могут привести в движение ее центр тяжести. **11.26.** Если пренебречь трением лодки о воду, то из закона сохранения импульса вытекает: приближение человека к берегу вызывает удаление лодки от берега. **11.27.** Когда струя воздуха попадает на парус, лодка остается на месте. Если дуть мимо паруса, лодка будет двигаться. **11.29.** $m = 5$ кг; $F_x = -5$ Н. **11.30.** $v_x = -0,3 + 5t$; $p_x = -0,12 + 2t$. **11.31.** 2,8 кг · м/с; 4 кг · м/с; 0. **11.32.** 15 м. **11.33.** 8,6 м/с. **11.34.** 300 м/с. **11.35.** 8 км. **11.36.** 12,5 м/с в противоположном направлении. **11.37.** $2 \cdot 10^4$ т. **11.38.** 162 м/с. **11.39.** Нет. **11.40.** Время столкновения пули со стеклом очень мало. За это время деформация, вызываемая давлением пули, не успевает распространиться на большие расстояния. Поэтому импульс, теряемый пулей, передается небольшому участку стекла, и пуля пробивает в нем круглое отверстие. **11.42.** ***Указание.*** См. решение задачи **11.40.** **11.43.** Согласно закону Паскаля давление, создаваемое пулей, предается во все стороны и разрушает стакан. **11.44.** Нет. **11.46.** 15 Н. **11.47.** 1695 м. **11.48.** $u = mv_0 \cos\alpha / M = 1,25$ м/с. **11.49.** 1 м. **11.50.** Лодка сместится в сторону перемещения более легкого из рыбаков на $(m_2 - m_1)l/(M + m_1 + m_2) = 0,71$ м. **11.51.** Для мяча $F_{ср} = 32$ Н, в случае наклонной поверхности $F_{ср} = 28$ Н. Для пластилинового шара $F_{ср} = 180$ Н в обоих случаях. **11.52.** $l\sin^2(\alpha/2)$. ***Указание.*** Действующие на бревно силы вертикальны, поэтому горизонтальная проекция импульса бревна не изменяется, т. е. остается равной нулю. Следовательно, центр масс бревна по горизонтали не перемещается. **11.53.** 0, 625 м. **11.54.** 2 м/с. **11.55.** 44 м; 11 м. **11.56.** $v = \dfrac{sgt_0}{4h}$.

12. МЕХАНИЧЕСКАЯ РАБОТА. ЭНЕРГИЯ. ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ ЭНЕРГИИ

12.4. Да; да (например, когда при включении транспортера лежащее на нем тело приходит в движение).

12.5. 98 Дж; 0. **12.6.** Нет. **12.7.** Нет. **12.8.** Положительную. **12.9.** Мы совершаем положительную работу, а сила упругости — отрицательную. **12.10.** Уменьшается; не зависит.

12.11. Увеличивается в обоих случаях.

12.12. Механическая энергия уменьшается вследствие превращения во внутреннюю энергию.

12.15. 0,4 Дж. **12.16.** $3{,}6 \cdot 10^9$ Дж. **12.17.** −200 кДж. **12.18.** 3,2 т.

12.19. 40 с. **12.20.** 25 Дж. **12.21.** 25 м. **12.22.** 20 м. **12.23.** 90 Дж.

12.24. 10 м. **12.25.** 5 м/с. **12.26.** 3,8 м. **12.30.** 0.

12.31. На подъеме нужна большая сила тяги, а при постоянной мощности двигателя увеличить силу тяги можно, только уменьшив скорость.

12.32. За счет уменьшения потенциальной энергии окружающего воздуха.

12.33. Потенциальная энергия груза и пружины переходит в кинетическую энергию груза, а затем кинетическая энергия груза переходит в потенциальную энергию груза и пружины; при максимальных отклонениях от положения равновесия.

12.36. 700 Дж. **12.37.** 105 кДж. **12.38.** 15,6 кВт. **12.39.** 30 кН.

12.40. $N_{ср} = 120$ кВт. **12.41.** $A = Fh = 2,0$ кДж. $\Delta E_П = Mgh = 0{,}98$ кДж. Камень при подъеме приобретает, помимо потенциальной энергии, кинетическую энергию $E_к$, так что $A = \Delta E_п + E_к$.

12.42. $s = \dfrac{v^2}{2g \operatorname{tg}\alpha} = 35$ м. **12.43.** 12 кДж; 66,7 %. **12.44.** 6,6 м.

12.45. 500 Дж. **12.46.** 100 Н. **12.54.** 1:3. **12.55.** $A = 1{,}2$ кДж.

12.56. $A = MgL(\mu_1+\mu_2)/2$. ***Указание.*** В процессе движения сила трения изменяется от $\mu_1 Mg$ до $\mu_2 Mg$, причем ее зависимость от пройденного пути линейная.

12.57. 7,84 Дж. **12.58.** В обоих случаях $A = -\mu mgL$.

12.59. $A = Fmgh/(F - ma) = 590$ Дж, $\Delta E_п = mgh = 490$ Дж, $E_к = m^2gha/(F - ma) = 98$ Дж. **12.60.** $v = 7{,}2$ м/с.

12.61. $N = 2mgv\sin\alpha = 33$ кВт. ***Указание.*** При подъеме и спуске на автомобиль действовали одинаковые по величине силы сопротивления, равные $mg\sin\alpha$.

12.62. $\mu = 0{,}05$. **12.63.** $E = \dfrac{m_1 m_2 (v_1 - v_2)^2}{2(m_1 + m_2)}$. **12.64.** $h_1 = H\left(\dfrac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2}\right)^2 =$

$= 2{,}0$ см; $h_2 = 4H\left(\dfrac{m_1}{m_1 + m_2}\right)^2 = 32$ см. **12.65.** $H_{\min} = 5R/2$.

12.66. $H = 2R/3$. **12.67.** 10 м/с. **12.68.** $v_0 = 2\dfrac{M+m}{m}\sqrt{gl}\cdot\sin\dfrac{\alpha}{2}$.

12.69. $H = 100$ м. Неправдоподобность этого ответа означает, что силы сопротивления (особенно при движении в воде) велики и пренебрегать ими нельзя.

12.70. Первый (более массивный) шар движется со скоростью $v/\sqrt{3}$, второй — со скоростью $2v/\sqrt{3}$ под углом 30° к начальной скорости первого. **12.71.** $v = 20$ м/с.

МЕХАНИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ

13. МЕХАНИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ

13.1. Амплитуда, период, частота постоянны. **13.2.** Не изменится. **13.4.** В 2,25 раза. **13.7.** 2200. **13.8.** 0,25 с; 4 Гц. **13.9.** 9,89 м/с^2. **13.10.** 10 см; 4 с; 0,25 с. **13.11.** 2,25 м. **13.12.** 2 с; 9,81 м/с^2. **13.13.** 4 кг. **13.14.** 97 Н/м; 0,5 Гц. **13.15.** 6 см. **13.19.** На Луне часы будут идти медленнее, чем на Земле. **13.20.** 2 с; 0,5 Гц. **13.23.** Вниз. **13.24.** Фаза меняется прямо пропорционально времени колебания. **13.25.** $x = 0{,}08\cos 2\pi t$. **13.26.** 0,4 м; 0,4 с; 2,5 с; 0. **13.27.** $T/6$. **13.28.** 0,15 м; 4 с; 0,25 Гц. **13.29.** 1/3 периода. **13.30.** 0,50 с; 0,17 с; 0,33 с. **13.31.** $v = \sqrt{2gl}$. **13.32.** 2 с.

13.33. а) $T = 2\pi\sqrt{\dfrac{m}{k_1 + k_2}}$; б) $T = 2\pi\sqrt{\dfrac{m(k_1 + k_2)}{k_1 k_2}}$; в) $T = 2\pi\sqrt{\dfrac{m}{k_1 + k_2}}$.

13.34. 0,75 м/с.

13.35. На полюсе часы будут спешить, на экваторе — отставать.

13.37. а) В точке, соответствующей максимальному смещению от положения равновесия; б) в точке, соответствующей положению равновесия.

13.39. Синусоида. **13.41.** С ускорением 5,4 м/с^2, направленным вниз.

13.42. $v = 2\sin\dfrac{\alpha}{2}\sqrt{l\cdot g}$; $a = 4g\sin^2\dfrac{\alpha}{2}$.

13.43. $\nu < \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{g}{A}} = 7{,}0$ Гц. ***Указание.*** Максимальное ускорение подставки (в верхней точке) должно быть не больше ускорения свободного падения. **13.44.** 0,72 м; 0,5 м.

13.45. $A = \sqrt{(mg/k)^2 + 2mgh/k}$. **13.46.** $T = \pi\sqrt{\frac{2m}{k}}$.

14. МЕХАНИЧЕСКИЕ ВОЛНЫ. ЗВУК

14.4. В струне — поперечные, в воздухе — продольные.
14.6. Например, приводит в движение барабанную перепонку уха. **14.7.** Колебаниями крыльев насекомого. **14.9.** 1450 м/с.
14.10. 1,5 м/с. **14.11.** 0,5 с; 2 Гц. **14.12.** 0,4 с. **14.13.** 1,8 м. **14.14.** 3 м/с.
14.15. 1,6 м; 7,5 м.
14.16. По-видимому, ядро находится в жидком состоянии.
14.17. Чтобы увеличить коэффициент трения смычка о струну и этим улучшить условия возбуждения колебаний струны.
14.18. При увеличении массы струны частота ее колебаний уменьшается.
14.19. Прижимая струну пальцем, скрипач фактически уменьшает ее длину. Вследствие этого частота звука увеличивается. **14.20.** На частоту.
14.21. Сила звука одинакова, а громкость нет.
14.22. Летучие мыши используют ультразвуковую локацию.
14.23. 1,5 с; 4,5 м. **14.24.** 2,4 м/с. **14.25.** 883 м. **14.26.** 170 Кн.
14.27. $v_2 = \frac{\lambda_2}{\lambda_1} v_1$.

14.31. При этих способах волны ударяются в корпус судна не в такт с его собственными колебаниями (резонанс).
14.32. Длина волны уменьшается в k раз.
14.33. То, что было бы гармонично вблизи оркестра, звучало бы дисгармонией вдали от него.
14.34. 1,5 км/с. **14.35.** $\nu_k = k \cdot 50$ Гц, где $k = 1, 2, 3, \ldots$.
14.36. При уровне воды 25 см или 75 см.
14.37. $h = \frac{v}{4\nu}(2k+1) = 50 \text{ м} \cdot (2k+1)$, где v — скорость звука в воде, $k = 0, 1, 2, 3, \ldots$. **14.38.** 300 Гц; 150 Гц.

МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА И ТЕРМОДИНАМИКА

МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА

15. МОЛЕКУЛЯРНО-КИНЕТИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ

15.12. На больших высотах, где воздух очень разрежен.
15.15. 11 моль. **15.16.** 1,6 кг. **15.17.** $4,5 \cdot 10^{24}$. **15.18.** 148 см^3.
15.19. Кислород. **15.20.** $\frac{N_{Ag}}{N_{Al}} = 0,25$. **15.21.** 76 кПа. **15.22.** 0,11 МПа.
15.23. 680 м/с. **15.24.** 10^{-21} Дж. **15.25.** 270 К. **15.26.** $6 \cdot 10^{-21}$ Дж; $2 \cdot 10^{26}$ м$^{-3}$. **15.27.** 774 К. **15.28.** 1,1 МПа. **15.30.** Перемещение молекул затрудняется из-за частых столкновений молекул в результате их хаотического движения. **15.31.** Одновременно.
15.38. а) средняя кинетическая энергия одинакова; б) молекулы азота. **15.39.** Из-за низкой концентрации молекул воздуха.
15.40. Средние квадратичные скорости движения молекул газа превышают первую космическую скорость у поверхности Луны. **15.41.** $3,9 \cdot 10^{18}$ молекул. **15.42.** $4,2 \cdot 10^{20}$.
15.43. В стакане воды в 2,5 раза больше. **15.44.** 10^9. **15.45.** 0,2 кг/м^3.
15.46. 6 кДж. **15.47.** $3 \cdot 10^{-20}$ Дж. **15.48.** $1,2 \cdot 10^9$. **15.49.** $1,2 \cdot 10^{-23}$ Дж.
15.50. $\overline{E} = 6,2 \cdot 10^{-21}$ Дж; средняя квадратичная скорость молекул кислорода 490 м/с, водорода 1900 м/с.
15.51. Может, если концентрация и температура не везде одинаковы. **15.52.** На молекулы действует сила тяжести, противодействующая диффузии.
15.54. Температура стенок сосуда равна температуре находящегося в сосуде газа, поэтому молекулы стенок имеют такую же среднюю энергию поступательного хаотического движения, что и молекулы газа. Следовательно, при одних ударах о стенки молекулы газа отдают молекулам стенки часть своей кинетической энергии, а при других ударах, наоборот, получают часть энергии от стенок. В результате средняя энергия хаотического движения молекул газа и молекул стенок остается неизменной.
15.56. $p = nm_0\overline{v^2}$.

15.57. Конечное давление равно начальному, так как концентрация молекул газа в сосуде не изменилась.

15.58. Легче сосуд с влажным воздухом. **15.59.** Давление увеличилось бы. **15.60.** а) Давления одинаковы; б) в Z раз больше давление газа, молекулы которого тяжелее.

15.61. $\rho = m_0/a^3$. **15.62.** $a = 2{,}8 \cdot 10^{-10}$ м. **15.63.** $\rho = \dfrac{4M}{N_A a^3}$. ***Указание.*** См. задачу 15.61. В данном случае на каждую кубическую ячейку объемом a^3 приходится по четыре иона.

15.64. $p = 3p_a/4$, где p_a — атмосферное давление. ***Указание.*** Молекула, поглощаемая поверхностью, передает ей вдвое меньший импульс, чем импульс, который был бы передан той же молекулой при упругом соударении.

15.65. $2p_0/3$. ***Указание.*** Согласно уравнению реакции $2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O$, кислород и водород в данном случае прореагируют полностью, без остатка. При этом из трех молей газа получаются два моля. **15.66.** $p = 176$ кПа. **15.67.** 10^{12}. **15.68.** Давление увеличилось в 3 раза. **15.69.** а) $p_а = 2mv^2n \approx 3{,}3 \cdot 10^{-3}$ Па; б) $p_б = \dfrac{p_а}{2}$; в) $p_в = 2mn(v+u)^2 = 3{,}7 \cdot 10^{-3}$ Па

15.70. 460 м/с; 270 К. **15.71.** $3 \cdot 10^7$ Дж.

16. УРАВНЕНИЕ СОСТОЯНИЯ ИДЕАЛЬНОГО ГАЗА

16.5. Нет, так как в разных местах комнаты температура и давление будут различными. **16.6.** 13,8 г. **16.7.** 385 К. **16.8.** 2,1 МПа.

16.9. Кислород (0,032 кг/моль). **16.10.** 240 К. **16.11.** $2 \cdot 10^{-3}$ м^3.

16.12. Уменьшилась в 2 раза. **16.13.** 6,9 моль. **16.14.** 1,1 кг/м^3.

16.15. 2,7 Н.

16.16. Это возможно при изменении массы газа, а уравнение $\dfrac{pV}{T} = \text{const}$ применимо только к постоянной массе газа.

16.20. Точкой (при любом выборе осей). **16.21.** $p = 140$ МПа. **16.22.** 10^{26}.

16.23. $p = \dfrac{p_1V_1 + p_2V_2}{V_1 + V_2}$. **16.24.** $\dfrac{\Delta m}{m} = \dfrac{1}{3}$.

16.25. 80 см от левого края. ***Указание.*** При указанных в условии свойствах поршня давление и температуру в обеих частях сосуда можно считать одинаковыми.

16.26. 0,55 г. *Указание.* При указанных в условии свойствах шарика давление и температуру в шарике и воде можно считать одинаковыми.

16.27. 0,48 кг/м^3. **16.28.** Давление газа уменьшилось на 9 %.

16.29. а) Нет; б) да. **16.30.** Да, так как изменение давления в обеих банках будет одинаковым. **16.31.** Различное. Летом меньше. Это ясно из закона Клапейрона–Менделеева ($\nu = pV/RT$).

16.32. Нет: ее вычисляют по формуле $M = \dfrac{2M_1M_2}{M_1 + M_2}$, где M_1 и M_2 — молярные массы газов. **16.33.** 1,52 м/с. **16.34.** 1 Н.

16.35. 1 кг. **16.36.** Увеличится на 8 %. **16.37.** Опустится на 19 см.

16.38. $r \geqslant 0{,}15$ м. **16.39.** 0,5 м. **16.40.** $\dfrac{p_1}{p_2} = \sqrt{\dfrac{T_1}{T_2}}$. **16.41.** $8{,}6 \cdot 10^{24}$.

16.42. 404 К; 167 кПа. **16.43.** $M = \dfrac{m_1 + m_2 + \ldots + m_n}{\dfrac{m_1}{M_1} + \dfrac{m_2}{M_2} + \ldots + \dfrac{m_n}{M_n}}$.

16.44. $p = \dfrac{RT_3}{LS}\left(\dfrac{m_1}{M_1} + \dfrac{m_2}{M_2}\right)$. **16.45.** $\tau = \pi l\sqrt{\dfrac{2m}{\nu RT}}$.

17. ГАЗОВЫЕ ЗАКОНЫ

17.1. Летом шины сильнее нагреваются во время езды, поэтому давление воздуха в них увеличивается сильнее, чем зимой.

17.3. Воздух растворяется в воде тем лучше, чем больше давление и ниже температура. Когда вода вытекает из крана, часть растворенного в ней воздуха выделяется в виде большого количества мелких пузырьков. В результате вода принимает молочно-белый цвет.

17.4. При горении лампы давление газа в ее баллоне увеличивается, но оно не должно намного превышать атмосферное давление. **17.5.** Давление воздуха в приложенной к телу остывающей медицинской банке становится меньше атмосферного, и она плотно прижимается к телу.

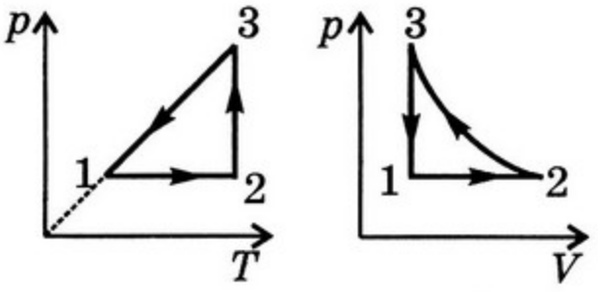
17.6. Увеличится в 1,5 раза. **17.7.** При нагревании углекислого газа, содержащегося в воде, давление его возрастает. Увеличивается и сила давления на пробку. Когда она становится больше силы трения пробки о поверхность стекла бутылки, пробка выскакивает.

17.8. У глубоководной рыбы внутреннее давление газов больше атмосферного. Поэтому при подъеме раздувающийся плавательный пузырь не помещается в теле рыбы и выходит через рот наружу. **17.9.** $0,97 \cdot 10^5$ Па. **17.10.** $4 \cdot 10^5$ Па.

17.11. 0,17 м^3. **17.12.** Увеличивается в 1,2 раза. **17.13.** 47 °С.
17.14. На 300 °С. **17.15.** 27 °С. **17.16.** 75 °С. **17.17.** 40 л.
17.24. Пузырь, надутый теплым воздухом, сначала поднимается, а охлаждаясь, уменьшается в объеме и опускается.
17.25. Увеличится вдвое. **17.26.** На 273 К. **17.27.** Уменьшается в два раза. **17.28.** Не изменяется. **17.29.** На $\dfrac{1}{n+1}V_1$. **17.30.** $h = \dfrac{7p_0}{\rho g}$.
17.31. $p_0 = 3,7$ кПа.
17.32. $x = 17$ см. **17.33.** $m = \rho V_0\left(1 - \dfrac{T_1}{T_0}\right)$. **17.34.** В 1,2 раза.

17.35. $h = \sqrt{\dfrac{(H+a-l)^2}{4} + Hl} - \dfrac{H+a-l}{2} = 48$ см.

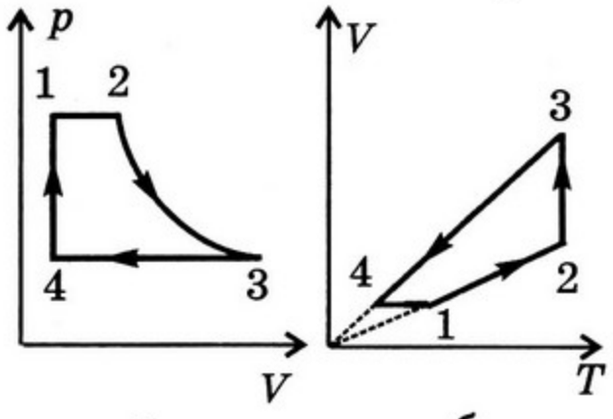
17.36. $p_0 = 47$ кПа. **17.37.** а) Охлаждается; б) нагревается; в) нагревается. ***Указание.*** Чтобы найти связь между V и T, нужно из заданного в условии соотношения исключить p, воспользовавшись уравнением Клапейрона: $p = \text{const} \cdot T/V$. В случае *а*, например, это приведет к соотношению $TV = \text{const}$.



а *б*

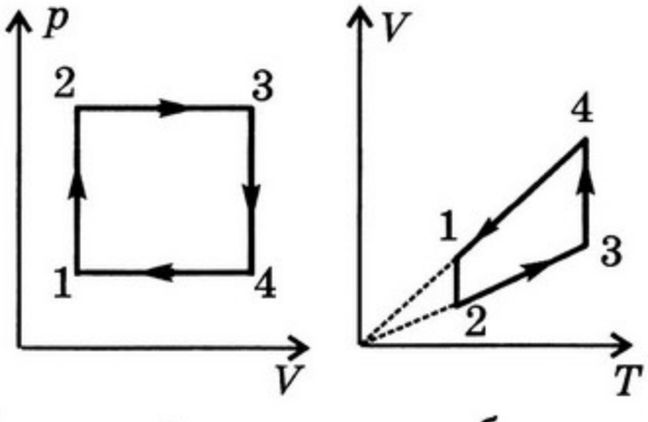
К задаче 17.39

17.38. 303 К. **17.39.** См. рис. *а* и *б*.



а *б*

К задаче 17.40



а *б*

К задаче 17.41

17.40. См. рис. *а* и *б*. **17.41.** См. рис. *а* и *б*. **17.42.** $V_2 > V_1$.
17.45. От точки 2 к точке 1. **17.48.** $h_2 = \dfrac{1}{2}\left(\sqrt{H^2 + 4Hh_1} - H\right) = 23$ см.

17.49. $p = 560$ мм рт. ст., уровень ртути понизится на 10 см.

Указание. Ртуть перестанет вытекать, когда давление у обоих концов трубки станет одинаковым (равным атмосферному).

17.50. $p_N = p_a(1 + N \cdot \Delta V/V)$.

17.51. $p_N = p_a\left(\dfrac{V}{V + \Delta V}\right)^N$. ***Указание.*** Каждое качание вызывает изотермическое расширение воздуха от объема V до объема $V + \Delta V$. Поэтому величины p_k образуют не арифметическую прогрессию, как в задаче 17.50, а геометрическую (масса захватываемого насосом воздуха с каждым качанием уменьшается).

17.52. $T_{max} = \dfrac{9p_0V_0}{4\nu R}$, где $\nu = 1$ моль. **17.53.** $T_2 = \sqrt{T_1T_3}$.

17.54. 12,3 см. **17.55.** $T_2 = 3T_0$, $T_3 = 6T_0$, $T_4 = 2T_0$. **17.56.** $V_3 = \dfrac{V_2^2}{V_1}$.

17.59. 416 кПа.

ТЕРМОДИНАМИКА

18. ЗАКОНЫ ТЕРМОДИНАМИКИ

18.4. Превращается во внутреннюю энергию трущихся тел.

18.5. Нет; да. **18.9.** Да, за счет полученного извне количества теплоты. **18.10.** Во внутреннюю энергию. **18.11.** При изотермическом. **18.12.** При холостом выстреле бóльшая часть энергии идет на нагревание. **18.13.** Во время процессов *а* и *г*.

18.15. 183 кДж. **18.16.** $1{,}6 \cdot 10^{20}$. **18.17.** 15 кДж. **18.18.** 330 К.

18.19. 1,5 кДж. **18.20.** 180 Дж. **18.21.** 1,5 л. **18.22.** 1,2 МДж.

18.23. 26,2 л. **18.24.** 0,5 м³. **18.25.** На 100 кДж. **18.26.** На 25 кДж.

18.27. 500 Дж. **18.28.** 0; 400 Дж. **18.29.** 3,3 МДж; 6,1 МДж.

18.30. Увеличилась на 24 К.

18.31. Нет, так как распределение молекул по скоростям сохранится, и средняя кинетическая энергия поступательного движения частиц не изменится.

18.34. Водород. **18.35.** При расширении пузырьков газа они охлаждаются и охлаждают воду. **18.36.** Нельзя, так как в идеальном газе нет взаимодействия молекул.

18.37. Из формулы $A = p\Delta V$ следует, что работа в этом случае равна нулю, так как объем газа не изменяется.

18.39. Чтобы температура в процессе расширения не изменялась, необходимо подводить к газу такое количество теплоты, которое эквивалентно работе расширения газа.

18.40. В случаях *а* и *б*. **18.41.** В случаях *б* и *г*.

18.42. Происходит практически адиабатное расширение газа, сопровождающееся понижением температуры.

18.43. Не изменилась. **18.44.** Оба газа имеют одинаковую внутреннюю энергию. **18.45.** Гелий, в 50 раз. **18.46.** 2,1 кДж.

18.47. 500 Дж. **18.48.** 0,31 кг. **18.49.** 3,32 кДж. **18.50.** При изобарном расширении. **18.51.** Большее количество теплоты газ получит во втором случае. **18.52.** 1,85 МДж; 4,63 МДж; 2,78 МДж.

18.53. 12,5 кДж; 43,8 кДж; 31,3 кДж. **18.54.** 0,6; 0,4.

18.55. Это может быть, например, кислород (0,032 кг/моль).

18.56. 0,45 МДж. **18.62.** Для нагревания воздуха в надувном шарике. ***Указание.*** При нагревании воздуха в шарике его объем увеличивается.

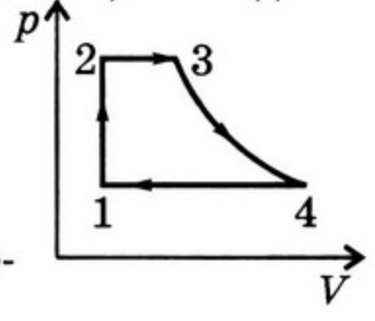
18.63. Нет, так как цилиндр отдает теплоту во внешнюю среду.

18.64. а), б) при быстром сжатии. **18.65.** Водород в 16 раз больше.

18.66. При адиабатическом, так как в этом случае давление растет вследствие уменьшения объема и повышения температуры, а при изотермическом только вследствие уменьшения объема.

18.67. Газ получал тепло на этапах 1–2, 2–3; отдавал — на этапах 3–4, 4–1. Получено большее количество теплоты, чем отдано.

18.68. См. рисунок. Воздух получает тепло на этапах 1–2–3–4; отдает тепло на этапе 4–1. ***Указание.*** См. решение задачи 18.67.



18.70. $C_V = 3R/2$, $C_p = 5R/2$; $\gamma = 5/3$. Для жидкости γ практически равно единице.

18.71. В процессе 3–2–4–3. **18.72.** $A' = \nu R(\sqrt{T_3} - \sqrt{T_1})^2$, где ν = = 1 моль. **18.73.** При быстром сжатии конечная температура, а также совершаемая работа больше.

18.74. $Q = Q_1 + \dfrac{(mg + p_a S)V_0 \Delta T}{ST_0} = 126$ Дж. **18.75.** $A = \dfrac{n-1}{n}\dfrac{m}{M}RT$.

18.76. $Q = 7{,}9$ кДж.

19. ТЕПЛОВЫЕ ДВИГАТЕЛИ

19.5. Нет, потому что ветер возникает из-за различия температуры воздуха в разных точках земной поверхности.

19.7. Нет, максимально возможный коэффициент полезного действия теплового двигателя меньше 100 %.

19.8. К двигателям внутреннего сгорания.

19.11. 60 %. **19.12.** 11 %. **19.13.** 3 кДж. **19.14.** 12 кДж.

19.15. 30 %; 400 К. **19.16.** 33 %. **19.18.** Да.

19.21. У двигателей внутреннего сгорания достигается более высокая температура рабочего тела.

19.22. Нагреватель — камера сгорания, холодильник — внешняя среда.

19.23. Если газ при нагревании совершал работу, он отдает холодильнику меньшее количество теплоты, чем то, которое было затрачено на его нагревание.

19.25. 27 кДж. **19.26.** 1/3. **19.27.** 0,22 кг. **19.28.** 100 км.

19.29. $m = 4Fl/(\eta q) = 42$ т. **19.30.** $Q = P\tau + m(ct + \lambda)$.

19.32. Минимальное значение — до начала такта сжатия, максимальное — после сгорания топлива.

19.33. При уменьшении температуры холодильника. **19.38.** 11 Вт.

19.39. $t = t_0 + \dfrac{4\eta M p_0 V_0 q}{\pi R T_0 \rho d^2 v c \tau} = 52\ ^\circ\text{C}$. Здесь $\tau = 1$ ч; ρ, c — плотность и удельная теплоемкость воды; M, q — молярная масса и удельная теплота сгорания метана.

19.40. 17 %. **19.41.** 15 %. **19.42.** 25 %.

ЖИДКОСТИ, ПАРЫ И ТВЕРДЫЕ ТЕЛА

20. СВОЙСТВА ЖИДКОСТЕЙ

20.2. Удерживаются силами поверхностного натяжения, которые с повышением температуры уменьшаются.

20.3. Слипание влажных волос приводит к уменьшению площади свободной поверхности воды.

20.4. Жир не смачивается водой. **20.5.** Смачивание.

20.6. Размер пипетки должен быть таким, чтобы самопроизвольно жидкость не выливалась из наполненной пипетки.

20.7. Горячая вода лучше смачивает посуду.

20.8. На капиллярности. **20.9.** Шерсть и шелк плохо смачиваются водой. **20.10.** Для мела капиллярность проявляется в большей степени. **20.11.** $A = \sigma \cdot 2S = 4{,}9$ мДж.

20.12. Да, достаточно; сила поверхностного натяжения 5,1 мН примерно в 5 раз больше силы тяжести. **20.13.** 4 см.

20.14. $1{,}6 \cdot 10^{-4}$ Дж. **20.15.** $5{,}9 \cdot 10^{-2}$ Н/м. **20.16.** Приблизительно 1 мН.

20.17. 0,47 мм. **20.18.** Высота поднятия воды в 2,43 раза выше.

20.19. 820 кг/м^3. **20.20.** 1,6 м/с^2. **20.22.** Если жидкость не смачивает стенки стакана. **20.25.** Несмачивающая жидкость будет стремиться принять форму шара, смачивающая — растечется по поверхности сосуда. **20.26.** Когда вода остыла.

20.28. Смачивающая жидкость (например, вода, керосин) втягивается в капилляры — поры ткани, бумаги и т. п.

20.29. Вода станет невесомой. При смачивании она заполнит весь капилляр, а при несмачивании — выльется из него.

20.30. Нет. Ртуть стекло не смачивает, поэтому она вообще не будет удерживаться в стеклянном капилляре.

20.31. 28 мг. **20.32.** Сила $F = (\sigma_1 - \sigma_2)l$ действует перпендикулярно стороне BC (на рисунке в условии задачи — вверх).

20.33. $F = mg + 4\sigma(a + b)$. **20.34.** 35 мН; 84 мН. **20.35.** 0,44 кДж; 0,1 °С. **20.36.** Около 1 л. **20.37.** $h = \dfrac{4\sigma}{\rho g r} = 3{,}0$ см. ***Указание.*** Воду в трубке «держат» два мениска — верхний и нижний.

20.38. $r = \dfrac{mg}{4\pi\sigma} = 1{,}5$ мм. **20.39.** $h = \dfrac{mg + 4\sigma a}{\rho_в g a^2} = 5{,}4$ мм.

20.40. Уменьшится на 6,0 мм. **20.41.** $r = \dfrac{4\sigma}{(2\rho_а - \rho_в)gl} = 0{,}34$ мм.

20.42. $r \approx 5$ мм. **20.43.** Шар как форма с наименьшей поверхностной энергией.

20.44. Причина — остывание воздуха внутри пузыря, вследствие чего уменьшается давление.

20.45. Вследствие поверхностного натяжения жидкость стремится уменьшить площадь поверхности, а площадь поверхности одной большой капли меньше, чем двух малых.

20.46. Уменьшаться будет малый, а увеличиваться большой, так как в малом избыточное давление больше, чем в большом пузыре $\left(p = \dfrac{4\sigma}{R}\right)$.

20.51. Будет. Для определенного лекарства, при неизменном диаметре конца пипетки и неизменной температуре массы капель будут практически одинаковы.

20.52. Капиллярное проникновение в поры бумаги зависит от поверхностного натяжения компонентов, составляющих смесь чернил.

20.53. 2,3 см. **20.54.** 2,25 мм. **20.55.** 0,47 Н/м.

20.56. К узкому колену; $\Delta p = 2\sigma\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right) = 510$ Па. **20.57.** 1,6 м.

20.58. $\Delta p = \rho g h + 2\sigma/r = 490$ Па. **20.59.** 1,47 мм; 0,3 мм.

20.60. Выпуклость мениска обращена вниз, а радиус равен $r = \frac{2\sigma}{\rho g h} = 0{,}74$ мм.

21. НАСЫЩЕННЫЕ И НЕНАСЫЩЕННЫЕ ПАРЫ. ВЛАЖНОСТЬ ВОЗДУХА

21.3. Не означает, так как при вылете из жидкости молекулы «теряют» часть энергии, преодолевая притяжение молекул жидкости. **21.7.** Абсолютная влажность не изменяется, а относительная уменьшается. **21.9.** Охлаждением воздуха (обычно к утру) до температуры, при которой относительная влажность увеличивается до 100 %. **21.10.** 100 %.

21.11. 60 %. **21.12.** 16 °С. **21.13.** 59 %. **21.14.** 1 кПа. **21.15.** 16 °С.

21.16. 2,4 кг. **21.17.** Нет, потому что закон Бойля–Мариотта применим только для данной массы газа, а в случае насыщенного пара масса газа не фиксирована.

21.18. Нет, потому что закон Шарля применим только для данной массы газа, а в случае насыщенного пара масса газа не фиксирована. **21.19.** Нет, потому что закон Гей-Люссака применим только для данной массы газа, а в случае насыщенного пара масса газа не фиксирована.

21.20. Одинаково. Давление насыщенных паров зависит только от температуры. **21.21.** Когда температура воздуха наинизшая; обычно это бывает около 5 часов утра. **21.22.** Уменьшится.

21.23. В жаркий день испаряется больше воды и абсолютная влажность возрастает.

21.25. При подъеме температура воздуха понижается, вследствие чего его влажность увеличивается, становится равной 100 %, после чего начинается конденсация водяного пара.

21.26. При более высоких температурах давление насыщенного водяного пара увеличивается, а парциальное давление пара остается неизменным.

21.27. При $t \leqslant 11$ °С. **21.28.** 59,4 %. **21.29.** 291 К. **21.30.** 18 °С.

21.31. 24 °С. **21.32.** $\varphi = 54$ %.

21.33. $V = V_0\varphi_0/100\ \% = 1{,}0$ м^3, $m = \rho_в V_0\left(\dfrac{\varphi_0}{100\,\%} - \dfrac{1}{4}\right) = 7{,}7$ г.

21.34. $\rho = p_а M/(RT) = 0{,}59$ кг/м^3. ***Указание.*** Воспользуйтесь уравнением Менделеева–Клапейрона и учтите, что давление насыщенного водяного пара при 100 °С равно нормальному атмосферному давлению $p_а$.

21.35. Слой облаков препятствует охлаждению поверхности Земли.

21.36. Да; при охлаждении насыщающего пара и отсутствии центров конденсации. Такой пар называют пересыщенным.

21.38. ***Указание.*** Парциальное давление водяного пара в помещении и на улице примерно одинаково.

21.39. Переохлаждение капелек возможно благодаря отсутствию в них центров кристаллизации.

21.40. Да (пар будет выходить из кухни на улицу).

21.41. Относительная влажность воздуха уменьшалась.

21.43. Не изменится. **21.44.** $\varphi_2 = 29$ %.

21.45. $\varphi_2 = \varphi_1 + \dfrac{m}{\rho_в V}\cdot 100\ \% = 79\ \%$. После удвоения массы долитой воды $\varphi_2 = 100$ %. ***Указание.*** Во втором случае приведенная формула дает значение $\varphi_2 > 100$ %. На самом деле это означает, что $\varphi_2 = 100$ % (вода испарилась не полностью, и пар в сосуде стал насыщенным).

21.46. $m_п = \dfrac{Mp_н}{RT}\left(V - \dfrac{m}{\rho}\right) = 0{,}59$ г. Здесь M, ρ— молярная масса и плотность воды, $p_н = 101$ кПа — давление насыщенного водяного пара при 100 °С. **21.47.** $h = 0$.

21.48. $\varphi = 72$ %. ***Указание.*** Влажный воздух в трубке испытывает изотермическое расширение, при этом его давление падает от $p_а$ до $p_а - l$ (в мм рт. ст.). Объем воздуха увеличивается в $\dfrac{p_а}{p_а - l}$ раз. **21.49.** $l \geqslant p_а\left(\dfrac{100\ \%}{\varphi_0} - 1\right) = 190$ мм.

21.50. Воздух надо увлажнить, испарив 22 кг воды.

21.52. 2,9 %; 100 %.

21.53. $p_2 = p_1T_2/T_1 + p_а = 233$ кПа. ***Указание.*** Типичная ошибка при решении подобных задач — приравнивание массы образовавшегося пара массе налитой воды. В данном случае эти величины не равны: пар будет насыщенным, а часть воды останется в жидком состоянии.

21.54. $h \geqslant 31$ см. **21.55.** $p_2 = p_{н2} + 2p_аT_2/T_1 = 160$ кПа.

22. СВОЙСТВА ТВЕРДЫХ ТЕЛ

22.3. Первая — монокристалл, второй — поликристалл.

22.4. Сама форма кристалла.

22.5. Возникающие механические напряжения тем больше, чем больше перепад температур на двух поверхностях стекла.

22.6. Из-за остаточных (не упругих) деформаций листа.

22.7. Из-за возможности появлений остаточных деформаций.

22.9. Аморфные тела не имеют точки плавления.

22.10. Место сгиба нагревается, становится пластичным и менее прочным.

22.11. 0,2 см; $25 \cdot 10^{-4}$. **22.12.** 32 МПа. **22.13.** 1,9 кН. **22.14.** $5 \cdot 10^{-4}$; 1 мм. **22.15.** 70 ГПа; алюминий. **22.16.** 25 МПа; $2 \cdot 10^{-4}$.

22.17. Вследствие анизотропии кристаллы при нагревании расширяются по различным направлениям неодинаково.

22.18. Будет: а) растворяться; б) сохранит свой размер, оставаясь в динамическом равновесии; в) расти.

22.19. Сапфир, в отличие от стекла, имеет кристаллическую структуру.

22.21. Узоры появляются вследствие кристаллизации цинка.

22.22. Изгибу лучше всего сопротивляются профили *б, в, д*; сжатию все профили сопротивляются одинаково.

22.25. Дерево — анизотропный волокнистый материал, свойства его различны по разным направлениям. Отделение волокон друг от друга требует меньших усилий, чем их разрыв.

22.26. Абсолютное удлинение уменьшается в 4 раза, относительное удлинение уменьшается вдвое.

22.27. 3,8 МПа. **22.28.** $5 \cdot 10^4$ Н. **22.29.** Предел прочности материала больше $3 \cdot 10^8$ Па. Например, сталь (800 Н/мм^2).

22.30. 50 м. **22.31.** 1,16 м. **22.32.** 5,1; $1{,}1 \cdot 10^{-3}$; 14 Дж.

22.33. Деформация проволоки упругая; $6{,}27 \cdot 10^2$ Н.

22.34. Форма кристалла повторяет форму кристаллической решетки.

22.35. Вследствие хаотичного расположения частиц свойства аморфного тела не зависят от направления.

22.36. Кристаллизация в металлах начинается вокруг множества центров кристаллизации.

22.37. Большее давление выдержит круглая колба, так как ее стенки будут работать на сжатие, а плоское дно — на изгиб.

22.38. Чтобы стенки быстро прогревались на всю толщину и в них не возникали механические напряжения.

22.40. При изготовлении железобетона стальную арматуру предварительно растягивают, и после схватывания бетон оказывается сжатым. В результате бетон и сталь дополняют друг друга: бетон «берет на себя» сжатие, а арматура — растяжение.

22.41. В кристалле графита атомы расположены «слоями», расстояние между которыми существенно больше расстояний между атомами в одном слое. В результате кристалл графита легко расслаивается. **22.42.** Не менее чем из 100.

22.43. 1/3. **22.44.** 18. **22.45.** $8{,}4 \cdot 10^{-3}$ м. **22.46.** 600 Н. **22.47.** Половина.

23. ИЗМЕНЕНИЯ АГРЕГАТНЫХ СОСТОЯНИЙ ВЕЩЕСТВА

23.7. Нет, часть энергии расходуется на преодоление притяжения со стороны молекул жидкости.

23.8. На холодных стеклах начинается конденсация водяного пара.

23.9. При конденсации пара выделяется большое количество теплоты.

23.10. Нет, потому что для процесса кипения необходим постоянный подвод тепла, а он может происходить только при наличии разности температуры.

23.11. 556 кг. **23.12.** 0,69 кг. **23.13.** 220 г. **23.14.** 1,2 кг.

23.15. 20 г. **23.16.** 46 °С. **23.17.** 7 г. **23.18.** 0,37 кг.

23.19. При плавлении упорядоченное расположение атомов переходит в неупорядоченное. Атомы углерода в чугуне нарушают правильность строения решетки кристаллов железа, поэтому их присутствие облегчает переход тела из твердого состояния в жидкое.

23.20. Теплота, необходимая для таяния льда при ледоходе, заимствуется из окружающего воздуха, а при снегообразовании теплота выделяется в окружающую среду.

23.21. Распределение температур в водоемах с непроточной водой при замерзании таково: +4 °С у дна; 0 °С на поверхности. Плотность воды при замерзании уменьшается, лед остается на поверхности.

23.22. Нет, потому что для таяния необходим постоянный подвод тепла, а это возможно только при наличии разности температур. **23.23.** Нет.

23.25. Таяние снега и льда, а затем испарение образовавшейся воды происходят медленно, почва успевает пропитаться влагой. **23.27.** Вследствие увеличения поверхности.

23.28. Условием, что давление насыщенных паров равно внешнему давлению; нет, так как при кипении происходит интенсивное парообразование, требующее постоянного подвода тепла. **23.29.** 37 °С. **23.30.** 29 кг. **23.31.** 114 г. **23.32.** 3,5 кг.

23.33. $\theta = 0$ °С. **23.34.** а) $\theta = \dfrac{m_в c_в t_в + m_л c_л t_л - \lambda m_л}{c_в (m_л + m_в)} = 13{,}5$ °С, $V = \dfrac{m_в + m_л}{\rho_в} = 1{,}6$ л. б) $\theta = 0$ °С, $V = (m_л + \Delta m)/\rho_л + (m_в - \Delta m)/\rho_в = 10{,}4$ л, где $\Delta m = -(m_в c_в t_в + m_л c_л t_л)/\lambda = 0{,}13$ кг.

23.35. $\tau_2 = \dfrac{L\tau_1}{c(t_2 - t_1)} = 82$ мин. **23.36.** $\dfrac{\lambda}{L + \lambda} = 0{,}13$.

23.37. $\theta = 0$ °С; масса льда увеличится до 500 г. **23.38.** 0 °С.

23.39. 6,6 г. ***Указание.*** Температура мокрого снега 0 °С.

23.40. $t \geqslant 125$ °С. **23.41.** $m_л = 0{,}76$ г. **23.44.** В маленьких капельках отсутствуют центры кристаллизации.

23.46. Можно, при плавлении и кипении.

23.47. При уменьшении давления понижается температура кипения, а при кипении у жидкости отбирается большое количество теплоты, что приводит к замерзанию жидкости.

23.49. Эфир испаряется намного быстрее, чем вода.

23.50. Нельзя, так как под поршнем вместо разряженного воздуха будет находиться пар под давлением, равным внешнему атмосферному.

23.51. Вода будет кипеть и замерзать. См. задачу 23.47.

23.53. 36 %. **23.54.** $v = \dfrac{4N}{\pi \rho c d^2 \cdot \Delta t} = 2{,}7$ м/с.

23.55. $h \approx 70$ км. **23.57.** 2,5 км/с. **23.58.** 0 °С. **23.59.** 3 кДж.

ЭЛЕКТРОДИНАМИКА

ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ

24. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ЗАРЯД. ЗАКОН КУЛОНА. НАПРЯЖЕННОСТЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ

24.3. Нет, так как в процессе электризации происходит перераспределение электрических зарядов между телами.

24.4. При трении оболочка аэростата о воздух электризовалась настолько, что возникал электрический разряд. Если оболочка аэростата была наполнена водородом, то при возникновении разряда водород воспламеняется.

24.6. $+5e$. **24.8.** Если пробный заряд отрицателен.

24.9. $5{,}4 \cdot 10^{-4}$ Н. **24.10.** Поровну: по 8 нКл. **24.11.** 10,5 нКл.

24.12. 10 и 30 мкКл; 0,02 м. **24.13.** 1,4. **24.14.** $5{,}7 \cdot 10^{-12}$ кг.

24.15. 0,5 мкКл; 0,9 Н. **24.16.** $4 \cdot 10^4$ Н/Кл. 400 нКл.

24.17. 600 Н/Кл. **24.18.** 0,98 нКл.

24.20. Модули зарядов тел одинаковы. **24.21.** Нельзя.

24.22. Из-за перераспределения зарядов в незаряженной гильзе.

24.24. Приблизить палочку к шарику электроскопа. Если листочки его разойдутся еще больше, то электроскоп заряжен отрицательно; если листочки опустятся — положительно.

24.25. Можно поднести заряженный шарик к незаряженному и коснуться его пальцем (на короткое время заземлить). В результате этого шарик приобретет положительный заряд. Заряд первого шарика останется неизменным.

24.26. Для силовых линий неподвижных зарядов все три случая невозможны. **24.27.** Увеличить в 1,25 раза.

24.28. 1,76 нКл; того же знака. **24.29.** $9{,}6 \cdot 10^{10}$ м/с^2.

24.30. Заряды могли быть одноименными и отличаться в 3 раза или разноименными и отличаться по модулю в $\dfrac{11+4\sqrt{7}}{3} \approx 7{,}2$ раза.

24.31. Заряд $Q = -4q$ нужно расположить на расстоянии a от заряда q и на расстоянии $2a$ от заряда $-4q$.

24.32. Следует разместить заряд $-4q/9$ на соединяющем первые два заряда отрезке, на расстоянии $a/3$ от заряда q.

24.33. $Q = -q/\sqrt{3}$. **24.34.** $Q = -\frac{q}{4}(1+2\sqrt{2})$. **24.35.** $E = \sqrt{6}k\frac{q}{a^2} = \frac{\sqrt{6}q}{4\pi\varepsilon_0 a^2}$.

Указание. Точка A и три заряда представляют собой вершины правильного тетраэдра. Напряженность поля направлена вдоль оси симметрии системы (вдоль высоты тетраэдра).

24.36. 0,2 МН/Кл. **24.37.** Да, могут. **24.39.** На обработанной поверхности не накапливается электрический заряд.

24.42. Разноименные. При одноименных точечных зарядах напряженность будет равна нулю.

24.43. В обоих случаях напряженность равна нулю.

24.45. $\rho = 1500$ кг/м^3. **24.46.** $\operatorname{tg}\alpha = \frac{qE}{mg}$; $\alpha = 45°$. **24.47.** 4,86 нКл.

24.48. Шарики соприкоснутся, а затем установятся на расстоянии $b = 6$ см. **24.49.** $q = a\sqrt{\frac{4\pi\varepsilon_0 a \cdot mg}{3l}} = 13{,}5$ нКл. ***Указание.*** Горизонтальное отклонение каждого из шариков $a/\sqrt{3} \ll l$; оно обусловлено равнодействующей двух одинаковых по модулю кулоновских сил, образующих между собой угол 60°. **24.50.** 15 Н/Кл. **24.51.** $4{,}5 \cdot 10^4$ Н/Кл.

25. ПОТЕНЦИАЛ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ. ПРОВОДНИКИ И ДИЭЛЕКТРИКИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ

25.4. Работы одинаковы, так как не зависят от формы пути.

25.9. 300 В. **25.10.** –2 нКл. **25.11.** 0,54 мкДж. **25.12.** –0,36 мкДж.

25.13. 1,76 мДж. **25.14.** –24 мкДж; увеличилась на 24 мкДж.

25.15. 11 мкДж. **25.16.** $8 \cdot 10^{-16}$ Дж; 5 кэВ.

25.18. Поскольку потенциалы шаров различны ($\varphi \sim \frac{1}{r}$), при соединении шаров заряд будет переходить с шара с бóльшим потенциалом (меньший радиус) на шар с меньшим потенциалом (бóльший радиус) до тех пор, пока потенциалы шаров не примут одинаковое значение.

25.22. Будет. На незаряженном шарике вследствие индукции на стороне, ближайшей к заряженному шарику, образуется заряд противоположного знака.

25.23. –180 В. **25.24.** $3 \cdot 10^6$ м/с. **25.25.** $\Delta q = \frac{mgd\Delta U}{U_0(U_0 + \Delta U)} = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Кл, $\Delta q = e$. **25.26.** 196 В. **25.27.** На 0,25 нм.

25.28. На 1 нм; в результате взаимодействия электроны обменяются скоростями.

25.29. $\Delta q = 19$ нКл. ***Указание.*** Заряд будет перемещаться по проволоке до тех пор, пока потенциалы шаров не сравняются. Условие равенства потенциалов имеет вид $k(q_1 - \Delta q)/R_1 = k(q_2 + \Delta q)/R_2$.

Отсюда $\Delta q = \dfrac{q_1 R_2 - q_2 R_1}{R_1 + R_2} = 19$ нКл. **25.30.** 3,65 мм.

25.32. $\varphi_A > \varphi_B$, $E_A > E_B$; $\varphi_C > \varphi_D$, $E_C < E_D$.

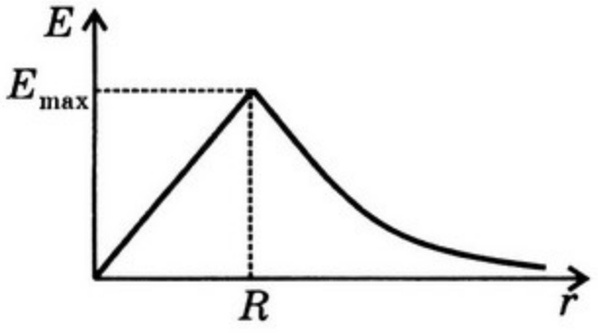
25.33. Во всех случаях работа одинакова. **25.34.** Нельзя.

25.35. а) Поле будет существовать внутри и вне сферы; б) на внутренней поверхности сферы появится отрицательный заряд, на внешней — положительный; в) в первом случае будет изменяться электрическое поле только внутри сферы, во втором — только вне сферы.

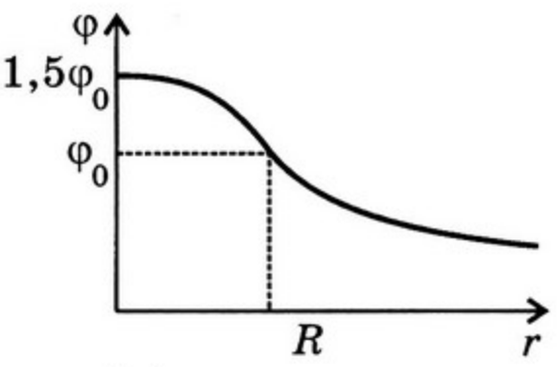
25.37. В случаях *а* и *б* шарик будет втягиваться в область более сильного поля, в случае *в* останется неподвижным.

25.39. Напряженность поля увеличится, потенциал уменьшится.

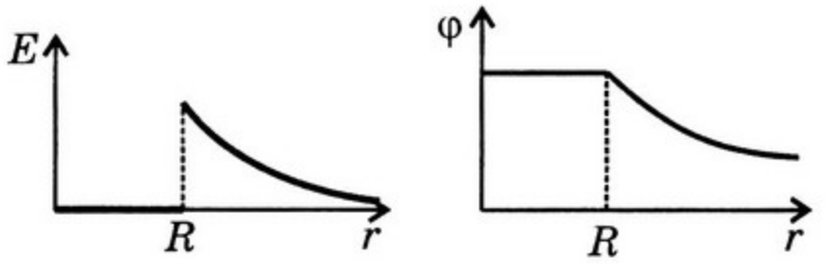
25.40. $E = \dfrac{|Q|r}{4\pi\varepsilon_0 R^3}$ при $r \leqslant R$; $E = \dfrac{|Q|}{4\pi\varepsilon_0 r^2}$ при $r > R$. График $E(r)$ см. на рисунке.



25.41. $\varphi = \dfrac{Q(3R^2 - r^2)}{8\pi\varepsilon_0 R^3}$ при $r \leqslant R$; $\varphi = \dfrac{Q}{4\pi\varepsilon_0 r}$ при $r > R$. График $\varphi(r)$ см. на рисунке.

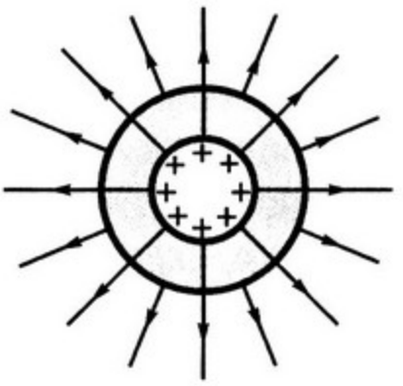


25.42. $E = 0$, $\varphi = \dfrac{Q}{4\pi\varepsilon_0 R}$ при $r < R$; $E = \dfrac{|Q|}{4\pi\varepsilon_0 r^2}$, $\varphi = \dfrac{Q}{4\pi\varepsilon_0 r}$ при $r \geqslant R$. Графики $E(r)$ и $\varphi(r)$ приведены на рис. *а* и *б*.



а *б*

25.43. См. рисунок. При поляризации диэлектрика *на его поверхностях* появляются связанные заряды (на внешней — положительные, на внутренней — отрицательные). На рисунке отмечены только *свободные* заряды.



25.44. $\varphi_1 R_1/R_2$; $\varphi_1(1 - R_1/R_2)$.

26. ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ЕМКОСТЬ. КОНДЕНСАТОР. ЭНЕРГИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ

25.4. Неправильно. **26.6.** С уменьшением расстояния между пластинами при неизменном заряде разность потенциалов будет уменьшаться, так как емкость увеличивается. При увеличении расстояния между пластинами разность потенциалов будет увеличиваться. **26.11.** 10 мкФ. **26.12.** 2 В. **26.13.** 80 мкКл. **26.14.** Нельзя. **26.15.** 560 пФ. **26.16.** 5 мм. **26.17.** Увеличится в 1,5 раза. **26.18.** 3 мкДж. **26.19.** 300 В. **26.20.** 89 мДж/м^3. **26.21.** Изменить расположение окружающих проводников и заземлить их. **26.22.** Две проводящие поверхности разделены слоем диэлектрика. **26.23.** Потенциал электроскопа уменьшается, так как увеличивается его электроемкость. **26.24.** Да, так как электроемкость от массы не зависит. **26.25.** Не изменится, так как введение незаряженной тонкой металлической пластины в конденсатор не меняет распределение потенциала и поля в нем. **26.26.** Емкость увеличится.

26.27. Расстояние между обкладками, способность диэлектрика выдерживать высокое напряжение, температура.

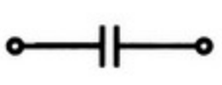
26.28. Вводя пластинку из диэлектрика, мы ослабляем напряженность поля в пространстве, занятом диэлектриком, но не изменяем напряженности поля в зазорах между диэлектриком и пластинами конденсатора. Поэтому сила притяжения F между пластинами не изменяется.

26.30. Возможно, раздвигая его пластины. Затрачиваемая при раздвижении пластин энергия внешних сил будет израсходована на увеличение энергии конденсатора.

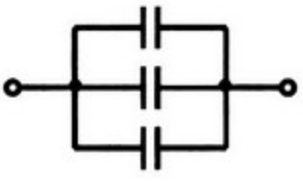
26.31. Не изменится. Увеличится в 1,5 раза.

26.32. $C = 2\varepsilon_0 \varepsilon S/d = 250$ пФ (здесь ε — диэлектрическая проницаемость слюды). **26.33.** 160 пФ; 48 нКл; 7,2 мкДж.

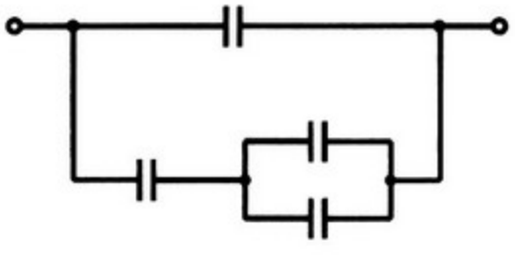
26.34. 3,2 мкКл; 320 В; в обоих случаях $2{,}56 \cdot 10^{-4}$ Дж и $5{,}12 \times \times 10^{-4}$ Дж. **26.35.** а) $C/3$, б) C, в) $3C$, г) $3C/5$, д) $5C/3$, е) C. ***Указание.*** На рис. *б*, *в*, *д*, *е* приведены эквивалентные схемы соответствующих цепей.



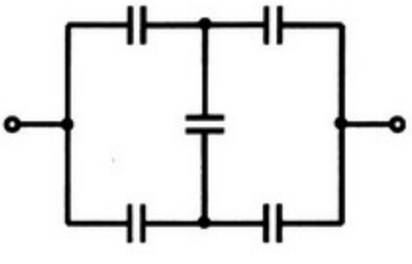
б



в



д



е

26.36. $U = 120$ В. ***Указание.*** После сближения пластин полная емкость батареи конденсаторов удвоилась, заряд же батареи не изменился. **26.37.** В конденсаторе, заполненном диэлектриком, уменьшится в $(\varepsilon + 1)/2$ раза, в незаполненном — увеличится в $2\varepsilon/(\varepsilon + 1)$ раза. **26.38.** 1,5 кВ; $4 \cdot 10^{-4}$ Дж. **26.39.** Электроемкость шариков из стали и меди одинакова; стеклянный шарик нельзя характеризовать емкостью. **26.40.** Емкость уменьшилась, а потенциал увеличился. **26.41.** а) Заряд и напряженность поля уменьшатся в 2 раза, разность потенциалов не изменится. б) Заряд и напряженность поля не изменятся, разность потенциалов увеличится в 2 раза.

26.42. Заряд не изменится, напряжение уменьшится в 2 раза.

26.43. Если конденсатор изолирован, то величина заряда на его пластинах не изменится. Чтобы поместить в поле конденсатора электрон, необходимо совершить работу против сил поля. Поэтому вблизи отрицательно заряженной пластины конденсатора заряд будет обладать потенциальной энергией. Ускорение электрона между пластинами конденсатора будет происходить за счет перехода части этой потенциальной энергии в кинетическую.

26.44. Из формулы $W = \dfrac{CU^2}{2}$ следует, что в первом случае необходима в три раза меньшая энергия.

26.45. Работы относятся, как 5 : 4. **26.46.** Превращается во внутреннюю энергию диэлектрика (керосина). **26.47.** 45 В.

26.48. Энергия конденсатора уменьшается; увеличивается энергия, запасенная в аккумуляторе; энергия отключенного от источника конденсатора при раздвигании пластин растет.

26.49. а) q = const; U, E и W уменьшаются в ε раз; б) U = const, E = const; q и W увеличиваются в ε раз.

26.51. В случае a, когда конденсатор отключен от источника.

26.52. а) $C = \dfrac{\varepsilon_0 S(L + (\varepsilon - 1)l)}{Ld}$; б) $C = \dfrac{\varepsilon_0 \varepsilon S}{\varepsilon d - (\varepsilon - 1)h}$;

в) $C = \dfrac{\varepsilon_0 S(L - l)}{Ld} + \dfrac{\varepsilon_0 \varepsilon S l}{L(\varepsilon d - (\varepsilon - 1)h)}$.

26.53. б) $C = \dfrac{\varepsilon_0 S}{d - h}$; в) $C = \dfrac{\varepsilon_0 S}{L}\left(\dfrac{l}{d - h} + \dfrac{L - l}{d}\right)$. ***Указание.*** Внутри проводника электрическое поле отсутствует, поэтому заряд переходит с обкладки конденсатора, касающейся проводника, на поверхность проводника, обращенную к другой обкладке. Это означает, что объем конденсатора фактически уменьшается.

26.54. q_1 = 30 мкКл, q_2 = 12 мкКл, q_3 = 18 мкКл.

26.55. $C_0 = C_1$. ***Указание.*** Вследствие симметрии цепи (верхняя и нижняя ветви цепи одинаковы) потенциалы точек A и B равны, т. е. напряжение на включенном между ними конденсаторе $U = \varphi_A - \varphi_B$ равно нулю. Значит, конденсатор емкостью C_2 не заряжен и его можно изъять из цепи, не изменив ее емкости. После этого расчет становится несложным.

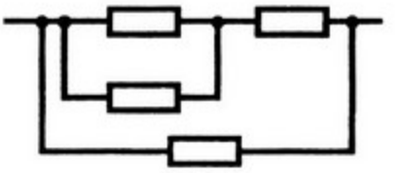
27. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК. ЗАКОН ОМА ДЛЯ УЧАСТКА ЦЕПИ

27.1. Электрический ток. Пушинки осуществляют упорядоченное движение заряженных частиц в электрическом поле.
27.9. 120 Кл. **27.10.** 10^{19}. **27.11.** 16 В. **27.12.** 0,028 Ом · мм^2/м.
27.13. 43 м. **27.14.** Не менее 0,47 мм. **27.15.** 24 мА. **27.16.** 28,6 Ом.
27.17. 7,5 В. **27.18.** Нет, не равна нулю.
27.19. Сила постоянного тока постоянна во всех сечениях проводника. **27.21.** От экрана. **27.22.** Возможен.
27.24. Трубка, так как площадь поперечного сечения у нее меньше, чем у стержня.
27.25. Источник тока не создает заряды: заряды невозможно ни создать, ни уничтожить. Заряды могут только перемещаться. **27.26.** 5 В, 0,25 А. **27.27.** 113 Ом, 53,4 г.
27.28. Из меди в 1,1 раза. **27.29.** 2 А. **27.30.** 40,8 мм^2.
27.31. 0,26 В. **27.36.** 20 мВ/м. **27.37.** $l = 340$ м, $S = 0{,}10$ мм^2.
27.38. $j = E/\rho$. ***Указание.*** Воспользуйтесь законом Ома и соотношением $U = El$, где l — длина проводника.
27.40. $R = \dfrac{UR_V}{IR_V - U} = 61$ Ом, абсолютная погрешность $\Delta R = R - U/I$ приблизительно равна 1 Ом, а относительная погрешность $\Delta R/R \approx 2\ \%$.

28. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЕ И ПАРАЛЛЕЛЬНОЕ СОЕДИНЕНИЕ ПРОВОДНИКОВ

28.11. 10 кОм; 2,4 кОм.
28.12. 4 кОм; 6 кОм; 8 кОм; 12 кОм; 18 кОм; 24 кОм; 36 кОм.
28.13. 10,4 Ом. **28.14.** 2,1 Ом. **28.15.** 2 Ом; 3,3 Ом.
28.16. 18 Ом; 18 Ом. **28.17.** 13,5 А. **28.18.** а) $I_1 = I_2 = I_3 = 12$ мА; б) $I_1 = 8$ мА; $I_2 = I_3 = 4$ мА; в) $I_1 = I_4 = 12$ мА; $I_2 = I_3 = 6$ мА.
28.24. Нужно соответствующим образом увеличить сопротивление прибора.
28.25. Всего можно получить 15 значений R. Сопротивления R_0, $2R_0$, $R_0/2$, $3R_0$, $R_0/3$, $2R_0/3$, $3R_0/2$ можно получить, используя не более трех резисторов.

28.26. Четыре резистора (см. рисунок).



28.27. Точки подключения должны делить кольцо в отношении 1 : 3.

28.28. $R = 18$ Ом; $I_1 = I_6 = 2$ А, $I_3 = 1{,}2$ А, $I_2 = I_4 = I_5 = 0{,}8$ А.

28.29. 1,5 Ом. **28.30.** 5/8 Ом. **28.31.** 2 Ом. **28.32.** 4,7 Ом.

28.33. $R_1 = 20$ Ом, $R_2 = 60$ Ом, $R_3 = 40$ Ом.

28.34. $I_1 = I_5 = 4$ мА, $I_3 = 1{,}2$ А, $I_2 = I_4 = I_6 = 1$ мА, $I_3 = 3$ мА.

28.35. Лампа не загорится, поскольку при таком включении почти все напряжение падает на вольтметре, у которого сопротивление, как правило, больше, чем у лампы.

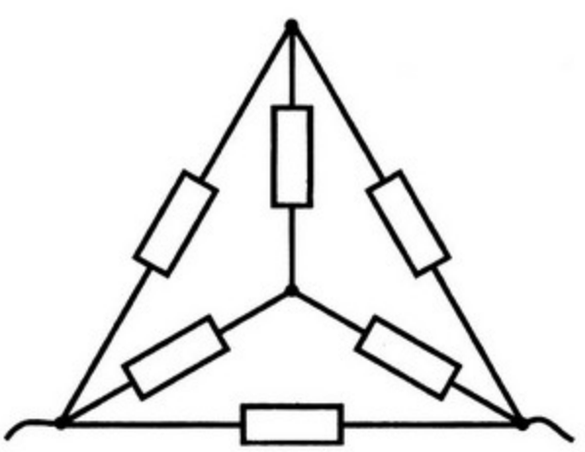
28.36. В цепи возник очень большой ток (практически — короткое замыкание, так как сопротивление амперметра очень мало), что ведет к порче амперметра.

28.39. При включении амперметра сопротивление цепи возрастает на величину сопротивления амперметра, а сила тока соответственно уменьшается. Так как второй амперметр показал больший ток, то его сопротивление меньше, чем сопротивление первого амперметра.

28.40. Сила тока на участке цепи увеличится в N^2 раз, сила тока в каждом резисторе увеличится в N раз.

28.41. 0,5 Ом. **28.42.** а) $R = R_0/3$; б) $R = 3R_0/5$; в) $R = R_0$.

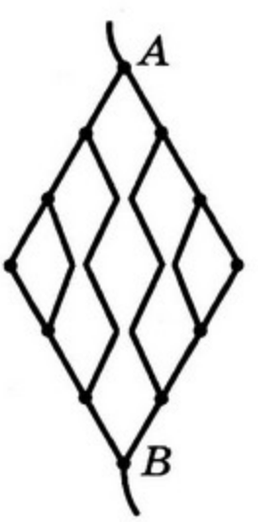
28.43. $R = R_0/2$. ***Указание.*** На рисунке приведена схема цепи (сопротивление каждого резистора R_0). См. задачу 28.42, случай *в*.



28.44. $R = 2R_0/n$.

28.45. $R = 0{,}8R_0$. **28.46.** $R = 3R_0/2$.

28.47. $R = 13R_0/7$. ***Указание.*** Эквивалентная схема показана на рисунке.



28.49. $R = 7R_0/12$. **28.50.** $R_x = (\sqrt{3} - 1)R \approx 0{,}73R$.

29. ЭЛЕКТРОДВИЖУЩАЯ СИЛА. ЗАКОН ОМА ДЛЯ ПОЛНОЙ ЦЕПИ

29.3. Неправильно. **29.5.** При коротком замыкании.

29.7. 600 Дж. **29.8.** 0,25 А. **29.9.** 1 Ом. **29.10.** 3,3 В. **29.11.** 6 А.

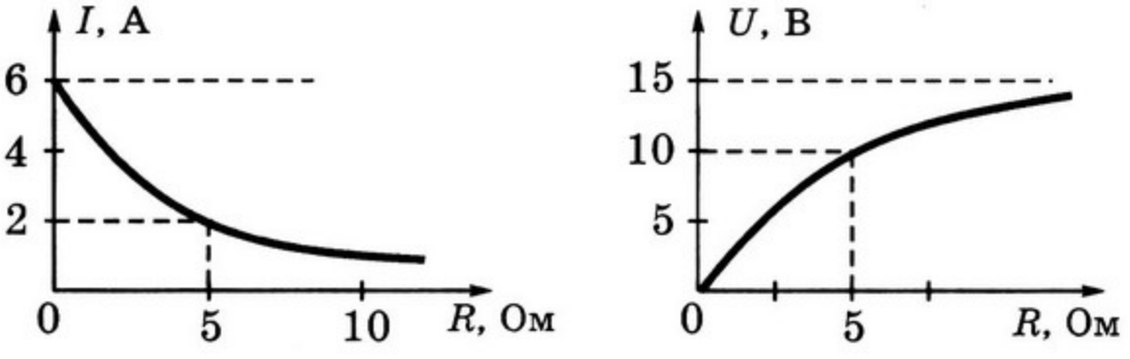
29.12. 1,7 В. **29.14.** Полная работа кулоновских сил равна нулю.

29.15. При замыкании цепи напряжение на лампочке будет меньше ЭДС (разницу составит падение напряжения внутри батареи). **29.16.** У старой батарейки большое внутреннее сопротивление, что приводит к уменьшению силы тока в цепи.

29.17. Вследствие большой величины тока будет весьма велико падение напряжения внутри источника тока, близкое к значению ЭДС. **29.18.** Так как через электрометр не идет ток, то им можно точно измерить ЭДС источника. Для этого его корпус следует присоединить к одному из полюсов источника, а стрелку (стержень) — к другому.

29.19. 40 В. **29.20.** 1,1 В; 1 Ом. **29.21.** 3 В; 1 Ом. **29.22.** 0,5 А.

29.23. $U = 30$ В; $I_1 = 3{,}75$ А; $I_2 = 1{,}25$ А. **29.24.** См. рисунок.



29.25. 0,1 А; 14,6 В. **29.26.** $R = 2$ Ом. **29.27.** Не обязательно.

29.28. Могут: например, круговые индукционные токи.

29.30. При сопротивлении внешней цепи, равном внутреннему сопротивлению источника.

29.31. Показание амперметра увеличится, а вольтметра — уменьшится. **29.32.** 4 А. **29.33.** $\mathscr{E} = 20{,}4$ В. **29.34.** 1,7 В.

29.35. ***Указание.*** Напряжение может стать равным нулю на зажимах того элемента, у которого меньше ток короткого замыкания. Если это элемент 1, то $R = \mathscr{E}_2 r_1/\mathscr{E}_1 - r_2$. Если же токи короткого замыкания у элементов одинаковы, то при $R = 0$ напряжения на обоих элементах равны нулю.

29.36. Амперметр показывает $I_A = 0{,}67$ А (в обоих случаях).

29.37. $R_V = R^2/r = 10$ кОм. **29.38.** $I_A = 6$ А. **29.39.** 2,4 В.

29.40. $U_1 = 4$ В, $U_2 = 0$ (второй источник работает в режиме короткого замыкания).

30. РАБОТА И МОЩНОСТЬ ТОКА. ЗАКОН ДЖОУЛЯ—ЛЕНЦА

30.3. У второй лампы.

30.6. Это значит, что прочно спаянные провода почти не нагреваются при прохождении тока, остаются холодными. Скрученные же провода нагреваются в месте скрутки при прохождении тока благодаря большому сопротивлению контакта.

30.7. 2,4 кДж. **30.8.** 0,2 А. **30.9.** 2,88 МДж. **30.10.** 120 Дж.

30.11. а) $P_1 = 90$ Вт, $P_2 = P_3 = 22{,}5$ Вт; б) $P_1 = P_2 = P_3 = 10$ Вт, $P_4 = 90$ Вт; в) $P_1 = 40$ Вт, $P_2 = P_3 = 10$ Вт; г) $P_1 = P_2 = P_3 = 10$ Вт, $P_4 = P_5 = 22{,}5$ Вт.

30.12. $P_1 = P_2 = 1{,}8$ Вт, $P_3 = P_4 = 0{,}45$ Вт.

30.13. 236 Ом. **30.14.** В медном, в 1,65 раза.

30.15. Расход электроэнергии увеличится.

30.16. Нет, так как при различных накалах (температуре) лампа имеет различное сопротивление.

30.17. Потому что лампочка карманного фонарика имеет меньшее сопротивление.

30.18. В медной.

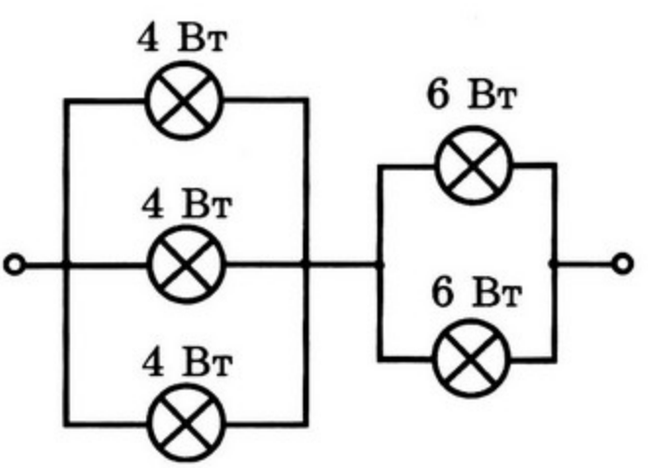
30.19. Сопротивление холодного металла меньше, чем раскаленного. Поэтому в момент включения ток будет наибольший.

30.22. $R = r$. ***Указание.*** В обоих случаях через нагреватель течет ток одинаковой силы. Значит, $\dfrac{\mathscr{E}}{\dfrac{r}{N} + R} = \dfrac{N\mathscr{E}}{N_2 + R}$.

30.23. $r = \sqrt{R_1 R_2}$. **30.24.** $r = \sqrt{R_1 R_2} = 3$ Ом. **30.25.** $N = 8$.

30.26. Полная мощность 24 Вт; первая лампочка потребляет 9,6 Вт, а вторая — 14,4 Вт.

30.27. См. рисунок. ***Указание.*** При параллельном включении трех лампочек номинальной мощностью 4 Вт каждая или двух по 6 Вт получаются «потребители», рассчитанные на одинаковое напряжение и одинаковую мощность, а значит, имеющие одинаковые сопротивления.



30.28. $R_x = \dfrac{2R_0}{\sqrt{3}} = 23$ Ом. **30.29.** 85 %. **30.30.** 1,75 А. **30.31.** 39 %.

30.34. Ее можно применять только в случае короткого замыкания источника, когда сопротивление внешней цепи равно нулю.

30.35. Когда они имеют одинаковые сопротивления.

30.36. Нет, ведь значение силы тока уменьшается при увеличении сопротивления, что приводит не к увеличению, а к уменьшению полной мощности.

30.38. Второй резистор. **30.39.** $U = 30$ В; $I_1 = U/R_1 = 3{,}75$ А; $I_2 = 1{,}25$ А; $P = U(I_1 + I_2) = 150$ Вт.

30.40. $I_{кз} = \sqrt{\dfrac{P}{R_1}} + \sqrt{\dfrac{P}{R_2}} = 25$ А. **30.41.** 1,6 А или 0,4 А.

30.42. Напряжение понизится на 8 В. **30.43.** $I_{кз} = \dfrac{P_1 I_2^2 - P_2 I_1^2}{P_1 I_2 - P_2 I_1} = 20$ А.

30.44. 12 В; 0,2 Ом.

30.45. Через 8 минут; через 36 минут.

31. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК В МЕТАЛЛАХ, ЖИДКОСТЯХ, ГАЗАХ И ВАКУУМЕ. ПОЛУПРОВОДНИКИ

31.3. Нет.

31.4. Нет, потому что диссоциирующая молекула состоит из ионов разных знаков.

31.7. При ионизации газов кроме ионов образуются еще и свободные электроны.

31.8. Из-а того, что воздух всегда находится в ионизированном состоянии.

31.9. Возможен.

31.10. Для свечения газа в неоновой лампе нужно создать в ней электрическое поле. В результате трения о стекло неоновой лампы возникают электрические заряды, пóля которых достаточно для кратковременного свечения лампы.

31.11. Вблизи поверхности большой кривизны в сильно неоднородном электрическом поле при нормальном и больших давлениях.

31.16. Дырка имеет положительный заряд, равный элементарному. Ион имеет заряд, кратный элементарному.

31.17. Из-за разрушения ковалентных связей и образования электронов проводимости и дырок.

31.18. Одинакова.

31.19. В термисторах; сопротивление уменьшается в 10–1000 раз в зависимости от изменения температуры.

31.20. Введением в полупроводник примеси из элементов V группы таблицы Менделеева; путем введения примеси из элементов III группы.

31.21. $6{,}25 \cdot 10^9$. **31.22.** 0,13 мм/с.

31.23. Во втором в 4 раза больше. **31.24.** 407 мг.

31.25. $k = 3{,}04 \cdot 10^{-7}$ кг/Кл (двухвалентный никель). **31.26.** 4 А.

31.27. У проводников примеси увеличивают сопротивление; у изоляторов — уменьшают.

31.30. В ванне с раствором CuCl.

31.31. Масса выделяющегося вещества зависит только от величины переносимого заряда, а величина энергии зависит, кроме этого, и от разности потенциалов.

31.32. В медном купоросе медь двухвалентна, в хлористой меди — одновалентна. Следовательно, из раствора медного купороса выделится в два раза меньше меди, чем из раствора хлористой меди.

31.33. Потому что наряду с ионизацией в газе происходит обратный процесс — рекомбинация ионов. **31.4.** Нет.

31.35. Горение дуги поддерживается за счет термоэлектронной эмиссии с раскаленного катода. Поэтому охлаждение катода прекратит дуговой разряд; охлаждение же анода на характер разряда не повлияет.

31.36. Скорость рекомбинации уменьшается. До определенного предела.

31.37. Чтобы уменьшить напряженность электрического поля вблизи провода.

31.38. Да, в лампах дневного света происходит дуговой разряд в разреженных парах ртути.

31.39. В отличие от дугового и искрового разрядов при коронном разряде ионизация и возбуждение атомов и молекул ограничены областью, находящейся непосредственно вблизи электрода большой кривизны.

31.41. Потому что в них число свободных зарядов значительно больше, чем в вакуумных лампах.

31.43. а) Электронной; б) дырочной; в) дырочной.

31.44. В металлах концентрация электронов проводимости так велика, что даже если каждый атом примеси, введенной в небольших количествах в металл, ионизируется, это не приведет к заметному возрастанию общей концентрации электронов проводимости.

31.45. Получить p–n-переход на основе германий—олово или кремний—олово нельзя, так как олово также четырехвалентно, и атомы олова, попадая в решетку германия или кремния, не создадут в ней ни дырок, ни дополнительных электронов.

31.46. Концентрация основных носителей значительно превышает концентрацию неосновных. Прямой ток образуется основными носителями.

31.47. а) $v_2 = 4v_1$; б) $v_2 = v_1$. **31.48.** а) $v_2 = v_1$; б) $v_2 = 2v_1$.

31.49. $6{,}6 \cdot 10^{-7}$ кг/Кл; $3{,}3 \cdot 10^{-7}$ кг/Кл.

31.50. 2,1 г. **31.51.** 15 мкм.

31.52. 18 мин. **31.53.** $W = \dfrac{mUenN_A}{M\eta} = 130$ МДж $= 37$ кВт·ч.

31.54. 480 нА. **31.55.** $2{,}1 \cdot 10^9$.

31.56. 3,1 МВ/м; 2300 км/с. **31.57.** 1,8 мм.

31.58. 2 мм. **31.59.** Дырочной, электронной.

31.60. 1 — освещенный фоторезистор; 2 — затемненный; уменьшилось в 4 раза.

31.61. Характеристика 1 соответствует более высокой температуре, чем характеристика 2; $R_1 = 5$ кОм; $R_2 = 10$ кОм.

31.62. 11,4 мА.

31.63. Причина — наличие свободных электронов проводимости; положительный.

31.64. а) Количество меди одинаково. б) Больше меди выделится на катоде первой ванны.

31.66. По 2 г в каждой ванне.

31.67. Раствор сахара почти не проводит ток, так как его молекулы не диссоциируют в воде.

31.68. Раствор небольшого количества кислоты в большом количестве воды.

31.69. При напряжении зажигания, при котором в среднем каждый электрон вызовет ионизацию хотя бы одной молекулы (появление хотя бы одного нового электрона).

31.70. Искровой разряд возникает при напряжении пробоя, достаточном для ионизации сильным электрическим полем.

31.71. Цвет свечения определяется изменением энергии атомов при переходе из одного состояния в другое, а эти состояния для атомов различных элементов неодинаковы.

31.72. Чтобы увеличить электрический ток через коллектор.

31.73. Потому что главную часть электрического тока через эмиттерный переход должны составлять основные носители заряда эмиттера, переходящие в базу и достигающие коллекторного перехода. Другая часть электрического тока, идущего через эмиттерный переход, состоящая из основных носителей зарядов базы, не связана с коллекторным переходом и является для него бесполезной.

31.74. $I_э = I_б + I_к$. **31.75.** Нет. В первом случае больше.

31.76. $\upsilon = 0{,}45$ мм/с. **31.77.** 380 об/с. **31.78.** 0,1 А/мм^2.

31.79. 0,22 мм/с. **31.80.** $T = \dfrac{2eN_A \cdot npV}{Rq} = 310$ К (здесь R — универсальная газовая постоянная, $n = 2$ — валентность кислорода). ***Указание.*** Воспользуйтесь законом электролиза и уравнением Менделеева–Клапейрона; учтите, что выделившийся кислород образует двухатомные молекулы.

31.81. 18 мин. **31.82.** 5,8 нм/с. **31.83.** $7{,}7 \cdot 10^9$ Кл.

31.84. $I = enCd^2/\varepsilon_0 = 8{,}1 \cdot 10^{-14}$ А, $U = IR = 8{,}1 \cdot 10^{-11}$ В.
Указание. Из условия следует, что I представляет собой силу тока насыщения. Эта сила тока численно равна общему заряду ионов одного знака, рождающихся ежесекундно между пластинами конденсатора.

31.85. $W_k = 21{,}5$ эВ $= 3{,}4 \cdot 10^{-18}$ Дж; $\upsilon = 2700$ км/с.
Указание. Поскольку масса электрона намного меньше массы атома, можно не учитывать полученной атомом при столкновении кинетической энергии. Следовательно, для ионизации достаточно, чтобы кинетическая энергия электрона совпадала с энергией ионизации $e\varphi$.

31.86. $W_k = 43$ эВ $= 6{,}9 \cdot 10^{-18}$ Дж; $\upsilon = 20$ км/с.

31.87. $T = 1{,}7 \cdot 10^5$ К.

31.90. а) Уменьшится в 200 раз. б) Практически не изменится.

31.91. В данном случае нельзя считать сопротивление амперметра бесконечно малым, а сопротивление вольтметра — бесконечно большим. Схему *а* нельзя использовать для измерения обратного тока через диод (практически весь ток пойдет через вольтметр). Схему *б* нельзя использовать для измерения напряжения при прямом токе (напряжение на амперметре намного превышает напряжение на диоде).

32. МАГНИТНОЕ ПОЛЕ. ВЕКТОР МАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ

32.5. Электрическое поле действует на все заряженные частицы и тела, а магнитное — только на движущиеся.

32.8. На северном географическом полюсе. **32.9.** Отталкиваются.

32.12. 20 Н. **32.13.** 20 А. **32.14.** 30°.

32.15. $2{,}8 \cdot 10^{-14}$ Н. **32.16.** $2{,}8 \cdot 10^{-4}$ м. **32.17.** 5 мТл.

32.19. Можно подвесить полотно за середину на нити и проверить, ориентируется ли оно магнитным полем Земли; можно также разломать полотно на две части и проверить, есть ли магнитное взаимодействие между частями.

32.20. При питании электромагнита постоянным током расходуется энергия на нагрев проводника.

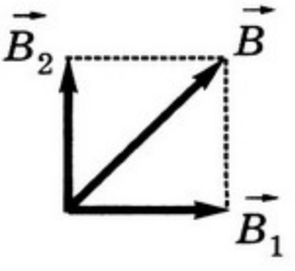
32.21. Превратилась во внутреннюю энергию раствора.

32.22. В обоих случаях будут притягиваться.

32.24. Параллельно линиям магнитной индукции.

32.25. Северным полюсом к нам; северным полюсом от нас.

32.30. Согласно принципу суперпозиции $\vec{B} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2$; направление векторов $\vec{B}_1$ и $\vec{B}_2$ можно найти по правилу буравчика (см. рисунок). Поскольку $B_1 = B_2$, вектор $\vec{B}$ образует с плоскостями обоих обручей углы по 45°.



32.32. На 27°. **32.33.** $B = \mu mg/(Il) = 98$ мТл. ***Указание.*** Брусок сдвинется с места, когда сила Ампера $F_A = IBl$ превысит максимальную силу трения покоя.

32.34. По окружности радиусом $R = mv/(eB)$. **32.36.** 0,32 м.

32.37. Нет. ***Указание.*** Магнитное поле каждого магнита будет слабее. **32.38.** Да.

32.41. Рис. *в* (если вектор $\vec{B}$ направлен от нас) и рис. *г* (если вектор $\vec{B}$ направлен к нам).

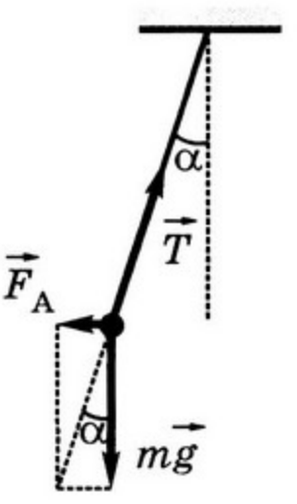
32.42. Форму окружности.

32.43. В обоих положениях плоскость рамки перпендикулярна линиям индукции магнитного поля. В положении устойчивого равновесия направление тока в рамке связано с

направлением магнитного поля правилом буравчика (при этом силы Ампера, действующие на стороны рамки, стремятся растянуть рамку).

32.45. Ток должен идти слева направо. $I = mg/(Bl) = 2{,}0$ А.

32.46. $\alpha = \operatorname{arctg}\dfrac{IBl}{mg} = 19°$. ***Указание.*** См. рисунок. Отметим, что если бы провода тоже находились в области магнитного поля, действующая на них сила Ампера вызывала бы их *изгиб*, причем такой, что провода не лежали бы в одной плоскости.



32.47. В центре кольца $B = 0$. **32.48.** $\sigma = 42$ кПа.

32.49. По винтовой линии радиусом $R = \dfrac{mv\sin\alpha}{eB}$ с шагом $h = \dfrac{2\pi mv\cos\alpha}{eB}$.

32.53. Проводники будут разворачиваться так, чтобы токи были направлены в одну сторону, и притягиваться друг к другу.

32.54. Жидкость начнет вращаться по часовой стрелке.

33. ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ИНДУКЦИЯ

33.5. В катушке возникает большая ЭДС, так как ЭДС индукции пропорциональна длине проводника, движущегося в магнитном поле, т. е. пропорциональна числу витков катушки.

33.6. Например, в однородном кольце, в котором наведен индукционный ток.

33.7. Более сильная искра получается при размыкании электромагнита, у которого индуктивность больше, чем у ламп.

33.8. При размыкании, так как время спада силы тока до нуля меньше, чем время его возрастания.

33.9. 0,16 Вб. **33.10.** 0,25 Тл. **33.11.** 0,012 м^2. **33.12.** 4 В.

33.13. 0,2 Вб/с; 0,2 В; при равномерном изменении магнитного поля.

33.14. –1,25 В; знак «–» показывает, что возникающая ЭДС самоиндукции препятствует нарастанию силы тока.

33.15. 0,31 Гн. **33.16.** 63 Дж; уменьшится в четыре раза.

33.17. 2 А. **33.18.** 0,4 Гн.

33.20. В обоих случаях возникающее при движении магнита вихревое электрическое поле вызывает в кольце индукционный ток. После исчезновения вихревого поля индукционный ток в проводящем кольце затухает, а в сверхпроводящем будет течь неограниченно долго (если внешнее магнитное поле не будет изменяться).

33.22. Наименьшая (равная нулю) — когда рамка находится в плоскости, проходящей через ось вращения и провод; наибольшая — когда плоскость рамки перпендикулярна указанной плоскости.

33.29. 0,4 Кл. **33.30.** 2 мкКл. **33.31.** $\Phi = \pi r^2 B$.

33.32. $B = 4B_0$. ***Указание.*** Площадь контура уменьшилась в 4 раза; поскольку $\Phi = \text{const}$, индукция магнитного поля во столько же раз увеличилась.

33.33. $q = \pi n C r^2 \dfrac{\Delta B}{\Delta t} = 0{,}57$ мкКл.

33.34. $P = \dfrac{\pi^2 n^2 r^4}{R}\left(\dfrac{\Delta B}{\Delta t}\right)^2 = 5{,}0 \cdot 10^{-5}$ Вт.

33.35. Заряд одинаковый; количество теплоты больше при быстром вдвигании магнита.

33.36. $q = \pi n B r^2 (1 - \cos\alpha)/R$. **33.37.** L пропорциональна N^2.

33.39. Не возникает. Линии магнитной индукции поля тока, текущего в одном из обручей, не пересекают плоскость второго обруча.

33.41. Колебания быстро затухнут. ***Указание.*** После замыкания ключа в цепи возникает индукционный ток. Действие на него силы Ампера аналогично действию силы сопротивления среды.

33.44. ***Указание.*** В положении 1 ток будет направлен против часовой стрелки; в положении 2 индукционного тока не будет; в положении 3 ток будет направлен по часовой стрелке, если смотреть на рамку с правой стороны.

33.45. Лампа 1 загорится раньше; лампы гаснут одновременно.

33.46. Мощность двигателя должна уменьшиться. ***Указание.*** При увеличении сопротивления нагрузки потребляемая ею мощность уменьшается.

33.48. $I = \dfrac{\omega B l^2}{4R}$. **33.49.** а) 0,84 Кл; б) 1,7 Кл. **33.50.** 6,85 Кл.

33.52. Стержень будет двигаться равноускоренно, пока не достигнет скорости $v_1 = \mathcal{E}_0/(Bl)$. На этом этапе ток в цепи от-

сутствует. Затем ускорение начнет уменьшаться и станет равным нулю при $v_2 = v_1 + FR/(B^2l^2)$. После этого стержень будет двигаться равномерно.

Указание. При $v < v_1$ ток в цепи отсутствует, потому что диод включен «против» суммарной ЭДС в цепи.

33.53. $I = I_0/2$; энергия поля уменьшится вдвое.

33.54. $E = kr/2$ при $r \leqslant R$; $E = kR^2/(2r)$ при $r > R$.

Указание. Силовые линии вихревого электрического поля — окружности. ЭДС индукции в таком контуре численно равна работе вихревого поля при перемещении по контуру единичного положительного заряда: $\mathscr{E}_i = 2\pi rE$.

33.55. $N_{max} = 300$ Вт, $I_0 = 5$ А.

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ

34. СВОБОДНЫЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ КОЛЕБАНИЯ. ПЕРЕМЕННЫЙ ТОК

34.9. 0,38 мс. **34.10.** 0,12 МГц. **34.11.** 0,24 мс; 4,2 кГц.

34.12. 12,7 мГн. **34.13.** 790 пФ. **34.14.** 170 В. **34.15.** 21,2 А.

34.19. Равна нулю. **34.21.** Нет. **34.22.** Потому что амплитудное значение напряжения больше 150 В.

34.23. Чтобы избежать электролиза. **34.24.** 133 кГц.

34.25. а) $T = 1{,}3$ мкс, $\nu = 800$ кГц;

б) $T = 2{,}5$ мкс, $\nu = 400$ кГц. ***Указание.*** Согласно формуле Томсона $T = 2\pi\sqrt{LC_0}$, где C_0 — емкость батареи конденсаторов, равная $C/2$ в случае *а* и $2C$ в случае *б*.

34.26. 2 мм. **34.32.** Амплитудой колебаний.

34.33. В конденсаторе и катушке; в катушке; в конденсаторе; в катушке.

34.34. Между напряжением и силой тока существует сдвиг фаз, равный 90°. **34.35.** 50 кГц. **34.36.** Можно.

34.37. ***Указание.*** Такой эталон частоты выбран с учетом инерционности человеческого зрения, позволяющего различать сигналы длительностью не менее 0,05 с. Частота 50 Гц достаточна для того, чтобы человеческий глаз не замечал изменения интенсивности излучения ламп накаливания.

34.38. 1,26 мкс; 2,51 мкс.

34.39. $I_м = U_1\sqrt{\dfrac{C_1C_2}{L(C_1+C_2)}}$. **34.40.** 0,05 Гн. **34.41.** 0,5 МГц; 0,1 Гн.

34.42. 79 нФ; 0,57 мкДж; 0,57 мкДж.

34.44. а) $I = I_0$; б) $I = I_0/2$; в) $I = I_0\sqrt{\dfrac{\tau}{T}}$.

35. ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ ПОЛЕ. ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ВОЛНЫ

35.11. 1,2 МГц. **35.12.** 5 м. **35.13.** 100 м.

35.14. $2 \cdot 10^8$ м/с; 300 м. **35.15.** 60 км. **35.16.** 0,24 с.

35.18. Нельзя. Можно; система отсчета должна двигаться со скоростью электронного луча. В этой системе сила тока равна нулю, и луч создает лишь электрическое поле.

35.19. Нельзя.

35.22. Зимой и ночью слой ионосферы, поглощающий радиоволны, находится выше (на высоте 300–600 км). Днем и летом слой опускается ниже (80–100 км) и более интенсивно поглощает радиоволны.

35.24. Различными свойствами суши и воды отражать волны.

35.27. 2000 колебаний. ***Указание.*** Период звуковых колебаний $T_{зв} = 1/\nu$, электромагнитных — $T_{эл} = \lambda/c$.

35.28. Увеличить в 9 раз. **35.29.** 1800 м. **35.30.** 0,1 мкс. **35.31.** 0,25 нФ.

35.32. 1,5 км. **35.33.** 100 км; 150 м. **35.34.** 4000; 75 км.

35.35. Раздвигать пластины, уменьшать площадь их перекрытия. ***Указание.*** Длина волны, на которую настроен приемник, $\lambda = 2\pi c\sqrt{LC}$, а емкость конденсатора $C = \varepsilon_0\varepsilon S/d$.

35.36. Не зависит.

35.41. Телецентры работают на ультракоротких волнах, которые почти не дифрагируют (не огибают поверхность Земли).

35.42. Мощность волны, переносимая через единицу площади поверхности, обратно пропорциональна квадрату расстояния, пройденного волной.

35.43. Индуктивности катушек $L_k = \dfrac{1}{C_1}\left(\dfrac{\lambda_{min}}{2\pi c}\right)^2\left(\dfrac{C_2}{C_1}\right)^{k-1}$, где $k = 1, 2, \ldots, N$; $\lambda_{max} = \lambda_{min}\left(\dfrac{C_2}{C_1}\right)^{\frac{N}{2}}$.

35.44. 4 катушки. ***Указание.*** Смотрите задачу 35.43. Поскольку $\lambda_2 < \lambda_1(C_2/C_1)^2$, можно подобрать катушки так, чтобы соответствующие им участки диапазона перекрывались.

35.45. $s_{max} = 18$ км, $n \leqslant 8300$ с$^{-1}$.

35.46. 9000; $s_{min} = c\tau/2 = 225$ м. ***Указание.*** Радиолокатор способен принимать отраженный сигнал лишь после окончания излучения соответствующего импульса.

35.48. На 7,8 см. **35.49.** 64 мкс. **35.50.** 4,4 км/с.

36. ВОЛНОВЫЕ СВОЙСТВА СВЕТА

36.3. Радужные полосы в тонких пленках возникают в результате интерференции световых волн, отраженных от верхней и нижней границ пленки.

36.6. Не изменяется. **36.7.** Уменьшается.

36.8. Дифракцией света на дорожках диска.

36.10. Из-за большей длины волны зуковых волн.

36.11. Размеры колонны сравнимы с длиной волны звука и значительно больше длины световой волны. Звук огибает колонну, свет распространяется прямолинейно.

36.13. а) Так как разность хода равна 12 длинам волн (т. е. целому их числу), то в точке встречи волн происходит максимальное усиление света; б) так как разность хода равна 12,5 длин волн, то происходит максимальное ослабление света.

36.14. 450 нм. **36.15.** Ослабление света.

36.16. 225 нм $\cdot$ $(2k + 1)$, где $k = 0, 1, 2, 3, \ldots$

36.17. Наблюдается интерференционный максимум.

36.18. 15. **36.19.** 1°10′. **36.20.** 575 нм.

36.21. Вода во внутреннем слое пузыря постепенно стекает вниз, нижняя часть пузыря утолщается, а верхняя становится тоньше. Места, соответствующие определенной толщине мыльной пленки, перемещаются, вместе с ними перемещаются и соответствующие интерференционные полосы.

36.22. Да, если разделить с помощью отражений или преломлений волну, идущую от одного источника, на две части.

36.24. В отраженном свете.

36.25. Нельзя. ***Указание.*** Световая волна испытывает сильную дифракцию на атомах, поскольку размеры атомов намного меньше длины волны света.

36.26. Имеет место дифракция на щели, образованной веками прищуренного глаза, и на решетке, образованной ресницами.

36.28. Расстояние между дифракционными максимумами на экране увеличивается.

36.29. Дифракцию света на нитях ткани, на отдельных волосках перышка.

36.31. 3,6 мм. **36.32.** $8{,}9 \cdot 10^{-4}$ м. **36.33.** 0,6 мкм.

36.34. Используя формулу дифракционной решетки, получаем $k = d\sin\varphi/\lambda \leqslant d/\lambda = 3{,}85$, т. е. $k_{max} = 3$.

36.35. 0,61 мкм.

36.36. ***Указание.*** Спектры порядка k и $k + 1$ перекрываются, если $k\lambda_2 \geqslant (k + 1)\lambda_1$, т. е. при $k \geqslant \lambda_1/(\lambda_2 - \lambda_1) = 10$. Поскольку максимальный порядок спектра ограничен условием $k \leqslant d/\lambda_1 = 8$, спектры разных порядков перекрываться не будут.

36.39. а) Равномерная освещенность экрана; б) во втором случае полосы будут ближе друг к другу.

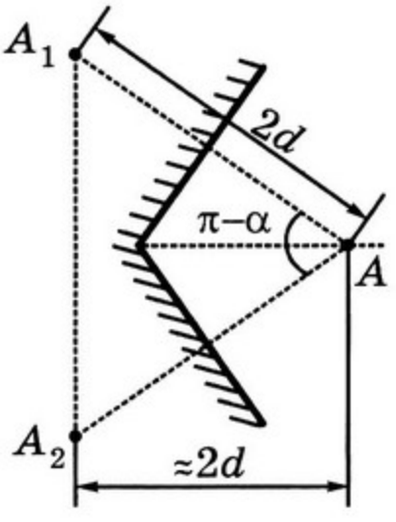
36.41. Толстый слой поглощает свет; лишь после испарения толщина пленки достигает значения, при котором наступает интерференция.

36.43. $x = 1{,}8$ мм; не обязательно.

36.44. $x = \dfrac{\lambda L}{2s} = 1{,}2$ мм. ***Указание.*** Можно считать, что вторым источником световых волн является изображение A_1 источника A в зеркале.

36.45. $x = \dfrac{\lambda L}{2d(\pi - \alpha)} \approx 1$ мм. Здесь $\pi - \alpha = \pi/360$ рад.

Указание. См. рисунок. Интерференционную картину создают световые волны от мнимых изображений A_1 и A_2 источника A. Следует учесть, что $d \ll L$, $\pi - \alpha \ll 1$ рад.



36.47. В фокальной плоскости линзы; $s = 3\lambda F\Big/\sqrt{d^2 - 9\lambda^2} = 0{,}57$ м.

Указание. Воспользуйтесь формулой $\operatorname{tg}\varphi = \sin\varphi\Big/\sqrt{1 - \sin^2\varphi}$ (в данном случае угол отклонения лучей не настолько мал, чтобы считать $\operatorname{tg}\varphi \approx \sin\varphi$).

36.48. $d(\sin\varphi - \sin\alpha) = k\lambda$, где $k = 0, \pm 1, \pm 2, \ldots$.

37. ЦВЕТ. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ СВЕТА С ВЕЩЕСТВОМ

37.5. Зеленые листья будут казаться черными, потому что зеленое излучение будет поглощено красным стеклом и в глаз наблюдателя не проникнут никакие лучи.

37.8. 3. **37.9.** $2{,}25 \cdot 10^8$ м/с. **37.10.** 417 нм. **37.11.** 225400 км/с; 223400 км/с. **37.12.** Нет; 316 нм. **37.13.** Увеличится на 103 нм.

37.14. Может.

37.15. ***Указание.*** Тела красного цвета были бы видны красными, а тела других цветов — черными, так как красные лучи Солнца были бы поглощены этими телами. Природа казалась бы двухцветной — красно-черной.

37.16. Освещенные белым светом: синяя бумага отражает свет синего цвета, поглощая остальные; синее стекло пропускает свет синего цвета, поглощая остальные; воздух рассеивает синий свет.

37.19. Атмосфера Земли рассеивает световые волны голубой части спектра. У Луны нет атмосферы.

37.21. Снег в тени освещен светом, рассеянным атмосферой.

37.22. Нет. **37.23.** Сильнее всего воздухом рассеиваются синие и голубые лучи.

37.25. 375 нм; зеленый. **37.26.** 547 нм; красный; красный. **37.27.** 1°.

37.28. $5 \cdot 10^{14}$ Гц. **37.29.** 480 нм; 360 нм.

37.30. $1{,}92 \cdot 10^8$ м/с; 378 нм.

37.33. На темном фоне мы наблюдаем дым в рассеянном свете, а на фоне светлого неба — в проходящем. Мелкие частицы дыма сильнее всего рассеивают коротковолновую часть солнечного излучения.

37.34. В вакууме дисперсии волн нет; скорость света всех длин волн одинакова. Во всякой другой прозрачной среде скорость распространения красного света больше, чем фиолетового.

37.36. Цвет прозрачного тела определяется составом света, проходящего через него; цвет непрозрачного тела определяется смесью тех цветов, которые оно отражает.

37.39. При красном ближе. ***Указание.*** Красные лучи преломляются слабее. Для получения изображения на сетчатке глаза увеличивается оптическая сила хрусталика, и расстояние до предмета кажется меньшим.

37.41. 300 нм или кратному значению этого числа. **37.42.** 90 нм.

38. ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ ОПТИКА

38.1. Когда размеры препятствий для света намного больше длины световой волны.

38.2. Размеры полутени увеличиваются с увеличением размеров источника. **38.3.** В полдень. **38.4.** На 2α.

38.5. Можно, если расположить глаз близко к поверхности зеркала.

38.7. Свет, зеркально отражаясь от поверхности лужи, не попадает в глаза водителя.

38.9. На границе сред воздух–вода свет частично отражается, частично преломляется.

38.11. Лучи света, идущие от ложки, преломляются при выходе в воздух.

38.12. Вода в стакане играет роль собирающей линзы.

38.16. 55°. **38.17.** 6,7 м. **38.18.** По часовой стрелке на 60°.

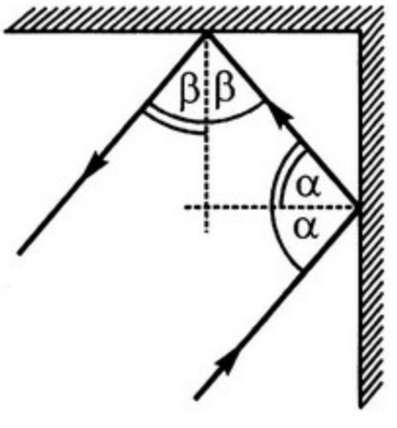
38.19. 30°. **38.20.** 3. **38.21.** 1,8. **38.22.** 34°. **38.23.** 0,75.

38.27. 15 см. **38.28.** 36 см. **38.29.** 4,5 см. **38.30.** 84,5 см; 35,5 см.

38.33. Чем ближе отверстие к экрану, тем меньше получается изображение.

38.34. При условии, что на плоское зеркало будет направлен пучок сходящихся лучей.

38.35. Направление изменится на противоположное. ***Указание.*** $\alpha + \beta = \pi/2$ (см. рисунок).



38.36. Не будут.

38.37. При одинаковой оптической плотности сред, при одинаковой скорости света в них, при угле падения, равном нулю.

38.39. Человек видит в воде мнимое изображение, смещенное к поверхности воды.

38.41. Двояковыпуклая линза является рассеивающей, если показатель преломления материала линзы *меньше,* чем окру-

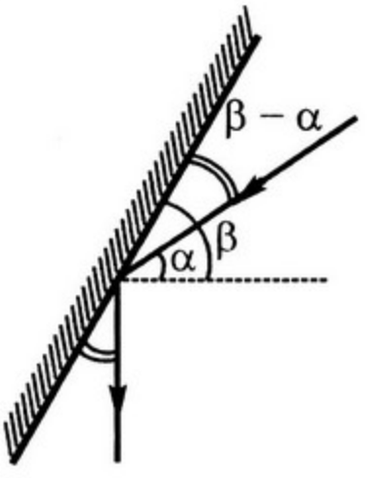
жающей среды (воздушная линза в воде или в стекле). Заметим, что при тех же условиях двояковогнутая линза будет собирающей.

38.44. Выпуклая лиза является рассеивающей, если показатель преломления материала линзы меньше, чем у окружающей среды (воздушная линза в воде или в стекле). При тех же условиях вогнутая линза будет собирающей.

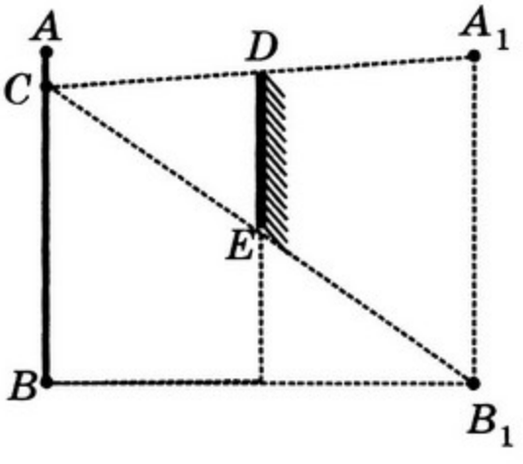
38.45. Раздражение зрительного нерва при любом способе раздражения вызывает ощущение света.

38.46. При уменьшении диаметра зрачка возрастает глубина резкости. **38.47.** 4 м.

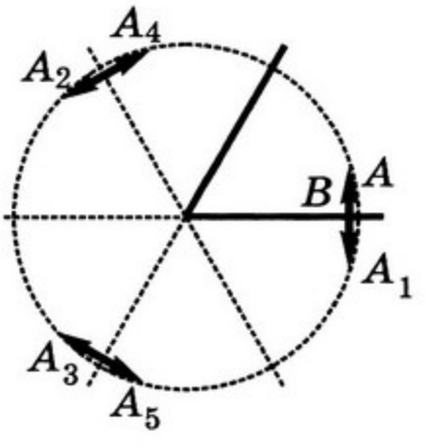
38.48. $\beta = 69°$. ***Указание.*** См. рисунок. Из закона отражения света следует: $\beta - \alpha = 90° - \beta$.



38.50. $H/2$; высота нижнего края зеркала должна быть вдвое меньше расстояния от глаз до пола. ***Указание.*** См. рисунок; AB — человек, A_1B_1 — его изображение в зеркале; точка C — глаз человека.



К задаче 38.50



К задаче 38.51

38.51. Пять изображений (см. рисунок). **38.53.** 12 см.

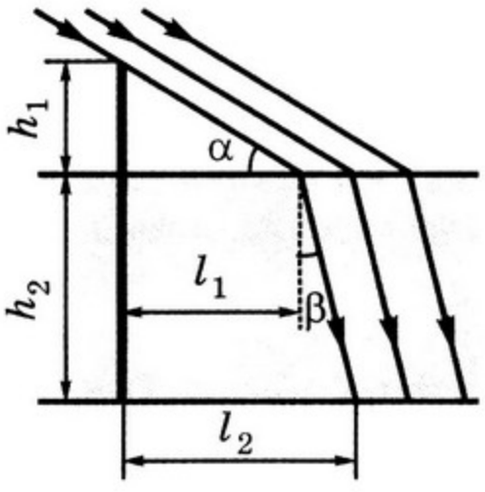
38.59. Изображений получится очень много; равным удвоенному расстоянию между зеркалами.

38.61. Зеркало толстое, и отражение происходит от задней его стенки. Это явление не наблюдается в зеркалах поверхностного серебрения.

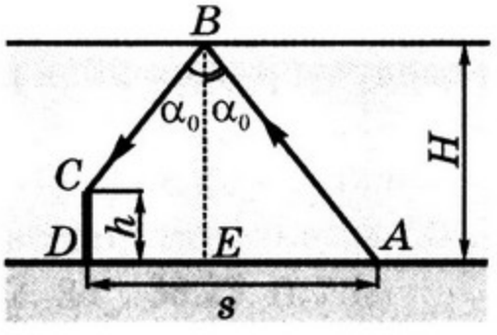
38.64. Для первого. **38.69.** $H = 9{,}7$ м; $\alpha = 49°$.

38.72. $l_1 = h_1 \operatorname{ctg}\alpha = 1{,}7$ м; $l_2 = h_1 \operatorname{ctg}\alpha + \dfrac{h_2 \cos\alpha}{\sqrt{n^2 - \cos^2\alpha}} = 3{,}4$ м.

Указание. См. рисунок.



К задаче 38.72

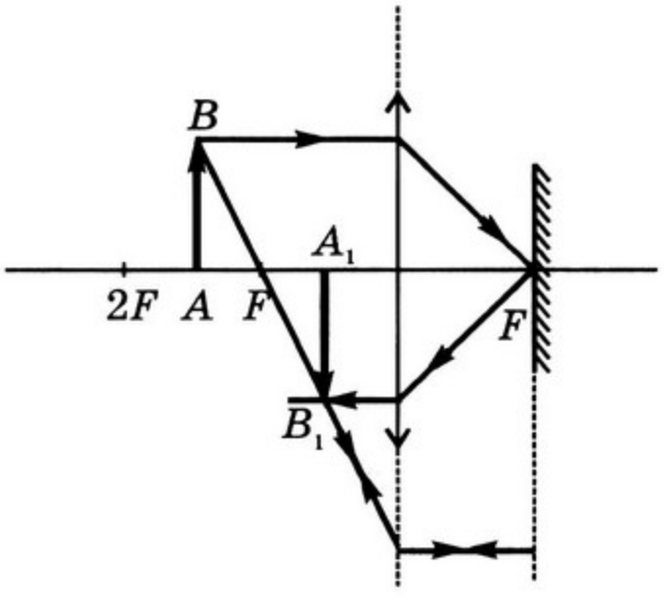


К задаче 38.73

38.73. $H = \dfrac{h}{2} + \dfrac{s}{2}\sqrt{n^2 - 1} = 5{,}2$ м. ***Указание.*** См. рисунок; α_0 — предельный угол полного отражения.

38.74. $l = h_1 + nh_2 = 3{,}0$ м. **38.75.** $h = 3{,}2$ м

38.78. См. рисунок.



38.79. $F = \dfrac{H_1 d_1 - H_2 d_2}{H_1 - H_2} = 5{,}6$ см.

38.80. $f = 30$ см или $f = 60$ см. Исключая d из соотношения $d + f = l$ и формулы тонкой линзы, приходим к квадратному уравнению $f^2 - lf + lF = 0$.

Отсюда $f_{1,2} = \frac{l}{2}\left(1 \pm \sqrt{1 - \frac{4F}{l}}\right)$. Наличие двух решений связано с обратимостью хода световых лучей: одно решение переходит в другое, если поменять местами расстояния от линзы до стены и от линзы до лампы ($d_2 = f_1$, $f_2 = d_1$).

38.81. Уменьшается на 4 дптр. **38.82.** $D = -6{,}0$ дптр.

39. ЭЛЕМЕНТЫ ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ

39.2. В инерциальных системах отсчета все явления природы протекают одинаково — в них выполняются законы Ньютона; в неинерциальных системах эти законы не выполняются.

39.3. Нет. **39.5.** Не зависит.

39.11. В обоих случаях скорость равна c.

39.12. $0{,}97c$; $0{,}73c$. **39.13.** $0{,}91c$. **39.14.** 0,8 м. **39.15.** 1,74 м.

39.16. 1,34 кг. **39.17.** $0{,}8c$. **39.18.** $9 \cdot 10^{13}$ Дж.

39.19. $2{,}1 \cdot 10^{21}$ Дж. **39.20.** $3{,}64 \cdot 10^{-22}$ кг · м/с.

39.21. Нельзя. **39.22.** Ускорение и масса.

39.23. а) и б) изменяются; в) остается постоянным.

39.24. В классической механике, если допустить мгновенное распространение взаимодействия, третий закон выполняется и для таких отдаленных объектов, как галактики.

39.25. Нет. **39.26.** Нет. **39.28.** km_0c^2. **39.29.** Да.

39.30. Интервал времени, длина и масса не менялись бы при переходе из одной инерциальной системы в другую.

39.31. $v = 0{,}14\ c = 4{,}2 \cdot 10^7$ м/с; $v = 0{,}87\ c = 2{,}6 \cdot 10^8$ м/с.

39.32. $l = 2$ км. ***Решение.*** В системе отсчета, относительно которой частицы движутся со скоростью v, среднее время жизни $\tau = \frac{\tau_0}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$, откуда $l = v\tau = \frac{v\tau_0}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} = 3c\tau_0 = 2$ км.

39.33. $0{,}97c$. **39.34.** $1{,}2 \cdot 10^{21}$ Дж.

39.35. Уменьшается на $4{,}7 \cdot 10^{-11}$ кг.

39.36. Увеличивается на $3{,}7 \cdot 10^{-12}$ кг.

39.37. Увеличивается на $2{,}8 \cdot 10^{-16}$ кг.

39.38. $v = 7{,}7$ км/с. ***Решение.*** Согласно соотношению Эйнштейна $\Delta m = \frac{W_k}{c^2} = \frac{mv^2}{2c^2}$, откуда $v = c\sqrt{\frac{2\Delta m}{m}} = 7{,}7$ км/с. Как видим, даже для такого малого относительного изменения массы поезду нужно было бы сообщить скорость, почти равную первой космической.

39.39. $v = c\sqrt{3}/2 = 2{,}6 \cdot 10^8$ м/с. **39.40.** $9 \cdot 10^{10}$ Дж. **39.41.** Нет.

39.42. ***Решение.*** В классической механике скорость взаимодействия тел считается мгновенной, в частности для гравитационного взаимодействия. В релятивистской механике доказано, что существует максимальная конечная скорость распространения взаимодействия — скорость света c в вакууме. При этом доказано, что в природе невозможно взаимодействие со скоростью, превышающей скорость c. Максимальная скорость распространения взаимодействия постоянна, одинакова во всех инерциальных системах отсчета.

39.43. Не изменится.

39.44. Нет, так как изменяется при переходе в другую инвариантную систему отсчета.

39.45. В системе отсчета, связанной с центром масс системы из двух таких частиц.

39.46. Изменилась на $\Delta m = \frac{Q}{c^2}$, где Q — количество теплоты, отданное стержнем.

39.47. Масса сжатой пружины больше на величину $\Delta m = \frac{k\Delta x^2}{2c^2}$, где k и Δx — жесткость пружины и ее удлинение.

39.48. Отличие существенное: заряд частицы не зависит от ее скорости, что подтверждает нейтральность многоэлектронных атомов.

39.49. Ускорение тела $a = F/m$. При скоростях, близких к скорости света, масса тела увеличивается, поэтому при действии постоянной силы ускорение будет уменьшаться и при $v \to c$ масса $m \to \infty$, а ускорение $a \to 0$.

39.50. Световой луч остановить нельзя. Остановить световой луч — это значит получить его в застывшем виде, т. е. находящимся в покое относительно системы отсчета. В этом случае скорость света оказалась бы относительной, что противоречит постулату теории относительности.

39.51. $v = u,\ v_2 = \dfrac{2uc^2}{c^2 + u^2}$.

39.52. а) В 4 раза; б) в 833 раза. **39.53.** а) $0{,}87c$; б) $0{,}033c$.

39.56. $1{,}4 \cdot 10^{-18}$ кг · м/с. **39.57.** На 44 м/с. ***Указание.*** Воспользуйтесь справедливой для малых x формулой $\sqrt{1-x} = 1 - \dfrac{x}{2}$.

39.58. $u = 4{,}0$ см/сут.

39.59. На $2{,}5 \cdot 10^{-29}$ м/с. ***Указание.*** Докажите, что если скорость v частицы близка к скорости света в вакууме c, можно применить приближенную формулу для кинетической энергии $E_k = mc^2\sqrt{\dfrac{c}{2(c-v)}}$.

39.60. $W = c\sqrt{p^2 + m^2c^2},\ W_k = W - mc^2$.

Указание. Формула $p = \dfrac{mv}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$ позволяет выразить v через p.

КВАНТОВАЯ ФИЗИКА

40. СВЕТОВЫЕ КВАНТЫ

40.9. $2{,}76 \cdot 10^{-19}$Дж. **40.10.** $4 \cdot 10^{-19}$ Дж; 2,5 эВ.

40.11. $1{,}1 \cdot 10^{-27}$ кг · м/с. **40.12.** $3{,}3 \cdot 10^{-27}$ кг · м/с.

40.13. 260 нм. **40.14.** 296 нм. **40.15.** $8{,}9 \cdot 10^{14}$ Гц. **40.16.** Не меняется.

40.18. При внешнем фотоэффекте электроны покидают тело, при внутреннем — нет.

40.24. $N = P\tau\lambda/(hc) = 6{,}3 \cdot 10^{15}$, где $\tau = 1$ с.

40.25. $\lambda = hc/(nW_0) = 0{,}34$ мкм. Здесь n — показатель преломления воды. **40.26.** 320 нм. **40.27.** $U = 41$ кВ. **40.28.** $v = 580$ км/с.

40.29. $\nu \leqslant \nu_0 + eU/h = 1{,}3 \cdot 10^{15}$ Гц. **40.30.** $U_2 = 0{,}51$ В.

40.31. 2,3 эВ. **40.32.** Увеличить на $2{,}7 \cdot 10^{14}$ Гц. **40.33.** 490 км/с.

40.34. Наэлектризовать палочку зарядом положительного знака, поместить ее вблизи цинковой пластины, облучаемой светом дуги.

40.35. Уравнение Эйнштейна написано для одного падающего кванта. Не каждый квант света, падающего на поверхность

металла, обладает достаточной энергией для совершения работы выхода и сообщения электрону кинетической энергии. Поэтому говорить об энергии света в целом нельзя.

40.36. При увеличении освещенности увеличивается количество фотонов, попадающих в металл, но энергия каждого фотона остается неизменной. Так как выход фотоэлектронов при возникновении фотоэффекта зависит только от энергии кванта, поглощенного веществом, а не от количества квантов, то возникновение фотоэффекта не зависит от числа квантов или от освещенности металла.

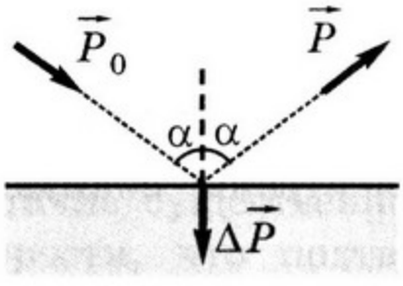
40.41. В случае *а* давление наибольшее, в случае *б* — наименьшее. **40.42.** Увеличится еще в полтора раза; 540 км/с.

40.43. 1,25 В. **40.44.** 550 нм.

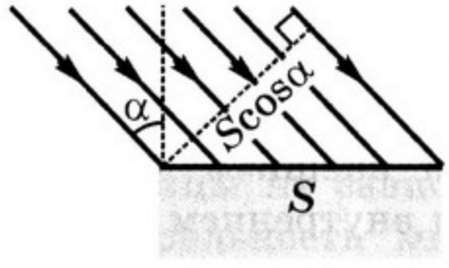
40.45. $\lambda = \dfrac{h}{mc} = 2{,}4 \cdot 10^{-12}$ м; $v = \dfrac{c}{\sqrt{2}} = 2{,}1 \cdot 10^{8}$ м/с; $\dfrac{W}{W_\gamma} = \sqrt{2}$.

40.46. $2{,}6 \cdot 10^{-27}$ кг · м/с. **40.47.** $nh\nu = A + \dfrac{mv^2}{2}$, где n — количество поглощаемых фотонов. **40.48.** I/c; $2I/c$.

40.49. $p = \dfrac{2I\cos^2\alpha}{c}$. ***Указание.*** См. рисунки *а*, *б*. Переданный поверхности каждым фотоном импульс $\Delta P = \dfrac{2W_0\cos\alpha}{c}$.



а



б

40.50. 9,6 пм.

41. ФИЗИКА АТОМА

41.8. Когда атом находится в одном из стационарных состояний.

41.9. При переходе с более высокого энергетического уровня на более низкий.

41.11. 10,16 эВ. **41.12.** 490 нм. **41.13.** 250 нм. **41.14.** 8,3 эВ.

41.15. Увеличилась на $4 \cdot 10^{-19}$ Дж. **41.16.** $3 \cdot 10^{-19}$ Дж.

41.17. Атом по законам классической физики мог быть не устойчивым.

41.20. Изменением энергии атома при переходе из одного состояния в другое.

41.22. Атом поглощает излучение той же частоты, которую сам может излучать.

41.23. Каждому переходу атома с одного энергетического уровня на другой соответствует определенная спектральная линия.

41.24. Когда находится на удаленной от ядра орбите.

41.26. в) Разреженный атомарный кислород.

41.27. Не более 367 нм.

41.28. $\lambda_4 = \dfrac{\lambda_2\lambda_3}{\lambda_2 - \lambda_3}$, $\lambda_3 = \dfrac{\lambda_1\lambda_6}{\lambda_1 + \lambda_6}$, $\lambda_5 = \dfrac{\lambda_2\lambda_6}{\lambda_2 - \lambda_6}$.

41.29. $1{,}9 \cdot 10^6$ м/с $\leqslant v < 2{,}06 \cdot 10^6$ м/с.

41.30. На третий; три линии.

41.31. $1{,}3 \cdot 10^{10}$. **41.32.** $\lambda = \dfrac{2hc}{mv^2} \approx 124$ нм. **41.33.** Нет.

41.34. Зависит. **41.35.** Неон, гелий, радон, пары ртути.

41.36. У всех атомов, даже у водорода, количество возможных энергетических уровней бесконечно велико.

41.37. Нельзя, так как эта формула применима лишь для неподвижных точечных зарядов, а скорость альфа-частиц достаточно велика.

41.38. Масса альфа-частиц в 4 раза больше массы ядер водорода, поэтому при столкновении протон будет двигаться в том же направлении, что и альфа-частица (она лишь немного уменьшит свою скорость). Отражения альфа-частиц не наблюдается, отклонение от первоначального направления будет незначительным.

41.39. Легче оторвать первый электрон. **41.40.** Нет.

41.41. Уменьшится в n раз.

41.42. В n^2 раз. **41.43.** 121 нм.

41.44. Может; поглощение фотона приведет к ионизации атома.

41.45. $2{,}1 \cdot 10^6$ м/с; $4{,}54 \cdot 10^{14}$ Гц; $2{,}45 \cdot 10^{15}$ Гц; $2{,}9 \cdot 10^{15}$ Гц.

41.46. 12,1 эВ $\leqslant W <$ 12,75 эВ; 102 нм; 653 нм; 121 нм.

41.47. $\lambda = 2\pi r = 3{,}3 \cdot 10^{-10}$ м. **41.48.** $2{,}1 \cdot 10^{-10}$ м.

42.5. Не изменяется. **42.6.** Периодом полураспада.

42.8. Сумма масс частиц, входящих в состав ядра.

42.10. Нет. Так как его ядро состоит из одной частицы.

42.11. Свинец-208. **42.12.** Висмут-210. **42.13.** Марганец, бром, цезий. **42.14.** $1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Кл; $8 \cdot 10^{-19}$ Кл; $32 \cdot 10^{-19}$ Кл.

42.15. ${}^{27}_{13}\mathrm{Al} + {}^{1}_{1}\mathrm{H} \rightarrow {}^{24}_{12}\mathrm{Mg} + {}^{4}_{2}\mathrm{He}$.

42.16. ${}^{95}_{42}\mathrm{Mo} + {}^{1}_{1}\mathrm{H} \rightarrow {}^{96}_{43}\mathrm{Tc} + {}^{1}_{0}n$. **42.17.** 2,2 МэВ.

42.18. 0,042 а.е.м. $7 \cdot 10^{-29}$ кг. **42.19.** 12,5 %. **42.20.** 3,3 МэВ.

42.21. β-частицы, вылетевшие из различных ядер одного и того же изотопа, имеют разные скорости.

42.22. Энергии α-частицы недостаточно, чтобы преодолеть силу отталкивания тяжелого элемента и проникнуть в него.

42.24. Да; ядерные силы не имеют электромагнитной природы.

42.25. Превратилась в обычный атом гелия.

42.26. α- и β-распад изменяют состав ядра, γ-излучение — нет.

42.29. Размер ядра определяется радиусом действия ядерных сил. Вот почему нет ядер размером с арбуз.

42.31. Объем такого ядра меньше объема ядра алюминия в 1,5 раза. Так как плотность вещества ядер почти одинаковая, то массовое число искомого ядра будет $\dfrac{27}{1{,}5^3} = 8$. Таким образом, интересующее нас ядро — ${}^{8}_{4}\mathrm{Be}$.

42.32. 5 α-распадов и 3 β-распада. **42.33.** Из ядра ${}^{224}_{88}\mathrm{Ra}$.

42.34. 39,2 МэВ и 5,6 МэВ/нуклон для ядра лития; 225 МэВ и 8,3 МэВ/нуклон для ядра алюминия.

42.35. На $2{,}55 \cdot 10^{-2}$ а.е.м. $\left(4{,}23 \cdot 10^{-29}\ \text{кг}\right)$.

42.36. 17,6 МэВ. **42.37.** ${}^{11}_{5}\mathrm{B} + {}^{4}_{2}\mathrm{He} \rightarrow {}^{14}_{7}\mathrm{N} + {}^{1}_{0}n$. $W = 0{,}17$ МэВ.

42.38. $W = 2{,}2$ МэВ; $\nu = 5{,}3 \cdot 10^{20}$ Гц. ***Указание.*** $W = \Delta m \cdot c^2$, где $\Delta m = 2{,}4 \cdot 10^{-3}$ а.е.м. — дефект масс ядра дейтерия. Мы не учитываем малой по сравнению с W кинетической энергии освободившихся нуклонов.

42.39. 7,2 ч; 12 ч; 693 сут. ***Решение.*** Из закона радиоактивного распада следует, что $T = \dfrac{t}{\log_2\left(\dfrac{N_0}{N_0 - \Delta N}\right)}$, где $t = 1$ сут, а ΔN — число распавшихся атомов.

42.40. $t = 80$ сут. **42.41.** Для превращения в нейтрон протон должен получить дополнительную энергию. В ядре он получает ее от соседних частиц. **42.42.** Между нуклонами существуют промежутки. **42.43.** Ядерные силы — короткодействующие. Каждый нуклон взаимодействует только с ближайшими к нему нуклонами, а не со всеми сразу.

42.44. Согласно принципу Паули, который запрещает двум нейтронам находиться в одном и том же состоянии, если бы ядро строилось только из нейтронов, они должны были бы располагаться на все более и более высоких энергетических уровнях (так как нижние уровни были бы уже заполнены).

42.46. Выделилась. В результате самопроизвольного распада ядро переходит в состояние с меньшей энергией связи — в более устойчивое состояние.

42.47. Нейтроны, являющиеся результатом спонтанного деления ядер урана, как правило, поглощаются ядрами $^{238}_{92}\mathrm{U}$, при этом цепная реакция не происходит. Столкновения же их с ядрами $^{235}_{92}\mathrm{U}$ происходят очень редко из-за малого (0,7 %) количества последнего в урановой руде.

42.48. Термоядерные реакции на Солнце идут с небольшой интенсивностью в связи с недостаточно высокой температурой в недрах Солнца.

42.49. Быстрые нейтроны зачастую вылетают из толщи вещества урана, не успев вступить в цепную реакцию. Медленные нейтроны дольше находятся вблизи ядра, поэтому возрастает вероятность захвата их ядром урана.

42.50. 400 км/с. **42.52.** С ядром бериллия. **42.53.** $^{209}_{83}\mathrm{Bi}$.

42.53. Шесть α-распадов и четыре β-распада. **42.55.** Натрий.

42.55. На 63 %. **42.57.** 6 ч. **42.58.** $W_k = 3{,}3$ МэВ.

42.58. $W_0 = 4{,}4$ МэВ. **42.60.** 290 т. **42.61.** 2,3 кг.

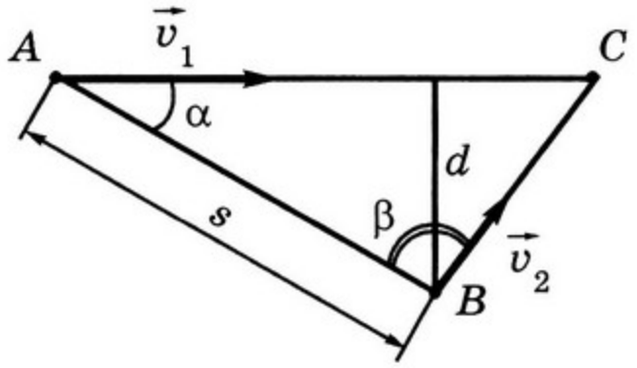
42.61. $m_в = 100$ т.

Олимпиадные задачи

О-1. а) 40 с; лодку снесет по течению на 120 м. б) 50 с; следует держать курс под углом 37° к отрезку AB.

О-2. Вторая свеча догорит за время $\dfrac{l(d_1 + d_2 + d_3)}{v(d_1 + d_2)}$, а спустя время $\dfrac{l(d_1 + d_2 + d_3)}{vd_1}$ догорит и первая.

О-4. $37° \leqslant \beta \leqslant 143°$ (см. рисунок); $v_{2\min} = 2{,}4$ м/с, $\beta = 90°$.



О-5. 60 с. **О-6.** 42 м/ч. **О-8.** 0,47 с.

О-9. $\tau = \dfrac{t_2^2 + 2t_1t_2 - t_1^2}{2(t_1 - t_2)}$. **О-10.** 8 м/с $< v_1 \leqslant 9$ м/с. **О-11.** $t_2 = t_1\left(1 + \sqrt{2}\right)$.

О-12. 100 м. **О-13.** Облако будет иметь форму сферы, радиус которой увеличивается со скоростью v_0.

О-14. Муха должна двигаться с постоянным ускорением по параболе.

$$t = \frac{v_0}{a}\sqrt{2\left(1 + \sqrt{1 + \left(\frac{aH}{v_0^2}\right)^2}\right)}.$$

О-15. Тело 2 упадет позже, чем тело 1; конечные скорости тел одинаковы. Время движения второго тела максимально, если площадка находится на высоте $0{,}5\,H$.

О-16. $\dfrac{(l+h)^2}{4l}$. **О-17.** $2{,}5 \cdot \sqrt{k}$. Здесь k – любое натуральное число.

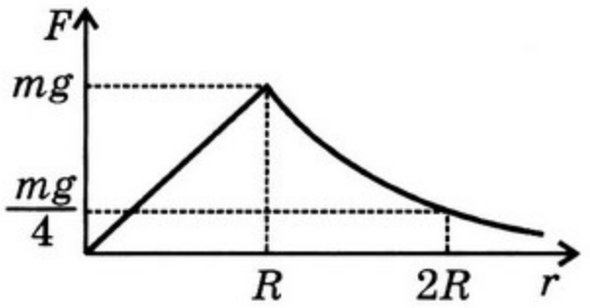
О-18. 64 м. ***Указание.*** Задачу удобнее решать в системе отсчета, связанной с автомобилями.

О-19. $2l$. **О-20.** а) $r = v_0^2 \cos^2\alpha / g$; б) $r = v_0^2 / (g\cos\alpha)$; в) $r = v^3 / (gv_0\cos\alpha)$, где $v = \sqrt{v_0^2 + g^2t^2 - 2v_0gt\sin\alpha}$ — скорость тела спустя время t после броска (мы считаем, что это время меньше, чем полное время полета).

О-21. $4R$; 0. **О-22.** 840 км/ч. **О-23.** Крупные. **О-24.** $F = (M+m)g$.

О-25. а) 400 м; б) 408 м. **О-27.** $F_{\text{тр}} = 4\pi^2 mrn^2$ при $r < \dfrac{\mu g}{4\pi^2 n^2}$; $F_{\text{тр}} = \mu mg$ при $r > \dfrac{\mu g}{4\pi^2 n^2}$.

О-29. См. рисунок.



О-30. Вес уменьшается на 0,35 %; самолет должен лететь на запад со скоростью 460 м/с.

О-31. Продолжительность земного года уменьшилась бы в 1,41 раза. **О-32.** Ускорение верхнего шара равно $3g$, нижних — нулю. **О-33.** 2,94 м/с^2. **О-34.** $m = M\dfrac{\sin\alpha}{(1-\sin\alpha)^2}$.

О-35. 25 Н. **О-36.** 1,4 м/с^2. **О-37.** 27 кг $\leqslant m_1 \leqslant$ 403 кг. **О-38.** $T = 90$ Н.

О-39. $N = 11$ Н; сила $\vec{N}$ образует с вертикалью угол $\beta = 27°$.

О-40. $F_A = F_B = \dfrac{mg}{2\sin\alpha}$. **О-41.** $25l/24$. **О-42.** Центр масс системы совпадает с центром шарика массой 700 г.

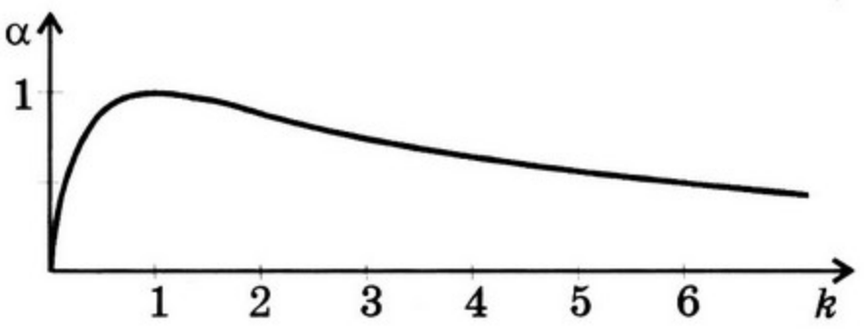
О-43. На расстоянии $R/6$ от центра большого круга.

О-44. а) $4F$; б) $3F$. ***Указание.*** Импульс силы тяги двигателя должен компенсировать передачу импульса пылинкам, налипающим на ракету. Количество этих пылинок прямо пропорционально концентрации частиц и скорости ракеты. Следовательно, сила тяги должна быть прямо пропорциональна концентрации пылинок и *квадрату* скорости ракеты.

О-45. $v = \sqrt{\dfrac{M}{m+M}gl}$. **О-46.** $\mu \geqslant 0{,}33$. **О-47.** $N = Mgu/2$.

О-48. $v = \sqrt{2gh\left(1 - \dfrac{m/M}{(1+m/M) + (1+m/M)^2\,\mathrm{tg}^2\,\alpha}\right)}$, скорость направлена под углом $\beta = \mathrm{arctg}\,((1+m/M)\,\mathrm{tg}\,\alpha)$ к горизонту.

О-49. Прямой угол. **О-50.** См. рисунок.



О-51. При $v < v_0 = \sqrt{2gH(1+m/M)}$ тело соскользнет с горки, не дойдя до ее вершины и передав горке часть своего импульса и своей энергии; при $v > v_0$ тело преодолеет горку и продолжит движение со скоростью v, а горка сместится вправо от начального положения и остановится; при $v = v_0$ тело может некоторое время двигаться вместе с горкой, находясь на ее вершине.

О-54. а) $T = 2\pi\sqrt{\dfrac{l}{g+a}}$; б) $T = 2\pi\sqrt{\dfrac{l}{g-a}}$; в) $T = 2\pi\sqrt{\dfrac{l}{\sqrt{g^2+a^2}}}$;

г) $T = 2\pi\sqrt{\dfrac{l}{g\cos\alpha}}$. Период колебаний пружинного маятника во всех случаях одинаков: $T = 2\pi\sqrt{m/k}$.

О-56. Доска будет совершать гармонические колебания с периодом $T = 2\pi\sqrt{L/(2\mu g)}$. Если валики изменят направление вращения, доска будет сброшена с них.

О-57. $T = 2\pi\sqrt{\dfrac{m_1 m_2}{k(m_1+m_2)}}$.

О-59. $A > \dfrac{\mu g T^2}{4\pi^2} = 6{,}2$ мм. ***Указание.*** Тело покоится относительно подставки, если максимального значения силы трения покоя достаточно для сообщения телу *максимального* ускорения при колебаниях.

О-60. $T = 2\pi\sqrt{\dfrac{H}{g}}$. **О-61.** $T = 2\pi\sqrt{\dfrac{ml}{kl+mg}}$; $T' = \pi\left(\sqrt{\dfrac{ml}{kl+mg}} + \sqrt{\dfrac{l}{g}}\right)$.

О-62. Увеличится в $\sqrt{1+\dfrac{kl}{4mg}}$ раз.

О-63. $T = 2\pi\sqrt{\dfrac{m_1 l_1^2 + m_2 l_2^2}{g(m_1 l_1 + m_2 l_2)}}$. ***Указание.*** Удобно выразить полную механическую энергию системы через угол φ отклонения стержня от вертикали и угловую скорость стержня $\omega = \varphi'$.

О-64. $T = 2\pi\sqrt{\dfrac{m_1 l_1^2 + m_2 l_2^2}{g\left|m_1 l_1 - m_2 l_2\right|}}$. При $m_1 l_1 = m_2 l_2$ любое положение стержня является положением безразличного равновесия, поэтому колебания не возникают.

О-65. $\mu(m+M)g/2k$. **О-66.** а) $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$; б) $T = 2\pi\sqrt{\frac{ml}{mg+2kl}}$.

О-68. Форму конической поверхности с углом при вершине $2\arcsin\frac{v}{u}$.

О-69. На расстоянии $2h = 10$ км.

О-70. Более высокий звук ($\nu = 533$ Гц) слышит водитель лежащего автомобиля.

О-71. $\nu = \nu_0\left(1+\frac{v\sin\alpha}{u}\right)$, если катер удаляется от берега;

$\nu = \nu_0\left|1-\frac{v\sin\alpha}{u}\right|$, если катер приближается к берегу.

О-72. $a_D = \frac{a}{\sqrt{2}}$, $a_E = 0$; после изменения полярности

$a_D = \frac{a}{\sqrt{2}}$, $a_E = a$. **О-73.** $y = A\cos(\omega t - kx)$, где $k = \omega/v$.

О-74. 20 м/с. **О-75.** 16 г. **О-76.** $p_1 = 2p$. **О-77.** 2 Па.

О-78. Давление газа на стенки сосуда больше, когда стенки теплее газа ($T_C > T$).

О-79. $u = \frac{1}{m}\sqrt{m_T RT}$. **О-80.** $0{,}79\cdot10^5$ Па. **О-81.** $F \approx 2\cdot10^{-2}$ Н.

О-82. $p = \frac{1}{2}(\rho gh + p_0 + \sqrt{p_0^2 + (\rho gh)^2}) = 0{,}18$ МПа. **О-83.** $1{,}41\cdot10^5$ Па.

О-85. Будет расти по мере уменьшения объема газа.

О-86. $1{,}79\cdot10^5$ Па. **О-87.** $V_{max}/V_{min} = 6$. **О-88.** 306 К.

О-89. $1{,}25p_0V_0$; при охлаждении газ *получает* количество теплоты, равное $0{,}25p_0V_0$.

О-90. $T = T_0 + \frac{2mv^2}{3\nu R}$. **О-91.** $A = -R(T_2 - T_1)\left(\frac{V_2}{V_1} - 1\right)$.

О-92. 1,162 кДж. **О-93.** $3R$. **О-94.** 750 Дж.

О-95. В процессе 1–3 газу сообщается большее количество теплоты.

О-96. Нет, КПД идеальной тепловой машины Карно больше.

О-97. $\eta = \eta_1 + \eta_2 - \eta_1\eta_2$. **О-98.** 27/23. **О-99.** $\eta = 43\ \%$.

О-100. $F \approx 700$ Н. **О-101.** $p = p_0 + 4\sigma/R$. **О-102.** $A = 4\pi R^2\sigma(\sqrt[3]{2} - 1)$.

О-103. $d = 0{,}15$ мм.

О-105. В сторону сужения капилляра; в сторону расширения капилляра.

О-107. В обоих случаях $r = 1{,}5$ мм, но в первом случае выпуклость мениска обращена внутрь, а во втором — наружу.

О-109. $h = 19$ см. **О-110.** $p = 60$ кПа. **О-111.** $\varphi = 50\ \%$.

О-112. $\alpha = \left(\dfrac{mg}{ES}\right)^{1/3}$. **О-113.** $2{,}97 \cdot 10^6$ Па. **О-114.** 4,6 км/с.

О-115. 7,5 м/с. **О-116.** 60 мин.

О-117. $Q = 5{,}6 \cdot 10^7$ Кл. **О-118.** Не может.

О-119. $\rho = \dfrac{\varepsilon_0 |E - E_0|}{h} = 4{,}4 \cdot 10^{-13}$ Кл/м^3. **О-120.** $T = \pi a \sqrt{\pi \varepsilon_0 m\, a/Qq}$.

О-121. $a = g + \dfrac{4\sqrt{2}kQq}{md^2}$. **О-122.** $v = \sqrt{gl \operatorname{tg}\alpha \sin\alpha - \dfrac{kq^2}{ml \sin\alpha}}$.

О-123. $T = \dfrac{qQ}{8\pi^2 \varepsilon_0 R^2}$. ***Указание.*** Рассмотрите силы, действующие на малый элемент кольца. Из условия $|Q| \gg |q|$ следует, что кулоновским взаимодействием различных участков кольца друг с другом можно пренебречь.

О-124. При $v_0 \geqslant v_{\min} = \sqrt{\dfrac{qQ}{2\pi\varepsilon_0 mR}}$ шарик удалится на бесконечность; при $v_0 < v_{\min}$ он будет совершать колебания и в конце концов притянется к кольцу.

О-125. $\varphi = \dfrac{q}{4\pi\varepsilon_0 r}$. **О-126.** $Q = -qR/r$.

О-128. Сфера имеет заряд $-q$, равномерно распределенный по внешней поверхности. Поле внутри сферы отсутствует, вне сферы — совпадает с полем точечного заряда $-q$, размещенного в центре сферы.

О-129. $\varphi = 450$ В.

О-130. $E = 0$ при $r < R_1$; $E = \dfrac{QR_1(R_3 - R_2)}{4\pi\varepsilon_0 R_2 (R_3 - R_1) r^2}$ при $R_1 < r < R_2$ (поле направлено к центру); $E = \dfrac{QR_3(R_2 - R_1)}{4\pi\varepsilon_0 R_2 (R_3 - R_1) r^2}$ при $R_2 < r < R_3$ (поле направлено от центра); $E = 0$ при $r > R_3$. ***Указание.*** Условия заземления первой и третьей сфер имеют вид:

$$q_1/R_1 + Q/R_2 + q_3/R_3 = 0,\ q_1 + Q + q_3 = 0.$$

О-131. $|q| = Q\dfrac{|b-a|}{b+a}$. **О-132.** $F = \dfrac{q^2}{16\pi\varepsilon_0 h^2}$. **О-133.** $\dfrac{q^2(3\sqrt{2}-1)}{12\pi\varepsilon_0 a}$; $\dfrac{5q^2}{12\pi\varepsilon_0 a}$.

О-134. 1) $\varphi_2 = U/3$, $\varphi_3 = 2U/3$. 2) $\varphi_2 = \varphi_3 = U/2$; напряженность поля в промежутках 1–2 и 3–4 увеличится в 1,5 раза, в промежутке 2–3 поле исчезнет. 3) Емкость конденсатора и заряды на обкладках возрастут в 1,5 раза.

О-135. $q_1 = q_2 = CU/2$, $q_3 = q_4 = 4CU/5$; $\varphi_D - \varphi_E = -0{,}3U$.

О-136. $C_0 = 6C$. **О-137.** а) $U_{\max} = 144$ В, б) $U_{\max} = 36$ В.

О-138. $C_0 = 2{,}5C$, $C_0 = nC/2$.

О-139. $\varphi_A - \varphi_B = \mathscr{E}\dfrac{C_1C_4 - C_2C_3}{(C_1+C_2)(C_3+C_4)}$; после включения резистора

$\varphi_A - \varphi_B = 0$, $C = \dfrac{(C_1+C_3)(C_2+C_4)}{C_1+C_2+C_3+C_4}$; ответ не зависит от R.

О-140. $U_1 = 5U_0/8$, $U_2 = 3U_0/8$, $U_3 = U_0/4$, $U_4 = U_5 = U_0/8$, $U_6 = 0$.

О-141. $Q = C\mathscr{E}^2/3$.

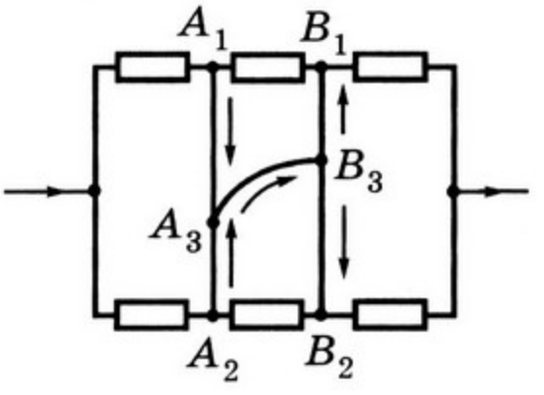
О-142. $U = 150$ В. При $l = 10$ см задача не имеет решения.

О-144. $R = \dfrac{R_1+R_3}{2}\left(1+\sqrt{1+\dfrac{4R_2}{R_1+R_3}}\right)$.

О-145. В $(2+\sqrt{3})^N$ раз меньше.

О-146. От точки A к точке B течет ток $I = U/3R$.

О-147. Токи возникнут, направления токов показаны на рисунке. Потенциалы точек изменятся (если сопротивления проводов пренебрежимо малы, то потенциалы всех шести точек A_1, A_2, A_3, B_1, B_2, B_3 сравняются).



О-148. $I_1 = 2$ А.

О-149. $\dfrac{\mathscr{E}_1r_2 - \mathscr{E}_2r_1}{r_1+r_2}$; $\dfrac{\mathscr{E}_1r_2 + \mathscr{E}_2r_2}{r_1+r_2}$.

О-150. Потенциалы всех указанных точек совпадают.

О-151. Потенциалы точек совпадают, если между этими точками четное количество элементов; разность потенциалов равна $\pm\mathscr{E}$, если количество элементов между точками нечетно.

О-152. 14; 7. **О-153.** $N = 8$.

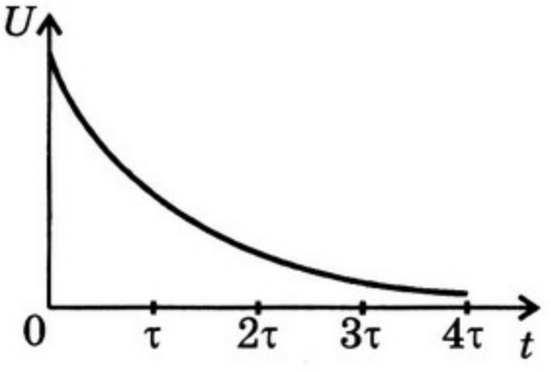
О-154. $\mathscr{E} = 0{,}60$ В. **О-155.** $I = \dfrac{\mathscr{E}R_1}{(r+R_1)(R+R_2)+rR_1}$. **О-156.** $v_1/v_2 = 1{,}6$. **О-157.** $I = \dfrac{\pi D^2}{4}\sqrt{\dfrac{dc(t_{пл}-t_0)}{\rho\tau}} = 4$ А. Здесь d, ρ, c и $t_{пл}$ — соответственно плотность, удельное сопротивление, удельная теплоемкость и температура плавления железа.

О-158. Алюминиевая проволока.

О-159. Первой перегорит алюминиевая проволока, затем медная и, наконец, железная. Ко всем проволокам приложено одинаковое *напряжение*; время нагревания $\tau = \rho dc(t_{пл} - t_0)l^2/U^2$.

О-160. 0,2 с; температура проводов повысится на $\Delta t = 0{,}1$ °С. ***Указание.*** См. задачу О-158.

О-161. $\tau \sim RC$; см. рисунок.



О-162. $I = \dfrac{\mathscr{E}}{r+Rx(1-x)}; U = \dfrac{\mathscr{E}Rx(1-x)}{r+Rx(1-x)}; P = \dfrac{\mathscr{E}^2Rx(1-x)}{\left(r+Rx(1-x)\right)^2}$.

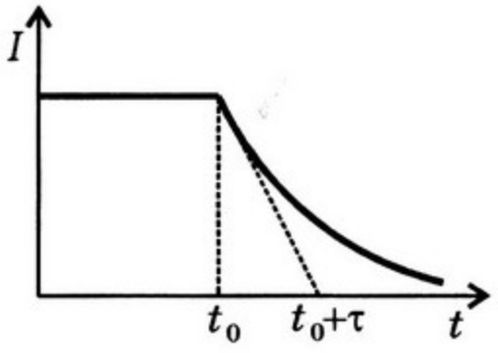
О-163. $P_2 = \dfrac{P_1I_2 - rI_1I_2(I_2-I_1)}{I_1} = 11$ (Вт). **О-164.** 6 Ом. **О-165.** 100 В.

О-167. Уменьшилось на 18 В.

О-170. $m = 2\pi RBI\sin\alpha/g = 3{,}2$ г. **О-171.** $U_{AC} = IB/(enb)$.

О-172. $E = m\omega^2 r/e$; $U = 0{,}11$ мкВ; $B = 5{,}7 \cdot 10^{-9}$ Тл.

О-173. $U \geqslant 38$ В. **О-175.** См. рисунок; $\tau \sim L/R$.



О-176. $v = mgR\left(\dfrac{4h_0}{\pi d^2 B_0}\right)^2$.

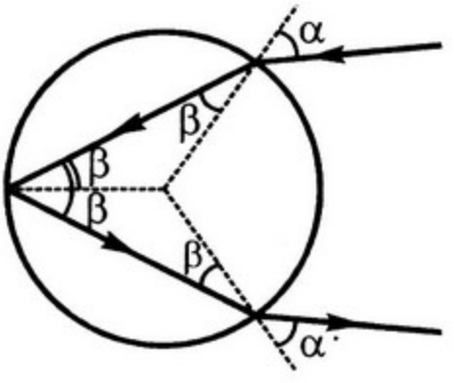
О-177. $U_V = \dfrac{2N+1}{4}\pi k r^2$, где $N = 0, 1, 2, \ldots$.

О-179. $U = U_0/2$. **О-181.** $I_м = U_1\sqrt{\dfrac{C}{2L}}$. **О-181.** $n = 100$ с$^{-1}$; лампа горит 2/3 периода. **О-183.** $d = 590$ нм. **О-184.** $N \approx 25$.

О-185. $r_з = 1{,}2$ мм.

О-188. $\delta = \pi + 2\alpha - 4\arcsin\left(\dfrac{\sin\alpha}{n}\right)$. ***Указание.*** См. рисунок.

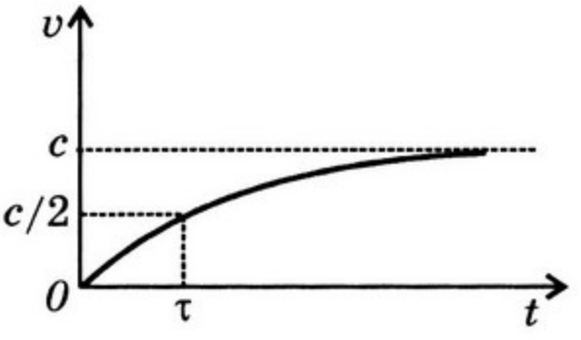
Угол δ равен сумме углов отклонения при отражении и каждом из преломлений: $\delta = (\pi - 2\beta) + 2(\alpha - \beta)$.



О-189. На расстоянии 8 см от одного из источников.

О-190. Надо взять собирающую линзу с фокусным расстоянием $F = 40$ см.

О-192. $v = c\dfrac{eEt}{\sqrt{m^2c^2 + e^2E^2t^2}}$; $\tau = \dfrac{mc}{\sqrt{3}eE}$; см. рисунок.



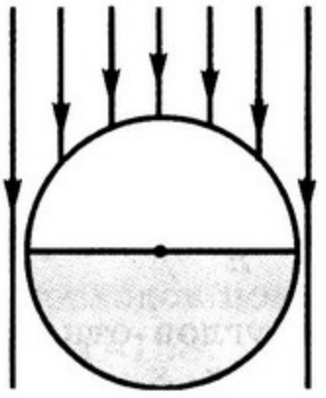
О-193. $s = \dfrac{c}{eE}\left(\sqrt{m^2c^2 + e^2E^2t^2} - mc\right)$.

О-194. $v_1 = \dfrac{v+u}{1+vu/c^2}$, $v_2 = \dfrac{v-u}{1-vu/c^2}$, $p = \dfrac{2mv}{\sqrt{(1-v^2/c^2)(1-u^2/c^2)}}$.

О-195. $u = \dfrac{v}{1+\sqrt{1-v^2/c^2}} = 0{,}5\,c$; $M = m\dfrac{\sqrt{2\left(1+\sqrt{1-v^2/c^2}\right)}}{(1-v^2/c^2)^{1/4}} = 2{,}3\,m$.

О-196. $W = 10\ 400$ ГэВ. **О-197.** $W = \sqrt{m_e c^2 W_1/2} = 72$ МэВ.

О-198. На рисунке показано положение устойчивого равновесия.



О-199. $\Delta\lambda = \dfrac{2h}{mc}\sin^2\dfrac{\theta}{2}$, где m — масса покоя электрона.

О-200. $W_k = 0{,}10$ МэВ, $v = 1{,}6 \cdot 10^8$ м/с, $\theta = 33°$, $\alpha = 58°$.
О-202. $r = 5{,}3 \cdot 10^{-11}$ м, $W_i = 13{,}6$ эВ. **О-203.** $1{,}8 \cdot 10^{10}$.
О-204. $W_n = 0{,}61$ МэВ. **О-205.** $W_2 = 11{,}2$ МэВ, $\theta = 161°$.

ПРИЛОЖЕНИЯ

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ПРИЛОЖЕНИЕ

1. Для любых неотрицательных чисел a и b справедливо неравенство $\frac{a+b}{2} \geqslant \sqrt{ab}$, причем равенство достигается только при $a = b$. Для доказательства достаточно привести данное неравенство к виду $(\sqrt{a} - \sqrt{b})^2 \geqslant 0$.

Следствие А. Если $a + b = s$, то $ab \leqslant \frac{s^2}{4}$, причем равенство достигается только при $a = b = \frac{s}{2}$.

Следствие Б. Если $ab = p$, то $a + b \geqslant 2\sqrt{p}$, причем равенство достигается только при $a = b = \sqrt{p}$.

2. График функции $y = ax^2 + bx + c$ — парабола. Вершина параболы имеет координаты $x_0 = -\frac{b}{2a}$, $y_0 = c - \frac{b^2}{4a}$.

При $a > 0$ значение y_0 является минимальным значением функции, при $a < 0$ — максимальным.

3. При $|x| \ll 1$ выполняются приближенные равенства:

$$\frac{1}{1 \pm x} \approx 1 \mp x,\ \sqrt{1 \pm x} \approx 1 \pm \frac{x}{2},\ \frac{1}{\sqrt{1 \pm x}} \approx 1 \mp \frac{x}{2}.$$

Эти соотношения являются частными случаями формулы $(1 + x)^\alpha \approx 1 + \alpha x$, где α — любое действительное число.

Следствие: $\sqrt{a^2 \pm x^2} \approx a \pm \frac{x^2}{2a}$.

4. При $|x| \ll 1$ выполняются приближенные равенства:

$e^{\pm x} \approx 1 \pm x$,

$a^{\pm x} \approx 1 \pm x \ln a$, $a > 0$, $a \neq 1$ (например, $2^{-x} \approx 1 - x \ln 2$),

$\ln(1 \pm x) \approx \pm x$,

$\log_a(1 \pm x) \approx \pm \frac{x}{\ln a}$, $a > 0$, $a \neq 1$.

5. Выражение $f(\alpha) = a\sin\alpha + b\cos\alpha$ можно представить в виде:

$$f(\alpha) = \sqrt{a^2+b^2}\left(\frac{a}{\sqrt{a^2+b^2}}\sin\alpha + \frac{b}{\sqrt{a^2+b^2}}\cos\alpha\right).$$

Сумма квадратов величин $\frac{a}{\sqrt{a^2+b^2}}$ *и* $\frac{b}{\sqrt{a^2+b^2}}$ *равна* единице; поэтому существует такой угол β, что

$$\sin\beta = \frac{a}{\sqrt{a^2+b^2}},\ \cos\beta = \frac{b}{\sqrt{a^2+b^2}}\ \text{(т. е. } \operatorname{tg}\beta = a/b).$$

Следовательно, $f(\alpha) = \sqrt{a^2+b^2}\cos(\alpha-\beta)$.

Следствие А. Максимальное значение функции $f(\alpha)$ равно $\sqrt{a^2+b^2}$ и достигается при $\alpha = \beta + 2k\pi$.

Пример: $f(\alpha) = \sin\alpha + \sqrt{3}\cos\alpha = 2\cos\left(\alpha - \frac{\pi}{6}\right)$;

максимальное значение функции равно 2 и достигается при $\alpha = \frac{\pi}{6} + 2k\pi$.

Следствие Б. Сумма гармонических колебаний одинаковой частоты представляет собой гармоническое колебание той же частоты.

6. Средние значения периодических функций за период:

$$\overline{\sin\varphi} = \overline{\cos\varphi} = \overline{\sin 2\varphi} = \overline{\cos 2\varphi} = 0,$$

$$\overline{\sin^2\varphi} = \overline{\cos^2\varphi} = \frac{1}{2}.$$

7. Если прямая лежит в плоскости xOy и пересекает оси координат в точках $(x_0, 0)$ и $(0, y_0)$, то уравнение прямой имеет вид $\frac{x}{x_0} + \frac{y}{y_0} = 1$.

8. Площадь поверхности сферы $S = 4\pi R^2$, объем шара $V = \frac{4}{3}\pi R^3$; здесь R — радиус сферы или шара.

ФИЗИЧЕСКИЕ ПОСТОЯННЫЕ

Гравитационная постоянная	$6{,}67 \cdot 10^{-11}$ Н · м^2/кг^2
Постоянная Авогадро	$N_A = 6{,}02 \cdot 10^{23}$ моль$^{-1}$
Постоянная Больцмана	$k = 1{,}38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К
Универсальная газовая постоянная	$R = 8{,}31$ Дж/(моль · К)
Молярная масса воздуха	0,029 кг/моль
Нормальное атмосферное давление	101325 Па
Масса Солнца	$1{,}989 \cdot 10^{30}$ кг
Масса Земли	$5{,}976 \cdot 10^{24}$ кг
Радиус Солнца	$6{,}96 \cdot 10^{8}$ м
Средний радиус Земли	$6{,}371 \cdot 10^{6}$ м
Среднее расстояние от Земли до Солнца	$1{,}496 \cdot 10^{11}$ м
Масса Луны	$7{,}35 \cdot 10^{22}$ кг
Радиус Луны	$1{,}737 \cdot 10^{6}$ м
Среднее расстояние от Земли до Луны	$3{,}844 \cdot 10^{8}$ м
Элементарный электрический заряд	$e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Кл
Масса покоя электрона	$m_e = 9{,}1 \cdot 10^{-31}$ кг = $= 5{,}5 \cdot 10^{-4}$ а.е.м.
Масса покоя протона	$m_p = 1{,}673 \cdot 10^{-27}$ кг = $= 1{,}00728$ а.е.м.
Масса покоя нейтрона	$m_n = 1{,}675 \cdot 10^{-27}$ кг = $= 1{,}00867$ а.е.м.
Энергия покоя электрона	$E_{0e} = 8{,}187 \cdot 10^{-14}$ Дж = $= 0{,}511$ МэВ
Энергия покоя протона	$E_{0p} = 1{,}503 \cdot 10^{-10}$ Дж = $= 938{,}26$ МэВ
Энергия покоя нейтрона	$E_{0n} = 1{,}505 \cdot 10^{-10}$ Дж = $= 939{,}55$ МэВ
Скорость света в вакууме	$c = 3 \cdot 10^{8}$ м/с
1 атомная единица массы	$1{,}66057 \cdot 10^{-27}$ кг
Постоянная Планка	$h = 6{,}63 \cdot 10^{-34}$ Дж · с
Коэффициент пропорциональности между единицами измерения массы и энергии	$c^2 = \dfrac{E}{m} = 931{,}5 \ \dfrac{\text{МэВ}}{\text{а.е.м.}}$
Отношение заряда электрона к его массе	$\dfrac{e}{m_e} = 1{,}759 \cdot 10^{11}$ Кл/к

СПРАВОЧНЫЕ ТАБЛИЦЫ

ПЛОТНОСТЬ ТВЕРДЫХ ТЕЛ

Вещество	ρ, кг/м³	ρ, г/см³	Вещество	ρ, кг/м³	ρ, г/см³
Алюминий	2700	2,70	Никель	8900	8,90
Бетон	2200	2,20	Олово	7300	7,30
Гранит	2600	2,60	Парафин	900	0,90
Дуб (сухой)	800	0,80	Песок (сухой)	1500	1,50
Ель (сухая)	600	0,60	Пробка	240	0,24
Железо	7800	7,80	Свинец	11300	11,30
Золото	19300	19,3	Серебро	10500	10,50
Кирпич	1600	1,60	Сосна (сухая)	400	0,40
Латунь	8500	8,50	Сталь	7800	7,80
Лед	900	0,90	Стекло	2500	2,50
Медь	8900	8,90	Чугун	7000	7,00
Мрамор	2700	2,70			

ПЛОТНОСТЬ ЖИДКОСТЕЙ

Вещество	ρ, кг/м³	ρ, г/см³	Вещество	ρ, кг/м³	ρ, г/см³
Ацетон	790	0,79	Нефть	800	0,80
Бензин	710	0,71	Ртуть	13600	13,60
Вода	1000	1,00	Серная кислота	1800	1,80
Вода морская	1030	1,03	Спирт	800	0,80
Глицерин	1260	1,26			
Керосин	800	0,80			
Масло машинное	900	0,90			

ПЛОТНОСТЬ ГАЗОВ

(при 0 °С и давлении 760 мм рт. ст.)

Вещество	ρ, кг/м³	Вещество	ρ, кг/м³
Азот	1,25	Гелий	0,18
Воздух	1,29	Кислород	1,43
Водород	0,09	Природный газ	0,80

ТЕПЛОВЫЕ СВОЙСТВА ВЕЩЕСТВ

ТВЕРДЫЕ ТЕЛА

Вещество	Удельная теплоемкость, кДж/(кг · °С)	Температура плавления, °С	Удельная теплота плавления, кДж/кг
Алюминий	0,90	660	390
Вольфрам	0,13	3387	185
Дерево	2,50		
Железо	0,45	1535	270
Золото	0,13	1064	67
Кирпич	0,88		
Латунь	0,40	1000	370
Лед	2,10	0	330
Магний	1,10	650	370
Медь	0,38	1085	210
Натрий	1,34	97,8	113
Олово	0,23	232	58
Песок	0,80		
Платина	0,14	1772	113
Свинец	0,13	327	24
Серебро	0,24	962	87
Сталь	0,46	1400	82
Стекло	0,80		
Цинк	0,40	419	112,2
Чугун	0,54	1200	96

ЖИДКОСТИ

Вещество	Удельная теплоемкость, кДж/(кг · °С)	Температура кипения*), °С	Удельная теплота парообразования**), МДж/кг
Вода	4,2	100	2,3
Масло подсолнечное	1,8		
Ртуть	0,14	357	0,29
Спирт	2,5	78	0,90
Эфир	3,34	35	0,40

Удельная теплоемкость воздуха — 1,0 кДж/(кг · °С)

УДЕЛЬНАЯ ТЕПЛОТА СГОРАНИЯ ТОПЛИВА

Вещество	q, МДж/кг	Вещество	q, МДж/кг
Антрацит	30	Каменный уголь	27
Бензин	44	Керосин	43
Водород	120	Порох	3,8
Древесный уголь	34	Природный газ	44
Дрова сухие	12	Спирт	26

УДЕЛЬНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ ПРИ 20 °С

Вещество	ρ, Ом · мм^2/м	Вещество	ρ, Ом · мм^2/м
Алюминий	0,028	Никелин	0,42
Вольфрам	0,055	Нихром	1,1
Железо	0,098	Свинец	0,21
Латунь	0,071	Серебро	0,016
Константан	0,50	Сталь	0,12
Медь	0,017	Уголь	40

---

[1] При нормальном атмосферном давлении.

[2] При нормальном атмосферном давлении и температуре кипения.

ПСИХРОМЕТРИЧЕСКАЯ ТАБЛИЦА

Показания сухого термометра, °С	Разность показаний сухого и влажного термометров, °С									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Относительная влажность воздуха, %									
0	100	81	63	45	28	11	—	—	—	—
2	100	84	68	51	35	20	—	—	—	—
4	100	85	70	56	42	28	14	—	—	—
6	100	86	73	60	47	35	23	10	—	—
8	100	87	75	63	51	40	28	18	7	—
10	100	88	76	65	54	44	34	24	14	5
12	100	89	78	68	57	48	38	29	20	11
14	100	90	79	70	60	51	42	34	25	17
16	100	91	81	71	62	54	46	37	30	22
18	100	91	82	73	65	56	49	41	34	27
20	100	92	83	74	66	59	51	44	37	30
22	100	92	83	76	68	61	54	47	40	34
24	100	92	84	77	69	62	56	49	43	37
26	100	92	85	78	71	64	58	51	46	40
28	100	93	85	78	72	65	59	53	48	42
30	100	93	86	79	73	67	61	55	50	44

Зависимость давления $p_н$ и плотности $\rho_н$ насыщенного водяного пара от температуры t

t, °С	$p_н$, кПа	$\rho_н$, г/м^3	t, °С	$p_н$, кПа	$\rho_н$, г/м^3
0	0,61	4,8	18	2,07	15,4
3	0,76	6,0	19	2,20	16.3
6	0,93	7,3	20	2,33	17,3
10	1,23	9,4	25	3,17	23,0
15	1,71	12,8	30	4,24	30,4
16	1,81	13,6	50	12,34	82,9
17	1,93	14,5	90	70,11	423,3

ДИЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ПРОНИЦАЕМОСТЬ

Винипласт	3,5	Парафин	2
Вода	81	Слюда	7,5
Керосин	2,1	Стекло	8
Масло машинное	2,5	Текстолит	7

СКОРОСТЬ ЗВУКА, м/с

Вода 1500	Воздух 340	Стекло 5500

ПОВЕРХНОСТНОЕ НАТЯЖЕНИЕ ЖИДКОСТЕЙ
при 20 °С, мН/м

Вода	73
Керосин	24
Мыльный раствор	40
Ртуть	510
Спирт	22

ПОКАЗАТЕЛЬ ПРЕЛОМЛЕНИЯ
(средний для видимых лучей)

Алмаз	2,42	Сероуглерод	1,63
Бензол	1,5	Спирт этиловый	1,36
Вода	1,33	Стекло	1,5

РАБОТА ВЫХОДА ЭЛЕКТРОНОВ
(эВ)

Вольфрам	4,5	Платина	5,3
Калий	2,2	Серебро	4,3
Литий	2,4	Цезий	1,8
Оксид бария	1,3	Цинк	4,2

ОТНОСИТЕЛЬНАЯ АТОМНАЯ МАССА НЕКОТОРЫХ ИЗОТОПОВ, а. е. м.

(для определения массы ядра необходимо вычесть от массы атома суммарную массу электронов)

Изотоп	Масса нейтрального атома	Изотоп	Масса нейтрального атома
$^{1}_{1}$H (водород)	1,00783	$^{12}_{6}$C (углерод)	12,00000
$^{2}_{1}$H (дейтерий)	2,01410	$^{13}_{6}$C (углерод)	13,00335
$^{3}_{1}$H (тритий)	3,01605	$^{14}_{7}$N (азот)	14,00307
$^{3}_{2}$He (гелий)	3,01602	$^{15}_{7}$N (азот)	15,00011
$^{4}_{2}$He (гелий)	4,00260	$^{16}_{8}$O (кислород)	15,99491
$^{6}_{3}$Li (литий)	6,01513	$^{17}_{8}$O (кислород)	16,99913
$^{7}_{3}$Li (литий)	7,01601	$^{27}_{13}$Al (алюминий)	26,98146
$^{8}_{4}$Be (бериллий)	8.00531	$^{30}_{14}$Si (кремний)	29,97376
$^{9}_{4}$Be (бериллий)	9,01219	$^{40}_{20}$Ca (кальций)	39,96259
$^{10}_{5}$B (бор)	10,01294	$^{56}_{26}$Fe (железо)	55,93494
$^{11}_{5}$B (бор)	11,00931	$^{226}_{88}$Ra (радий)	226,02435

Для детей старше шести лет.
В соответствии с Федеральным законом
от 29 декабря 2010 г. № 436-ФЗ.

Учебное издание

Кирик Леонид Анатольевич
Генденштейн Лев Элевич
Гельфгат Илья Маркович

Задачи по физике для профильной школы с примерами решений. 10–11 класс

Под редакцией В.А. Орлова

Научный редактор *Е.Н. Евлахова*
Литературный редактор *Л.В. Дмитриева*
Компьютерная верстка *С.И. Удалов*
Корректор *К.П. Бондаренко*

Подписано в печать 17.03.2017. Формат 60×88/16.
Усл.-печ. л. 25,42. Тираж 3000 экз. Заказ № 4234.

ООО «Илекса»,
сайт: www.ilexa.ru, E-mail: real@ilexa.ru,
телефон: +7 (964) 534-80-01

Отпечатано в филиале «Тверской полиграфический комбинат
детской литературы» ОАО «Издательство «Высшая школа»
170040, г. Тверь, проспект 50 лет Октября, д. 46
Тел.: +7 (4822) 44-85-98. Факс: +7 (4822) 44-61-51