

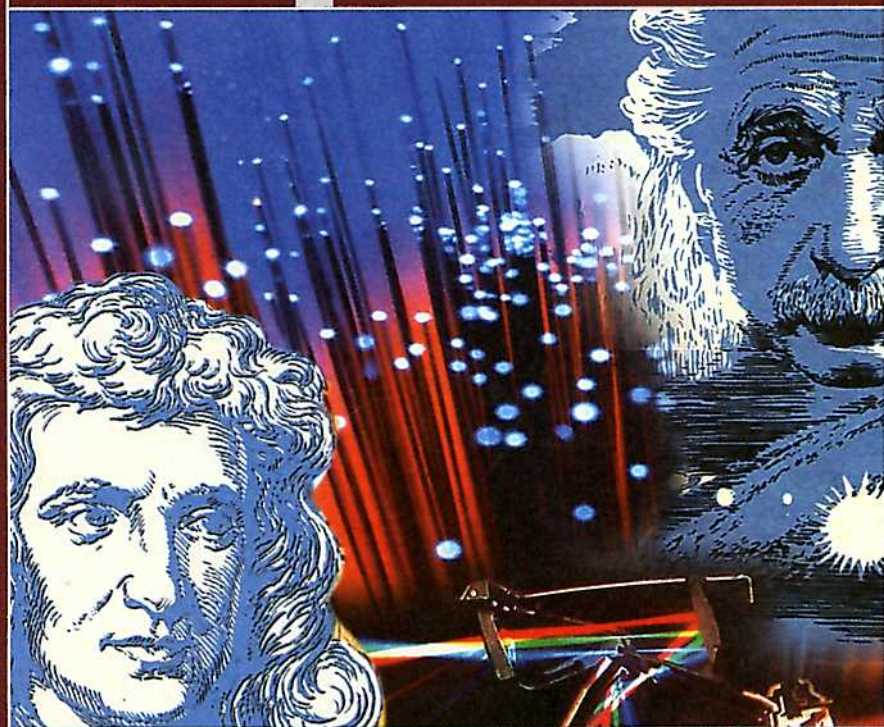
Классический курс

10 • 11

СБОРНИК

задач

по физике



ПРОСВЕЩЕНИЕ
ИЗДАТЕЛЬСТВО

Классический курс

Н. А. Парфентьева

СБОРНИК задач по физике

10–11 классы

**Пособие для учащихся
общеобразовательных
учреждений**

Базовый и профильный уровни

3-е издание

**Москва
«Просвещение»
2010**

УДК 373.167.1:53
ББК 22.3я72
П18

Серия «Классический курс» основана в 2007 году

Парфентьева Н. А.

П18 Сборник задач по физике. 10—11 классы : пособие для учащихся общеобразоват. учреждений : базовый и профил. уровни / Н. А. Парфентьева. — 3-е изд. — М. : Просвещение, 2010. — 206 с. : ил. — (Классический курс). — ISBN 978-5-09-024561-6.

Сборник составлен к классическому курсу физики для 10—11 классов авторов Г. Я. Мякишева, Б. Б. Буховцева, Н. Н. Сотского.

В первой части пособия приведены задачи по всем темам, включенным в названный курс физики с указанием соответствующих параграфов учебника.

Вторая часть содержит задачи на темы, не включенные в классический курс физики. Умение решать такие задачи необходимо при поступлении в технические вузы.

**УДК 373.167.1:53
ББК 22.3я72**

ISBN 978-5-09-024561-6

© Издательство «Просвещение», 2007

© Художественное оформление.

Издательство «Просвещение», 2007

Все права защищены

Предисловие

Сборник задач составлен к классическому курсу физики для 10—11 классов авторов Г. Я. Мякишева, Б. Б. Буховцева, Н. Н. Сотского.

Сборник состоит из двух частей. В первой части представлено более восьмисот задач по всем темам, включенным в названный курс физики. Задачи расположены в порядке возрастания сложности. Сначала приведены задачи-упражнения, в которых для получения ответа достаточно воспользоваться одной формулой. Затем следуют более сложные задачи. Во второй части сборника представлены задачи на темы, не включенные в классический курс физики (часть этих тем изучается в основной школе). Умение решать задачи на эти темы необходимо при поступлении в технические вузы. Перед формулировкой задач каждого раздела дана краткая теория, необходимая для решения последующих задач.

К большинству задач приведены ответы. Иногда в ответах даны указания, которые помогут решить задачу. В конце сборника расположены таблицы значений тех физических величин, которые нужны для решения задач.

Приступать к решению задач следует после изучения теории на данную тему, в задачнике указаны соответствующие параграфы учебника. Разумно также сначала посмотреть примеры решения задач, приведенные в учебнике.

При решении необходимо обращать внимание на правильность вычислений. Из таблиц нужно брать значения физических величин, содержащие столько же значащих цифр, сколько содержится в числовых данных в условии задачи. Например, дана высота, с которой падает тело, равная 2 м. Для определения времени полета в этом случае ускорение свободного падения округляется до 10 м/с^2 . Если же высота равна 2,2 м, то ускорение свободного падения берется равным $9,8 \text{ м/с}^2$. В некоторых задачах приведено значение ускорения свободного падения, которое следует использовать при расчетах. Иногда для удобства в условии приведены табличные данные, необходимые для решения задачи. Ответ должен содержать столько же значащих цифр, сколько их содержится в числовых данных условия. Также рекомендуется после вывода окончательной формулы проверить единицу полученной физической величины. Проверка единиц физических величин — один из способов убедиться в правильности решения. Не нужно делать промежуточные вычисления. Числовой ответ следует находить по окончательной формуле, что позволит избежать лишних ошибок в расчетах.

10 класс**Механика****Кинематика****Кинематика точки****Положение точки в пространстве.
Векторные величины (§ 3–6)**

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

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

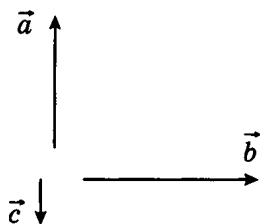


Рис. 1

8. На рисунке 1 изображены три вектора \vec{a} , \vec{b} , \vec{c} . а) Сложите векторы \vec{a} и \vec{b} . б) Сложите векторы \vec{b} и \vec{c} . в) Сложите векторы \vec{a} , \vec{b} и \vec{c} . Определите модули полученных векторов, если $|\vec{a}| = 3$ м, $|\vec{b}| = 4$ м, $|\vec{c}| = 1$ м.
9. Точка A имеет координаты $x_A = 1$ м, $y_A = 1$ м, точка B — $x_B = 4$ м, $y_B = -2$ м. Определите модуль вектора, соединяющего точки A и B , его проекции на оси OX и OY , а также угол, который он составляет с осью OX .
10. Векторы \vec{a} и \vec{b} проведены из начала координат и направлены под углом 90° друг к другу, при этом вектор \vec{a} составляет с осью OX угол 30° . Модули векторов равны соответственно 4 и 5 м. Определите проекции векторов \vec{a} и \vec{b} на оси OX и OY .
11. В чем разница между составляющими вектора по двум заданным неколлинеарным направлениям и проекциями вектора на эти направления?

Системы отсчета. Уравнения движения. Перемещение (§ 7, 8)

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

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

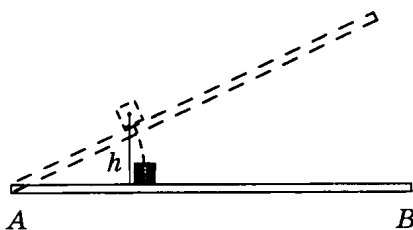


Рис. 2

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

19. Конек фигуриста делает восьмерку, состоящую из двух окружностей радиусами 1,5 и 2 м. Вначале конек находится в точке O . Определите длину пути и модуль перемещения в те моменты времени, когда конек оказывается в точках A , B , C и опять в точке O (рис. 3).

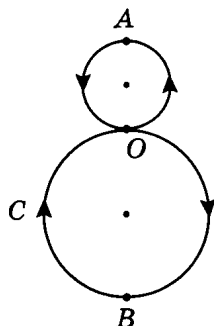


Рис. 3

20. Пешеход прошел 4 км строго на север, а затем 3 км на восток. Определите длину пути и модуль перемещения пешехода.
21. На средней линии штрафной площадки футбольного поля, расположенной на расстоянии 20 м от линии ворот, находятся два игрока. Первый игрок посылает мяч вдоль поля в ворота, вратарь отбивает мяч под углом 30° к начальной траектории, и он долетает до второго игрока. Определите модуль перемещения и длину пути мяча.

Равномерное прямолинейное движение точки (§ 9, 10)

22. Запишите уравнение движения точки в векторной и скалярной формах, если она движется в положительном направлении оси OX со скоростью 2 м/с. В начальный момент времени точка находилась на расстоянии 1 м от начала координат.
23. Координата мяча, равномерно катящегося по прямой, совпадающей с осью OX , изменилась от $x_1 = 2$ м до $x_2 = -4$ м за время, равное 2 с. Определите скорость v_x мяча.

24. Из пункта А выезжает велосипедист со скоростью 18 км/ч. Одновременно с ним из пункта В, находящегося на расстоянии 900 м от пункта А, выходит в том же направлении пешеход со скоростью 9 км/ч. Через какое время велосипедист догонит пешехода? Какое расстояние пройдет за это время пешеход?

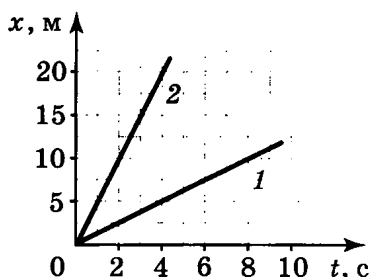


Рис. 4

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

26. На рисунке 4 даны графики зависимости координат двух тел от времени. Определите скорости равномерного движения тел.

27. Автомобиль и велосипедист движутся вдоль оси OX . Скорость автомобиля $v_1 = 72$ км/ч, а велосипедиста $v_2 = 18$ км/ч. Постройте графики зависимости координат x_1 и x_2 автомобиля и велосипедиста от времени t . Учтите, что при $t=0$ $x_1 = x_2 = 0$.

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

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

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

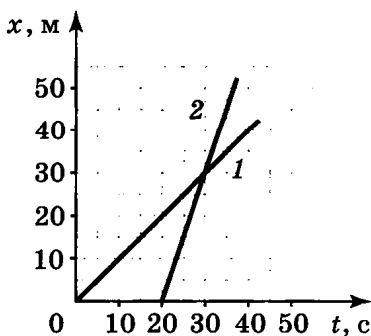


Рис. 5

31. На графике (рис. 6) изображена зависимость координаты точки от времени. Опишите движение в промежутках времени 0—4 с, 4—6 с и 6—12 с. Постройте графики зависимости проекции скорости точки от времени и пути от времени.

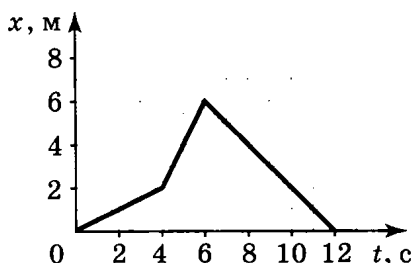


Рис. 6

32. Пешеход 30 мин шел вперед по прямой дороге равномерно со скоростью 1,8 м/с, затем он на 10 мин остановился, а потом повернул назад и шел 20 мин со скоростью 1,5 м/с. Постройте график зависимости координат пешехода от времени, считая, что в начальный момент времени координата была равна нулю.

Мгновенная скорость. Сложение скоростей (§ 11, 12)

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

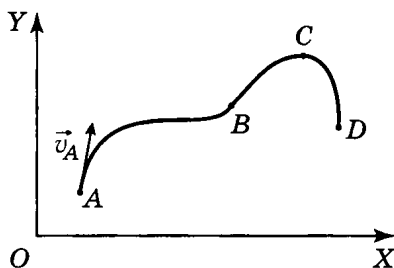


Рис. 7

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

деть поезд длиной 100 м, движущийся в том же направлении со скоростью 72 км/ч?

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

дорогам, угол между которыми 60° (рис. 8). Определите скорость первого автомобиля относительно второго: 1) до развилки; 2) после развилки.

47. Капли дождя падают вертикально со скоростью v_1 . С какой максимальной скоростью v_{\max} должен двигаться человек ростом h , несущий над собой зонт диаметром D , чтобы его одежда оставалась сухой? При ходьбе человек наклоняет зонт.

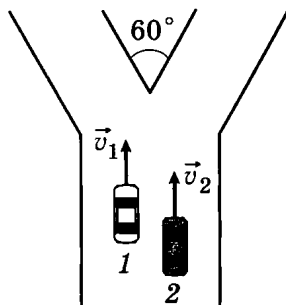


Рис. 8

48. По шоссе со скоростью 10 м/с едет автобус. Человек находится на расстоянии 100 м от шоссе и 300 м от автобуса. В каком направлении должен идти человек, чтобы выйти на шоссе раньше автобуса или одновременно с ним? Скорость человека 5 м/с.

Ускорение.

Движение с постоянным ускорением (§ 13–15)

49. За 10 с скорость автомобиля, движущегося по прямому шоссе, изменилась от нуля до 72 км/ч. Определите среднее ускорение автомобиля.
50. Материальная точка движется равномерно по окружности со скоростью 5 м/с. За 2 с она проходит четверть окружности. Определите среднее ускорение точки. Определите также среднее ускорение точки, когда она сделает половину оборота и целый оборот.
51. Автомобиль делает поворот за 5 с, при этом его скорость изменяется от 20 до 15 м/с (рис. 9). Определите среднее ускорение автомобиля.
52. Велосипедист начинает движение по прямой дороге и за первые 2 с набирает скорость 5 м/с, а за следующие 4 с его скорость увеличивается на 15 м/с. Определите разность ускорений, с которыми ехал велосипедист в течение этих двух промежутков времени, а также среднее ускорение за первые 6 с движения.
53. Тело движется по прямой вдоль оси Ox . Запишите зависимость скорости тела от времени, если в начальный момент времени скорость тела была равна 2 м/с, а ускорение равно -4 м/с².

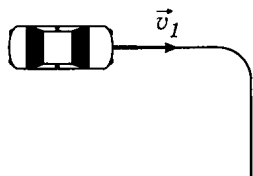


Рис. 9

54. На рисунке 10 показаны графики зависимости проекций скоростей трех тел от времени. Определите начальные скорости и ускорения тел.

55. Проекция скорости тела на ось OX изменяется по закону $v_x = v_{0x} + a_x t$, где $v_{0x} = 5$ м/с, а $a_x = -2,5$ м/с². Начертите графики зависимости $a_x(t)$ и $v_x(t)$.

56. Проекция ускорения тела на оси OX и OY равны соответственно $a_x = 4$ м/с², $a_y = 3$ м/с². Определите ускорение тела, а также угол α , под которым направлена к оси OX его скорость, если известно, что начальная скорость тела была равна нулю.

57. Вдоль оси OX тело движется с постоянной скоростью 4 м/с, а вдоль оси OY — с начальной нулевой скоростью и постоянным ускорением, равным 1,5 м/с². Определите скорость тела через 2 с после начала движения вдоль оси OY .

58. Ускорение тела, равное 4 м/с², постоянно и направлено под углом 45° к оси OX , начальная скорость равна $v_0 = 5$ м/с и направлена под углом 60° к оси OX . 1) Запишите уравнения для проекций скорости на оси OX и OY . 2) Определите скорость тела через 5 с после начала движения.

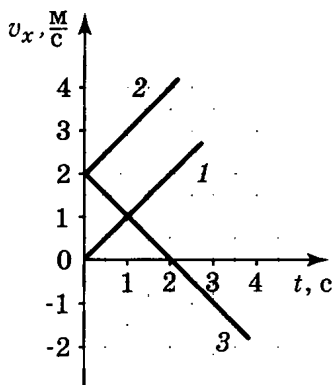


Рис. 10

Уравнения движения с постоянным ускорением (§ 16)

59. Запишите уравнение движения тела вдоль оси OX , если известно, что проекция его скорости описывается уравнением $v_x = v_{0x} + a_x t$, где $v_{0x} = -2$ м/с, а $a_x = 4$ м/с². В начальный момент времени тело находилось в начале координат. Определите координату и скорость тела через 2 с.

60. Тело начинает движение по прямой с ускорением, равным 2 м/с². Через 4 с ускорение становится равным нулю и тело продолжает двигаться равномерно. Определите расстояние, пройденное телом за 10 с.

61. Тело движется вдоль координатной оси OX . В начальный момент времени в точке $x_0 = 4$ м его скорость равна $v_{0x} = 12$ м/с, а ускорение равно -4 м/с². 1) Определите координату тела в моменты времени 1, 2, 3, 4, 5 и 6 с. 2) Постройте графики зависимос-

ти координаты тела x от времени t . 3) Определите модуль перемещения и путь, пройденный телом за 6 с движения.

62. При торможении автомобиль движется с ускорением 5 м/с^2 . На каком минимальном расстоянии от препятствия водитель должен начать тормозить, если скорость автомобиля: 1) 54 км/ч ; 2) 72 км/ч ?

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

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

65. Используя рисунок 12, определите модуль перемещения тела в моменты времени 2, 3, 4 и 6 с.

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

67. Используя рисунок 13, запишите уравнение движения тела $x(t)$ и уравнение проекции скорости $v_x(t)$.

68. Скорость автомобиля за 2 с при торможении уменьшилась со 108 до 36 км/ч . Определите ускорение автомобиля и расстояние, которое он пройдет за этот промежуток времени.

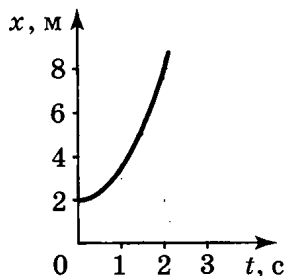


Рис. 11

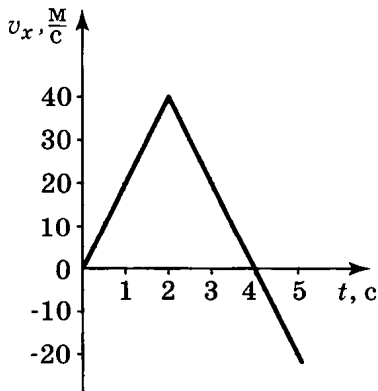


Рис. 12

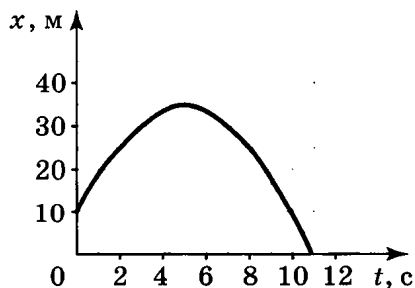


Рис. 13

69. Из пункта A в пункт B , которые находятся на одной прямой на расстоянии 6 км, выходит пешеход и идет с постоянной скоростью 4 км/ч. Спустя 0,5 ч из пункта A выезжает велосипедист, который в течение 20 мин движется с ускорением, затем некоторое время равномерно, а последние 20 мин с тем же по модулю ускорением до остановки. В результате велосипедист прибывает в пункт B одновременно с пешеходом. Определите модуль ускорения велосипедиста.
70. Используя условие задачи 69, начертите графики зависимости координаты и проекции скорости пешехода и велосипедиста от времени.
71. При равноускоренном движении велосипедист проезжает за два одинаковых последовательных промежутка времени, равные 3 с, расстояния 20 и 50 м. Определите начальную скорость и ускорение велосипедиста.
72. Два автомобиля едут навстречу друг другу со скоростями v_1 и $v_2 = 1,5v_1$. Водители одновременно начинают тормозить. Определите отношение ускорений автомобилей, если они проехали с момента начала торможения одинаковые расстояния.
73. Два тела начинают одновременно двигаться навстречу друг другу с ускорениями a_1 и $a_2 = 2a_1$ и при встрече останавливаются. Начальные скорости тел v_{01} и $v_{02} = 2v_{01}$. Определите отношение расстояний l_2/l_1 , пройденных телами до встречи.
74. По наклонной плоскости начали скользить с одинаковыми, направленными вниз ускорениями два тела: одно вверх с начальной скоростью 0,5 м/с, другое вниз из состояния покоя. Через какой промежуток времени тела встретятся? Расстояние между телами в начальный момент времени равно 2,5 м.
75. Точка движется в плоскости XOY вдоль оси OX с постоянной скоростью $v_x = 0,5$ м/с, при этом уравнение траектории точки имеет вид $y(x) = 4x + 16x^2$. Определите зависимость координаты y и проекции скорости v_y от времени. Считайте, что при $t = 0$ точка находилась в начале координат.

Свободное падение тел (§ 17, 18)

76. Камень падает с высоты 5 м. Пренебрегая сопротивлением воздуха, определите время падения и конечную скорость камня.
77. Груз срывается с веревки и свободно падает с высоты h . На второй половине пути средняя скорость груза равна 20 м/с. Чему равна высота h ?

78. На какой высоте скорость мяча, брошенного вертикально вверх со скоростью 4 м/с, уменьшается вдвое ($g = 10 \text{ м/с}^2$)?
79. Камень падает с высоты, равной 20 м. Определите время падения камня, а также промежутки времени, за которые камень пролетает первую и вторую половину пути.
80. Груз свободно падает с высоты 44 м. Какие расстояния он пройдет за первую и последнюю секунды полета?
81. С крыши дома падает сосулька. Определите высоту дома, если сосулька пролетела вдоль входной двери высотой 2 м за 0,13 с. Размерами сосульки можно пренебречь.
82. Тело, брошенное вертикально вверх, на высоте, равной 24,5 м, побывало дважды с интервалом 3 с. Определите начальную скорость тела.
83. Мальчик бросает в колодец два камня с интервалом 1 с. Глубина колодца 300 м. Какое расстояние пролетит второй камень до того, как мальчик услышит всплеск воды от падения первого? Скорость звука 300 м/с. Начальная скорость камней равна нулю.
84. С двух разных высот, равных соответственно 20 и 30 м, вертикально вниз одновременно бросают два мяча, причем начальная скорость первого мяча равна 5 м/с. С какой скоростью был брошен второй мяч, если они достигли земли одновременно?
85. Жонглер подбрасывает вверх шарики с интервалом 0,1 с. Определите, сколько шариков одновременно могут находиться в воздухе, если начальная скорость шариков одинакова и равна 4 м/с.
86. Камень, брошенный горизонтально с вышки, упал на землю на расстоянии 60 м от основания вышки. Время падения камня равно 3 с. Определите начальную и конечную скорости камня.
87. С башни высотой 50 м бросили горизонтально камень со скоростью 10 м/с. Определите дальность полета камня и его перемещение.
88. Из одной точки с высоты 50 м бросили горизонтально два тела в противоположные стороны. Начальная скорость одного тела 10 м/с, другого — в 2 раза меньше. Определите скорость одного тела относительно другого и расстояние между ними в момент падения.
89. Мальчик бросает мяч горизонтально со скоростью 8 м/с из окна первого этажа, находящегося на расстоянии 5 м от земли. На сколько увеличится дальность полета мяча, если он бросит мяч с той же ско-

- ростью из окна второго этажа, находящегося на 3 м выше первого?
90. Под каким углом α к горизонту надо бросить мяч, чтобы высота его подъема была в 2 раза меньше дальности полета?
 91. Докажите, что траектория тела, брошенного под углом к горизонту, — парабола.
 92. Снаряд вылетает из пушки под углом 15° к горизонту и падает на расстоянии 500 м. Какой будет дальность полета снаряда, если угол, под которым он вылетает, увеличить на 15° ?
 93. Камень брошен с башни высотой 10 м под углом 30° к горизонту со скоростью 8 м/с. Определите дальность полета камня и конечную скорость.
 94. С высокого берега реки, находящегося на высоте h над поверхностью воды, бросают тело на противоположный берег, находящийся практически на уровне воды, под углом α к горизонту. Ширина реки l . С какой минимальной скоростью нужно бросить тело, чтобы оно оказалось на другом берегу?
 95. Вертолет летит вдоль реки на высоте 500 м со скоростью 100 м/с. Навстречу вертолету по реке движется катер со скоростью 20 м/с, на который с вертолета сбрасывают груз. На каком расстоянии от вертолета должен находиться катер в момент сброса груза?
 96. Мальчик бросает мяч под углом 45° к горизонту в вертикальную стенку, расположенную от него на расстоянии 6 м. Перед броском мяч находится в руках у мальчика на высоте 1,5 м. Определите начальную скорость мяча, если, ударившись о стенку и отскочив от нее, он упал к ногам мальчика. Удар считайте абсолютно упругим.
 97. Теннисный мяч, поданный под углом 60° к горизонту со скоростью 15 м/с, ударяется о горизонтальную площадку и отскакивает от нее. На какой высоте находится площадка, если дальность полета мяча увеличивается в 1,8 раза? Удар считайте абсолютно упругим.
 98. Камень, брошенный под углом 60° к горизонту, побывал на высоте 1 м дважды с интервалом 1 с. Определите начальную скорость камня и дальность его полета.
 99. Гора образует с горизонтом угол 15° . У подножия горы стоит орудие. Под каким углом к поверхности горы нужно выпустить снаряд, чтобы дальность его полета вдоль склона была максимальна?

100. На вершину наклонной плоскости, угол которой у основания равен 45° , с высоты 5 м падает мяч. Длина наклонной плоскости 50 м. Определите, сколько раз мяч ударится о наклонную плоскость, прежде чем соскочит с нее. Удары мяча о плоскость абсолютно упругие.

Равномерное движение точки по окружности (§ 19)

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

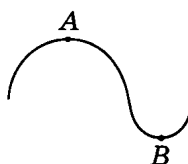


Рис. 14

102. Угол α между скоростью и ускорением, с которыми движется материальная точка по окружности, остается постоянным и равным $\pi/2$. Как движется точка? Что можно будет сказать о движении точки, если угол α увеличится?
103. Определите отношение скоростей и центростремительных ускорений точек земного шара, находящихся на экваторе и на широте 60° .
104. Шарик, подвешенный на нити длиной 60 см, вращается, делая 120 оборотов в минуту (рис. 15), при этом угол между нитью и осью вращения OO' равен 30° . Определите угловую и линейную скорости шарика, а также его центростремительное ускорение.
105. Вычислите угловую и линейную скорости орбитального движения спутника Земли, если период его обращения 121,16 мин, а высота полета 1700 км.
106. Определите центростремительное ускорение материальной точки, движущейся по окружности с угловой скоростью 2 рад/с и линейной скоростью 4 м/с.
107. Скорость материальной точки за 0,5 с после начала движения по окружности возросла до 4 м/с. Определите полное ускорение точки в этот момент времени, если радиус окружности 1 м.

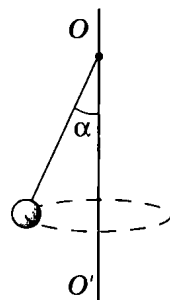


Рис. 15

Кинематика твердого тела

Поступательное и вращательное движение твердых тел (§ 20, 21)

108. Изогнутая палочка (рис. 16) вращается с постоянной скоростью, равной 10 рад/с , относительно оси, проходящей через точку O . Длина всей палочки равна 80 см , а части AB — 30 см . Определите линейные скорости v_A и v_B точек A и B .

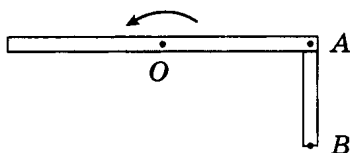


Рис. 16

109. Катушку тянут за нить (рис. 17). Радиус катушки $R_1 = 10 \text{ см}$, радиус барабана $R_2 = 5 \text{ см}$, скорость нити относительно земли $v = 1,5 \text{ м/с}$. Определите скорости центра катушки и точки A относительно земли.

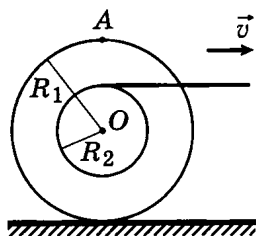


Рис. 17

110. Определите угловую и линейную скорости конца минутной стрелки ручных часов. Длина стрелки равна $1,5 \text{ см}$.

111. На катушку, поставленную на стол вертикально (рис. 18), намотаны две нити. Определите угловую скорость вращения катушки и скорость ее центра O , если нити разматывают со скоростями, равными v_1 и v_2 , при этом $v_1 = 2v_2$. Радиус катушки равен R .

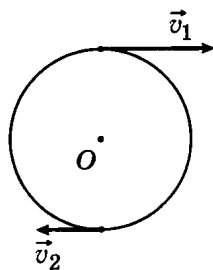


Рис. 18

112. Два диска радиусами $R_1 = 10 \text{ см}$ и $R_2 = 15 \text{ см}$ плотно прижаты друг к другу (рис. 19). Маленький диск вращается с угловой скоростью $1,5 \text{ рад/с}$. Определите угловую скорость вращения большого диска, если диски вращаются без проскальзывания.

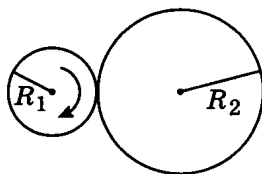


Рис. 19

113. Чему равно ускорение частицы пыли на краю диска диаметром 15 см, вращающегося со скоростью 60 рад/мин?
114. Лестница, стоящая у стены, начинает падать, причем верхний конец скользит вдоль стены (рис. 20). Когда угол наклона лестницы к полу равен 30° , скорость нижнего конца лестницы равна 2 м/с. Определите скорость верхнего конца лестницы в этот момент времени.
115. Два трактора вытягивают застрявшую машину с помощью нерастяжимых канатов (рис. 21). Угол между канатами равен α , а скорости тракторов равны соответственно v_1 и v_2 . Определите модуль и направление скорости машины v .

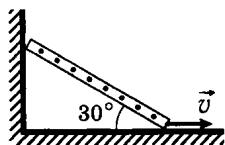


Рис. 20

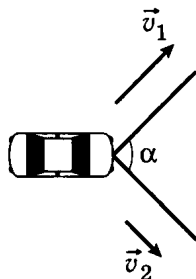


Рис. 21

Динамика

Законы механики Ньютона

Второй закон Ньютона. Третий закон Ньютона. Масса и сила (§ 27—29)

116. Автомобиль массой 1,5 т за 5 с увеличивает скорость своего движения на 10 м/с. Чему равна сумма сил, действующих на автомобиль?
117. Камень массой 1 кг падает в воде с ускорением 8 м/с^2 . Определите силу сопротивления, действующую на камень.
118. Космический корабль массой 10^5 кг начинает подниматься вверх. Сила тяги двигателей $3 \cdot 10^6 \text{ Н}$. Определите ускорение корабля.
119. Груз массой 100 кг лежит на полу лифта. Определите ускорение лифта, если груз давит на пол силой 1200 Н. Примите $g = 9,8 \text{ м/с}^2$.
120. С каким ускорением следует опускать на веревке груз массой 45 кг, чтобы она не оборвалась? Веревка выдерживает максимальное натяжение 400 Н. Примите $g = 9,8 \text{ м/с}^2$.
121. По вертикально висящей веревке длиной 90 см скользит кольцо массой 20 г (рис. 22). Определите силу сопротивления, действующую на кольцо во время движения, если из-



Рис. 22

вестно, что кольцо соскользнуло за 0,6 с. Силу сопротивления считайте постоянной.

122. Два связанных нитью тела могут двигаться без трения по горизонтальной поверхности. Когда к первому телу приложена горизонтальная сила, равная 30 Н, сила натяжения нити равна 10 Н. Определите силу натяжения нити, если такую же по модулю силу приложить ко второму телу.
123. Вертолет поднимает автомобиль массой 5 т с ускорением $0,6 \text{ м/с}^2$. Определите силу натяжения троса.
124. Локомотив тянет за собой два вагона одинаковой массы. Докажите, что при ускоренном движении натяжение в сцепке локомотива с первым вагоном в 2 раза больше, чем в сцепке первого вагона со вторым. Сопротивление не учитывайте.
125. В вагоне, движущемся горизонтально с ускорением 12 м/с^2 , висит на шнуре груз массой 200 г. Определите силу натяжения шнура.
126. Модуль максимального ускорения, с которым может двигаться лифт, равен $0,6 \text{ м/с}^2$. Масса лифта равна 5 т. В каких пределах будет изменяться сила натяжения троса при движении лифта? ($g = 9,8 \text{ м/с}^2$.)
127. Воздушный шар опускается с ускорением $0,8 \text{ м/с}^2$, направленным вниз. Определите массу балласта, который надо сбросить, чтобы шар начал двигаться с таким же ускорением, но направленным вверх. Масса шара с балластом 200 кг. Сопротивлением воздуха можно пренебречь.
128. Два тела одинаковой массой m соединены нерастяжимой нитью, перекинутой через блок. Одно из тел без трения скользит по наклонной плоскости с углом у основания $\alpha = 30^\circ$ (рис. 23). Определите ускорение тел. Массы блока и нити не учитывайте. Примите $g = 10 \text{ м/с}^2$.

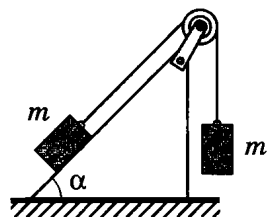


Рис. 23

129. Через блок перекинута нерастяжимая нить, к концам которой привязаны два груза массами 2 и 4 кг (рис. 24). Под грузом 2 расположена подставка, удерживающая грузы в равновесии. Разность высот, на которых находятся грузы, 1 м. Подставку осто-

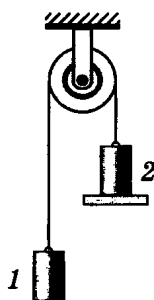


Рис. 24

рожно убирают, и грузы начинают двигаться. Определите скорости грузов в тот момент, когда они окажутся на одной высоте. Массы блока и нити не учитывайте. Примите $g = 9,8 \text{ м/с}^2$.

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

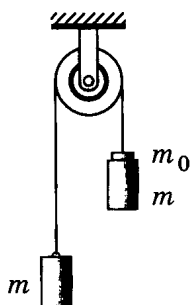


Рис. 25

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

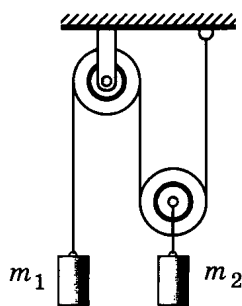


Рис. 26

132. Определите радиус выпуклого моста, если при движении автомобиля со скоростью 72 км/ч в верхней точке давления на мост в 2 раза меньше силы тяжести автомобиля.

133. На подвижном диске укрепили математический маятник так, как показано на рисунке 27. Длина нити $l = 0,5 \text{ м}$, расстояние $r_0 = 10 \text{ см}$. При какой угловой скорости вращения диска нить маятника отклонится от вертикали на угол 45° ?

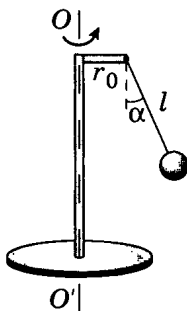


Рис. 27

134. Маленький шарик массой 100 г подвесили на длинной нити к потолку вагона, равномерно движущегося по криволинейному участку пути со скоростью 72 км/ч . Чему равна сила натяжения нити, если радиус кривизны участка пути 200 м ?

135. С какой угловой скоростью внутри сферы радиусом $R = 20 \text{ см}$ должен вращаться небольшой шарик, чтобы он все время находился на высоте $h = 5 \text{ см}$ относительно нижней точки сферы (рис. 28)? Трение не учитывайте.

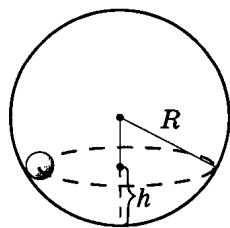


Рис. 28

136. Летчик описывает на самолете «мертвую петлю» радиусом 200 м. Определите силы давления летчика на сиденье в верхней и нижней точках траектории. Скорость самолета 180 км/ч, масса летчика 70 кг.

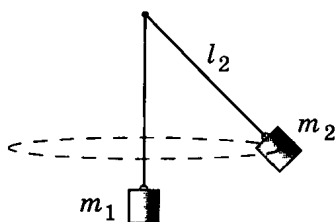


Рис. 29

137. Система из двух тел массы m_1 и m_2 , связанных нитью, вращается с угловой скоростью ω (рис. 29). Часть нити, на которой висит груз массой m_1 , остается строго вертикальной. Определите длину нити, на которой висит вращающийся груз массой m_2 .

138. Шарик радиусом r (рис. 30) подвешен на нити длиной l к вертикальному стержню, проходящему через центр основания цилиндра радиусом R . Система приведена во вращение. Определите, при какой минимальной угловой скорости вращения ω_0 шарик перестает давить на цилиндр.

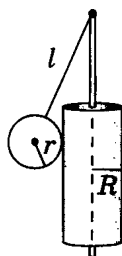


Рис. 30

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

Силы в механике

Гравитационные силы

Закон всемирного тяготения.

Первая космическая скорость (§ 33, 34)

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

по круговой орбите движется спутник. Определите радиус орбиты спутника r , считая, что ускорение свободного падения у поверхности планеты g и период обращения спутника T .

144. Вблизи некоторой планеты по круговой орбите вращается спутник с периодом обращения, равным 10 ч. Чему равна средняя плотность планеты? Считайте, что высота, на которой движется спутник, много меньше радиуса планеты.
145. Искусственный спутник Земли запущен с экватора и вращается по круговой орбите в плоскости экватора в направлении осевого вращения Земли. Радиус орбиты спутника в 2 раза больше радиуса Земли. Через какой промежуток времени спутник в первый раз пройдет над точкой запуска?
146. Определите скорость спутника Земли при движении его по орбите, радиус которой равен 1,5 радиуса Земли.
147. Отношение радиусов Земли и Луны $R_3/R_{\text{л}} = 3,7$, отношение их масс $M_3/M_{\text{л}} = 81$. Определите первую космическую скорость спутника Луны, зная, что первая космическая скорость спутника Земли $v_1 = 8$ км/с.

Сила тяжести и вес. Невесомость (§ 35)

148. Определите, на сколько увеличивается вес человека массой 70 кг, находящегося в лифте, движущемся с ускорением $0,2$ м/с², направленным вверх.
149. С каким ускорением надо опускать тело, подвешенное на нити, чтобы его вес был в 2 раза меньше, чем в случае покоя?
150. С каким ускорением движется автомобиль по горизонтальной прямой дороге, если водитель давит на сиденье силой давления, в 2 раза превышающей его вес?
151. Летчик массой 69 кг делает «мертвую петлю» радиусом 250 м. 1) С какой скоростью должен лететь самолет, чтобы в наивысшей точке подъема летчик испытал состояние невесомости? 2) На сколько при этой скорости увеличивается вес тела в нижней точке траектории? Примите $g = 10$ м/с².
152. Чему равна средняя плотность планеты, у которой на экваторе вес тела вдвое меньше, чем на полюсе? Длительность суток на планете 10 ч.
153. Сила тяжести, действующая на тело на высоте h над поверхностью планеты радиусом R , на полюсе равна весу этого же тела на поверхности планеты на эква-

торе. Ускорение свободного падения у поверхности на полюсе g . Определите период вращения планеты вокруг своей оси. Планету считайте однородным шаром.

154. Вес тела на экваторе составляет 0,97 веса этого тела на полюсе. Планета представляет собой однородный шар плотностью $2,5 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$. Определите период вращения планеты вокруг своей оси.
155. Космический корабль движется вокруг Земли под действием силы тяготения по круговой орбите радиусом $R = 2R_3$. Определите, как изменится вес космонавта после включения торможения на тот момент, когда скорость корабля уменьшится на $0,2v$. Масса космонавта 70 кг.

Силы упругости

Деформация и сила упругости. Закон Гука (§ 36, 37)

156. Тело массой 2 кг подвешивают на пружине. При этом пружина растягивается на 0,49 см. Определите жесткость пружины.
157. Тело массой 3 кг, прикрепленное к пружине жесткостью 10^3 Н/м , поднимают с ускорением a , направленным вверх (рис. 31). При этом пружина дополнительно растягивается на 0,3 см. Определите ускорение a .
158. Тело массой m , прикрепленное к пружине жесткостью k , скользит по горизонтальной идеально гладкой поверхности (рис. 32). Определите деформацию пружины, если: 1) тело движется равномерно; 2) тело движется с ускорением a . Массу пружины не учитывайте.
159. Тело массой m прикреплено к двум одинаковым пружинам жесткостью k (рис. 33) и движется с ускорением a . Определите разность деформаций пружин. Обе пружины растянуты. Трением можно пренебречь.



Рис. 31



Рис. 32

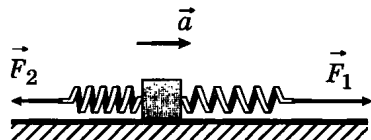


Рис. 33

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

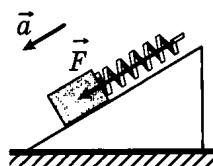


Рис. 34

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

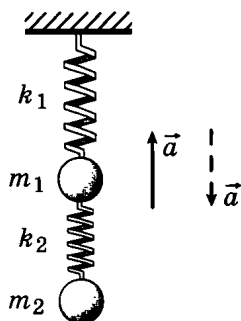


Рис. 35

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

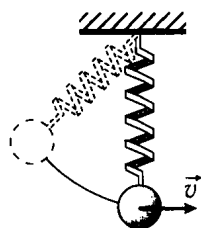


Рис. 36

Силы трения

Силы трения и силы сопротивления (§ 39, 40)

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

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

167. Брусok массой m находится на наклонной плоскости, составляющей с горизонтом угол α . Определите силу, с которой брусок действует на наклонную плоскость, если: 1) брусок неподвижен; 2) брусок движется вниз с ускорением a .
168. Брусok равномерно движется вниз по наклонной плоскости, образующей с горизонтом угол 15° . Определите ускорение, с которым будет двигаться брусок, если угол наклона плоскости увеличится до 45° .
169. Два бруска массами $m_1 = 1$ кг и $m_2 = 1,5$ кг соединены пружиной жесткостью 10^3 Н/м (рис. 37). На левый брусок действует сила 10 Н. Определите ускорение брусков и деформацию пружины. Коэффициент трения брусков о поверхность 0,1.
170. Наклонная плоскость составляет с горизонтом угол 30° . Вверх по этой плоскости с начальной скоростью начинает двигаться тело, которое, достигнув наибольшей высоты, соскальзывает. Время спуска в 1,5 раза больше времени подъема. Определите коэффициент трения тела о плоскость.
171. На горизонтальной поверхности льда лежит доска. С каким минимальным ускорением мальчик массой 50 кг должен бежать по доске, чтобы она начала скользить по льду? Масса доски 40 кг. Коэффициент трения между поверхностями доски и льда равен 0,01.
172. На конце доски длиной 2 м помещен брусок длиной 20 см (рис. 38). На доску действует горизонтальная сила 40 Н. Массы бруска и доски равны соответственно 4 и 16 кг. Коэффициент трения между поверхностями бруска и доски 0,01, а между доской и полом 0,05. Через какой промежуток времени с момента начала действия силы брусок соскочит с доски?
173. Рабочий тянет ящик массой 80 кг вверх по наклонной плоскости, составляющей с горизонтом угол 30° (рис. 39). Коэффициент трения ящика о плоскость 0,05. Определите силу натяжения веревки при равномерном движении ящика, если угол между веревкой и плоскостью 45° ($g = 9,8$ м/с²).

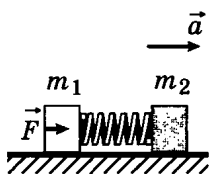


Рис. 37



Рис. 38

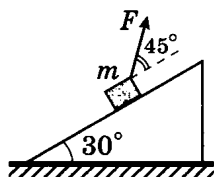


Рис. 39

174. Два одинаковых бруска массой 160 г каждый соединены нерастяжимой нитью, перекинутой через блок, установленный на вершине наклонной плоскости (рис. 40). Плоскость образует с горизонтом угол 30° . Коэффициент трения между плоскостью и бруском 0,1. Определите ускорение тел и силу, действующую со стороны нити на блок.

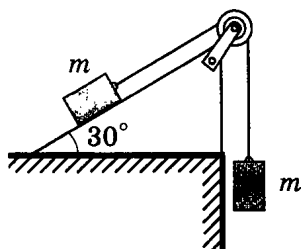


Рис. 40

175. Шайба, скатываясь с ледяной горы высотой 3 м, упруго ударяется о препятствие, поставленное в конце горы (рис. 41). Определите, на какую высоту поднимется шайба после двух ударов о препятствие. Поверхность горы составляет с горизонтом угол 30° . Коэффициент трения шайбы о ледяную гору равен 0,15.

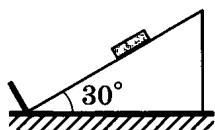


Рис. 41

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

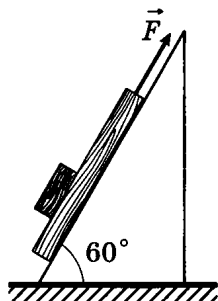


Рис. 42

177. К плавающему в воде диску привязана нерастяжимая невесомая нить. Чему равна скорость установившегося движения диска, если нить тянут параллельно поверхности воды силой 10 Н? Сила сопротивления воды пропорциональна скорости движения диска: $F_c = kv$, где $k = 4$ кг/с.
178. В сосуд с маслом бросили свинцовый шарик радиусом 2 мм. Определите установившуюся скорость шарика. Сила сопротивления пропорциональна скорости: $F_c = kv$, где $k = 7,7 \cdot 10^{-5}$ кг/с. Плотность свинца $1,13 \cdot 10^3$ кг/м³, а плотность масла $0,9 \cdot 10^3$ кг/м³.
179. Шарик массой 10 г всплывает с постоянной скоростью 0,2 м/с в жидкости, плотность которой в 4 раза больше плотности материала шарика. Определите коэффициент сопротивления, считая, что сила сопротивления пропорциональна скорости.

Законы сохранения в механике

Закон сохранения импульса

Импульс материальной точки.

Второй закон Ньютона в импульсной форме (§ 41)

180. На тело в течение 3 с действовала постоянная сила 10 Н. Скорость тела за это время изменилась на 5 м/с. Определите массу тела.
181. Автомобиль, трогаясь с места, за 5 с набирает скорость 72 км/ч. Определите коэффициент трения между колесами и дорогой.
182. Мяч массой 150 г подлетает к стенке под углом 30° к ее поверхности со скоростью 5 м/с. Время абсолютно упругого удара 0,02 с. Определите среднюю силу, с которой мяч давит на стенку во время удара.
183. Мяч подлетает к стенке под углом 45° со скоростью 10 м/с и отскакивает от нее. Скорость мяча после удара равна 6 м/с и направлена под углом 30° к стенке. Определите коэффициент трения между мячом и стенкой.
184. Тело массой 1 кг двигалось по окружности. В некоторой точке скорость тела была равна 3 м/с. За одну секунду тело прошло четверть окружности, и его скорость стала равна 4 м/с. Определите значение средней силы, действовавшей на тело.
185. Космический корабль должен изменить курс и начать движение под углом 15° к начальному направлению с тем же импульсом, равным $5 \cdot 10^5$ Н·с. На какое наименьшее время нужно включить двигатель, если при этом на корабль начинает действовать сила, равная 10^5 Н?
186. Камень массой 1 кг брошен со скоростью 3 м/с под углом 30° к горизонту. Определите изменение импульса камня за время его полета.
187. Из пушки производится выстрел, при этом дальность полета снаряда в 2 раза больше максимальной высоты подъема. Импульс снаряда в начальной точке траектории равен $1000 \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$. Определите импульс снаряда в наивысшей точке траектории. Соппротивление воздуха не учитывайте.
188. Мальчик бросает мяч массой 1 кг вслед грузовику, движущемуся со скоростью 7 м/с. Мяч ударяется перпендикулярно поверхности заднего борта грузовика. Определите импульс силы, подействовавшей на

грузовик. Удар считайте абсолютно упругим. Скорость мяча до удара 15 м/с . Чему равна скорость мяча после удара?

Закон сохранения импульса. Реактивное движение (§ 42, 43)

189. Железнодорожный вагон массой 10^4 кг , движущийся со скоростью 25 м/с , сталкивается с неподвижным вагоном массой $1,5 \cdot 10^4 \text{ кг}$. С какой скоростью поедут вагоны, если сработает сцепка между ними?
190. Человек массой 80 кг , бегущий со скоростью $3,25 \text{ м/с}$, догоняет тележку массой 100 кг , движущуюся со скоростью 1 м/с , и запрыгивает на нее. С какой скоростью будет двигаться тележка с человеком?
191. Пушка, стоящая на гладкой горизонтальной поверхности, стреляет под углом 60° к горизонту. Масса снаряда 100 кг , его скорость при вылете из дула 300 м/с . С какой скоростью начнет откатываться пушка, если она не закреплена? Масса пушки 10^4 кг .

192. Два рыбака, стоя в разных лодках и перехватывая канат, протянутый между лодками, приближаются друг к другу (рис. 43). Массы лодок с рыбаками соответственно 300 и 250 кг . Скорость первой лодки 2 м/с . Определите: 1) скорость второй лодки относительно берега; 2) скорость, с которой сближаются лодки.

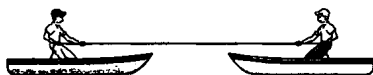


Рис. 43

193. На гладкой горизонтальной поверхности лежит доска массой m , по ней со скоростью v_0 начинает скользить шайба массой $m/4$. Определите скорость доски в тот момент, когда шайба остановится. Шайба с доски не соскальзывает.
194. Лодка длиной 2 м стоит, приткнувшись носом к берегу. Масса лодки 90 кг . Человек, сидящий на корме, хочет сойти на берег. На какое расстояние от берега сдвинется лодка, если человек перейдет на ее нос? Масса человека 60 кг .
195. На конце соломинки, плавающей в озере, сидит кузнечик. С какой минимальной скоростью должен прыгнуть кузнечик, чтобы оказаться на другом конце соломинки? Масса кузнечика m , масса соломинки M , а ее длина l .
196. Граната разрывается на два осколка, разлетающиеся с импульсами p_1 и p_2 , направленными под углом α

друг к другу. Определите импульс гранаты до разрыва.

197. Граната массой 1 кг, летевшая горизонтально со скоростью 10 м/с, разорвалась на высоте 8 м над землей на два осколка. Отношение масс осколков $m_1 : m_2 = 2 : 3$. Меньший осколок полетел вниз и упал под местом разрыва, при этом его конечная скорость была 25 м/с. Определите дальность полета большего осколка.
198. Пуля массой 10 г, летящая вдоль стола высотой 1,2 м, попадает в центр шара массой 400 г, лежащего на краю стола, и застревает в нем. На каком расстоянии от стола упадет шар, если скорость пули 500 м/с?
199. Два человека массами 60 и 70 кг поочередно спрыгивают со скоростью 10 м/с с подвижной платформы массой 300 кг. 1) Какой человек должен спрыгнуть первым, чтобы платформа начала движение с максимальной скоростью? 2) Чему будет равна скорость платформы, если оба человека спрыгнут одновременно?
200. Шарик массой 10 г падает с высоты 1,8 м и упруго отражается от установленного на неподвижной тележке щита, плоскость которого наклонена к горизонту под углом 45° . При этом скорость шарика уменьшается в 2 раза. Масса тележки со щитом 90 г. Определите ее скорость после отражения шарика. Трение не учитывайте.
201. Ракета массой 400 кг поднялась на высоту 1000 м. Определите скорость, с которой вылетели продукты сгорания из ракеты. Считайте, что весь запас топлива массой 20 кг сгорел мгновенно.
202. Топливо подается в двигатель ракеты со скоростью 200 м/с, а продукты сгорания выходят из сопла со скоростью 500 м/с. Массовый расход топлива одним двигателем 30 кг/с. Ракета имеет 40 двигателей. Определите силу тяжести ракеты. Скорость полета ракеты постоянна.
203. На горизонтальной поверхности лежит деревянный шар, масса которого $m = 1$ кг. Шар пробивается пулей массой $m_0 = 10$ г, проходящей через его центр. Скорость пули до столкновения с шаром $v_0 = 300$ м/с, а после вылета из него $v = 100$ м/с. Коэффициент трения между поверхностью и шаром $\mu = 0,1$. Плотность дерева $\rho = 700$ кг/м³. С какой точностью можно считать систему шар — пуля замкнутой?

Закон сохранения энергии

Работа силы. Мощность (§ 45, 46)

204. Рабочий равномерно поднимает кирпич массой 3 кг на высоту 50 см. Определите работу силы тяжести, действующей на кирпич, и работу силы давления кирпича на руку рабочего.

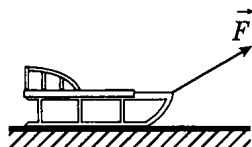


Рис. 44

205. Санки массой 40 кг тянут за веревку, составляющую с горизонтом угол 30° (рис. 44). Сила натяжения веревки 250 Н. Коэффициент трения между полозьями санок и дорогой 0,03. Определите работу каждой из сил, действующих на санки при их перемещении вдоль дороги на 100 м.

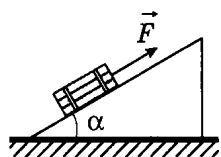


Рис. 45

206. Лифт массой 1 т поднимается с ускорением 1 м/с^2 . Определите работу силы натяжения тросов и работу силы тяжести, действующей на лифт, за первые 2 с движения.
207. Груз массой 20 кг равноускоренно опускают на веревке на высоту 10 м за 4 с. Определите работу силы натяжения веревки и работу силы тяжести при этом перемещении груза ($g = 9,8 \text{ м/с}^2$).
208. По наклонной плоскости с углом у основания 45° поднимают ящик с песком общей массой 30 кг, привязав к нему веревку (рис. 45). Ящик подняли на высоту 20 м за 17 с. Коэффициент трения между ящиком и плоскостью 0,2. Определите работу каждой из сил, действующих на ящик. Считайте движение ящика равноускоренным.
209. Два одинаковых груза поднимают на высоту h . Один груз тянут равномерно на веревке вертикально вверх, другой также на веревке равномерно по наклонной плоскости, которая составляет с горизонтом угол 60° . Во сколько раз отличаются работы сил натяжения веревок при подъеме грузов? Трение не учитывайте.
210. Мальчик везет на ледяную горку санки массой 5 кг со скоростью 1 м/с. Угол у основания горки 30° , угол между поверхностью горки и веревкой 45° . Коэффициент трения между полозьями санок и поверхностью горки 0,05. Какую мощность развивает при этом мальчик?

211. Определите мощность двигателя автомобиля, если его скорость изменяется от 36 до 108 км/ч за 10 с. Масса автомобиля 1,5 т. Силу сопротивления, действующую на автомобиль, считайте постоянной и равной 700 Н.
212. Человек массой 80 кг поднимается вертикально вверх по лестнице за 5 с. Высота подъема 3 м. Определите развиваемую человеком мощность.
213. Мощность двигателя подъемного крана 4,4 кВт. Какой груз можно поднять с помощью этого крана на высоту 12 м за 0,5 мин? КПД двигателя 80%. Движение груза считайте равноускоренным.
214. Автомобиль массой 2 т равноускоренно поднимается в гору с уклоном 30° . Длина подъема 100 м. Скорость автомобиля в начале подъема 36 км/ч, в конце 54 км/ч. Сила сопротивления, действующая на автомобиль, постоянна и равна 800 Н. 1) Определите среднюю полезную мощность двигателя автомобиля. 2) Определите мощность двигателя, если его КПД 70%.
215. Флейтист, чтобы сыграть свою партию в опере Моцарта «Дон Жуан», должен за 6 мин взять 5420 нот. Средняя сила, с которой он нажимает на клавиши, 0,644 Н, при этом палец продвигается на 1 см. Определите работу, совершаемую флейтистом, и расходую им мощность.

Кинетическая энергия и ее изменение (§ 48)

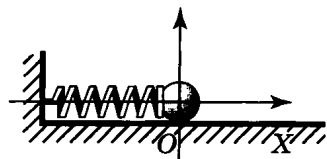
216. Определите кинетическую энергию тела массой 1 кг, брошенного со скоростью 20 м/с под углом 30° к горизонту, в конце первой секунды его движения.
217. Определите скорость тела, соскальзывающего с высоты h по наклонной плоскости. Угол, который плоскость составляет с горизонтом, α , коэффициент трения тела о плоскость μ .
218. Вверх по наклонной плоскости начинает двигаться тело со скоростью 10 м/с. Поднявшись, оно соскальзывает вниз. Определите скорость, с которой оно возвращается в начальное положение. Наклонная плоскость составляет с горизонтом угол 30° . Коэффициент трения между телом и плоскостью 0,2.
219. Скорость автомобиля возросла в 2 раза. Во сколько раз увеличился его тормозной путь?
220. Велосипедист, движущийся со скоростью 5 м/с, попадает на дорогу, покрытую толстым слоем песка. Определите среднюю силу сопротивления, действующую на велосипед, если велосипедист остановился,

- проехав, не крутя педали, по инерции 2 м. Масса велосипеда с велосипедистом 100 кг.
221. Груз массой m равномерно поднимают по наклонной плоскости на высоту h , совершив работу A . На этой высоте груз срывается. Какую скорость он будет иметь у основания наклонной плоскости?
222. Мяч массой 200 г падает с высоты 1,8 м. Определите работу силы сопротивления, если при падении на землю скорость мяча равна 5 м/с.
223. В брусок массой 500 г, лежащий на столе, попадает пуля, летящая со скоростью 400 м/с. Масса пули 10 г. Брусок продвигается вдоль стола на 2,8 м. Определите коэффициент трения между бруском и поверхностью стола.
224. Мальчик скатывается по ледяному спуску с горки высотой 5 м. Определите, какое расстояние он проедет по горизонтальной части пути до остановки. Коэффициент трения между подошвами ботинок мальчика и ледяной поверхностью 0,3. Поверхность горки составляет с горизонтом угол 45° .

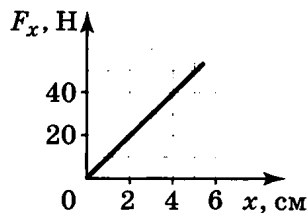
Работы сил тяжести и упругости. Потенциальная энергия (§ 49—51)

225. На нерастяжимой нити в вертикальной плоскости вращают шарик массой 0,5 кг. Длина нити 80 см. Определите работу силы тяжести в моменты времени, когда шарик совершит 2,25; 4 и 5,5 оборота.
226. Кубик массой m поднимают на вершину наклонной плоскости на высоту h , а затем отпускают, и он скатывается с нее. Определите: 1) работу при подъеме кубика; 2) работу силы тяжести на всем пути кубика; 3) скорость кубика у основания наклонной плоскости. Трением пренебрегите.
227. Легкий шарик массой m и радиусом r удерживают под водой на глубине h , затем отпускают. Определите скорость шарика, когда он приблизится к поверхности воды. Средняя сила сопротивления движению шарика равна F , плотность воды ρ .
228. Камень бросают под углом 45° к горизонту со скоростью 10 м/с. Определите наибольшую высоту подъема камня, используя теорему об изменении кинетической энергии.
229. На нерастяжимой нити длиной 1 м висит шарик. Нить отклоняют на угол, равный 60° , и отпускают. Определите скорость шарика, когда он проходит положение равновесия.
230. Тело массой 1 кг подвешивают к пружине жест-

костью 10^2 Н/м. Сравните значения работ силы тяжести и упругости при деформации пружины, когда тело придет в положение равновесия.



а)



б)

231. Шарик прикреплен к пружине, как показано на рисунке 46, а. На рисунке 46, б изображена зависимость модуля проекции силы упругости на ось Ox от координаты шарика. 1) Определите жесткость пружины. 2) По графику определите работу силы упругости при увеличении деформации от 2 до 6 см.

Рис. 46

232. Шарик массой 20 г, движущийся со скоростью 4 м/с, налетает на пружину жесткостью 10^3 Н/м (рис. 47). Определите максимальную деформацию пружины.



Рис. 47

233. Пружину жесткостью $2 \cdot 10^3$ Н/м растянули на 4 см, а затем сжали так, что деформация уменьшилась до 1 см. Определите работу силы упругости.

234. Шарик массой 1 кг подвешивают на пружине жесткостью 10^2 Н/м. Затем пружину растягивают на 5 см и отпускают. Используя теорему о кинетической энергии, определите скорость шарика в тот момент, когда он проходит положение равновесия.

235. Чему равны работа силы тяжести и изменение потенциальной энергии при подъеме тела массой 1 кг в поле силы тяжести на высоту 2 м?

236. Определите изменение потенциальной энергии упругого стержня, если сначала его растянули на Δl_1 , а затем сжали на $\Delta l_2 = \frac{\Delta l_1}{2}$. Жесткость стержня равна k .

237. Пловец массой 70 кг прыгает в воду с вышки, находящейся на высоте 10 м над поверхностью воды, и погружается на глубину 3 м. Выбирая за нулевой уровень отсчета потенциальной энергии поверхность воды, определите потенциальную энергию пловца на вышке и при его максимальном погружении.

**Закон сохранения механической энергии.
Уменьшение механической энергии системы
под действием сил трения (§ 52, 53)**

238. Тело брошено под углом α к горизонту со скоростью 6 м/с. На какой высоте его кинетическая энергия будет равна половине потенциальной? Считайте, что в начальной точке его потенциальная энергия равна нулю.
239. С какой скоростью надо бросить вертикально вниз мяч с высоты h , чтобы, ударившись о пол, он подскочил на высоту $2h$? Потери энергии при ударе не учитывайте.
240. Нить длиной 1 м с прикрепленным к ней телом отклонили на угол 90° и отпустили. Определите скорость тела в момент времени, когда нить составляет с вертикалью угол: 1) 60° ; 2) 45° ; 3) 0° .
241. Определите деформацию пружины детского пистолета, из которого шарик массой 20 г вылетает со скоростью 6 м/с. В одном случае дуло пистолета расположено горизонтально, в другом — вертикально. Жесткость пружины 10^2 Н/м. Объясните результат.
242. На вертикальном невесомом стержне длиной 40 см укреплен маленький шарик (рис. 48). Стержень начинает падать. Определите скорость шарика в тот момент, когда стержень составляет с горизонталью угол 30° , если нижний конец стержня: 1) неподвижен; 2) скользит без трения по поверхности.
243. На концах невесомого стержня длиной 1 м закреплены два небольших шарика массами 2 и 1 кг (рис. 49). Стержень может вращаться относительно оси, проходящей через точку O . В начальный момент наверху находится более тяжелый шарик. Вследствие небольшого толчка стержень начинает вращаться. Определите скорость шариков в тот момент, когда они меняются местами.
244. Шар массой 1 кг подвешен на нити длиной 1 м. В шар попадает пуля массой 10 г, летящая со скоростью 400 м/с под углом 60° к горизонту (рис. 50). Определите максимальный угол отклонения нити от вертикали.



Рис. 48

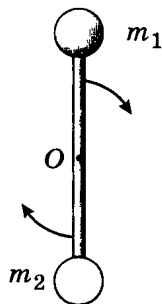


Рис. 49

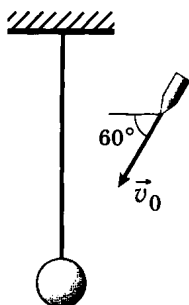


Рис. 50



Рис. 51

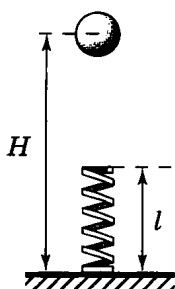


Рис. 52

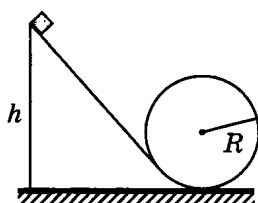


Рис. 53



Рис. 54

245. На гладкой горизонтальной поверхности лежит деревянный брусок массой 4 кг, прикрепленный к стене пружиной жесткостью 10^2 Н/м. В центр бруска попадает пуля массой 10 г, летящая горизонтально, и застревает в нем (рис. 51). Определите скорость пули, если максимальное сжатие пружины 30 см.
246. Легкая пружина жесткостью 100 Н/м и длиной $l = 10$ см стоит вертикально на столе (рис. 52). С высоты $H = 1$ м на нее падает небольшой шарик массой 100 г, который после взаимодействия с пружиной летит вверх. Определите максимальную скорость шарика.
247. Тело массой m начинает соскальзывать с высоты h по желобу, переходящему в петлю радиусом R (рис. 53). Определите минимальную высоту, при которой тело не оторвется от желоба ни в одной точке траектории.
248. На гладкой поверхности лежат два шара, между которыми находится сжатая пружина (рис. 54). Пружину отпускают, она распрямляется, вследствие чего шары разлетаются в разные стороны. Определите скорости шаров, если их массы m_1 и m_2 . Начальная энергия сжатой пружины E . Пружина с шарами не скреплена.

249. Шарик массой m , подвешенный на нити, вращается в вертикальной плоскости. Определите, на сколько сила натяжения нити при прохождении шариком нижней точки больше, чем при прохождении верхней точки. Считайте, что механическая энергия шарика остается постоянной.
250. Нить длиной 1 м с привязанным к ней грузом массой 100 г отклонили на угол 90° и отпустили (рис. 55). На сколько ниже точки подвеса нужно вбить гвоздь, чтобы нить, налетев на него, порвалась? Максимальное натяжение, выдерживаемое нитью, 10 Н.
251. Подвижный трамплин (рис. 56) массой M , расположенный на гладкой поверхности, имеет горизонтальный участок на высоте h . С трамплина скатывается небольшой кубик массой m с высоты H . На каком расстоянии от трамплина упадет кубик? Трение не учитывайте.
252. Два тела, находящиеся на концах горизонтального диаметра гладкой полусферы радиусом 40 см, соскальзывают без начальной скорости навстречу друг другу (рис. 57). После столкновения тела слипаются и движутся как одно целое, поднимаясь на высоту 10 см. Определите отношение масс тел. Какая часть механической энергии теряется при их абсолютно неупругом столкновении?
253. Канат длиной 2 м переброшен через блок так, что его свешивающиеся концы оказываются одинаковой длины (рис. 58). При небольшом смещении канат начинает соскальзывать с блока. Чему равна скорость каната в тот момент, когда он полностью соскальзывает с блока? Трением можно пренебречь.
254. Пуля массой m пробивает закрепленную доску при минимальной

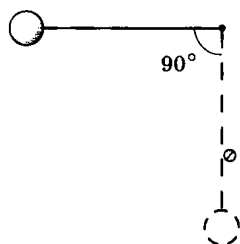


Рис. 55

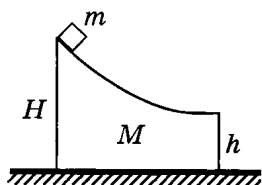


Рис. 56

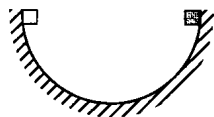


Рис. 57

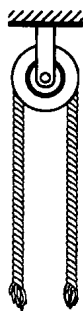


Рис. 58

- скорости v_0 . С какой скоростью v должна лететь пуля, чтобы пробить незакрепленную доску массой M ?
255. Брусок массой m , лежащий на горизонтальной поверхности, прикреплен к стенке пружиной жесткостью k (см. рис. 51). Коэффициент трения между бруском и поверхностью μ . С какой скоростью должна лететь пуля, чтобы после попадания ее в брусок он вернулся в исходное положение? Масса пули m_0 . До попадания пули в брусок пружина не деформирована.
256. Два тела массами $m_1 = 1$ кг и $m_2 = 5$ кг соединены нерастяжимой и невесомой нитью, перекинутой через блок (рис. 59). Если толкнуть второе тело вправо, то первое опустится на 20 см, если его толкнуть влево, сообщив ему ту же скорость, то первое тело поднимется на 10 см. Определите коэффициент трения между вторым телом и плоскостью.
257. Брусок массой m и длиной l лежит на стыке двух столов (рис. 60). Какую работу совершает сила F при равномерном перетаскивании бруска с одного стола на другой? Коэффициенты трения между бруском и столами μ_1 и μ_2 .
258. Шар массой 1 кг подвешен на нити длиной 1 м. В шар попадает пуля массой 10 г, летящая горизонтально со скоростью 400 м/с. Пуля пробивает шар и вылетает из него со скоростью 200 м/с. Оборвется ли нить, если она выдерживает максимальную силу натяжения 13 Н? Считайте, что за время взаимодействия с пулей шар не смещается.

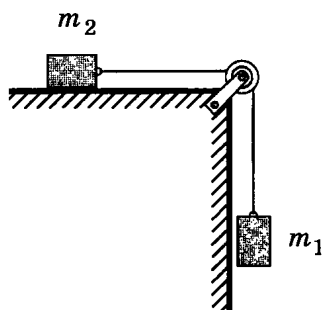


Рис. 59

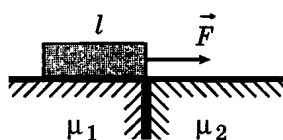


Рис. 60

Статика

Равновесие абсолютно твердых тел

Равновесие тел. Первое и второе условия равновесия твердого тела (§ 54—56)

259. При каком минимальном коэффициенте трения санки не будут скатываться с горки, если угол у ее основания равен 30° ?
260. Человек удерживает на веревке, перекинутой через блок, груз массой 20 кг, висящий посередине (рис. 61). Расстояние между точками A и B 3 м. Прогиб веревки 40 см. Определите силу, с которой веревка тянет человека вверх.
261. Определите силу T_1 , с которой должен тянуть воз рак, для того чтобы воз стоял на месте (рис. 62). Щука и лебедь тянут с силами $T_2 = 20$ Н и $T_3 = 60$ Н соответственно. Угол между векторами сил T_2 и T_3 равен 90° . Определите угол между векторами сил T_3 и T_1 .
262. Определите силы натяжения двух шнуров, на которых подвешена люстра массой 200 кг (рис. 63). Угол между первым шнуром и потолком 60° , а между вторым шнуром и стеной 90° .
263. Определите, в каких пределах может изменяться сила натяжения перекинутой через блок веревки, которая удерживает на наклонной плоскости груз массой 100 кг (рис. 64). Угол у основания наклонной плоскости 45° , коэффициент трения 0,4.
264. Через систему блоков перекинута нить, к одному из концов которой привязан груз массой m . Груз лежит на наклонной плоскости с углом у основания α (рис. 65). Коэффициент трения между поверхностями

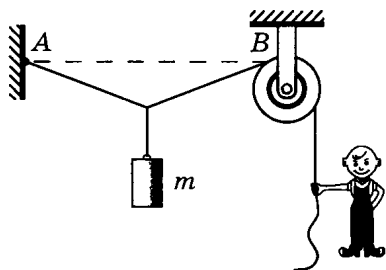


Рис. 61

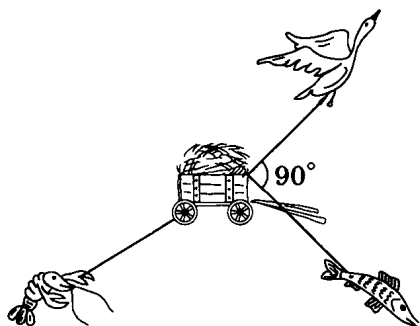


Рис. 62

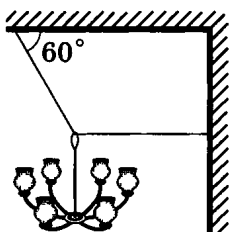


Рис. 63

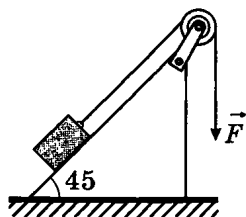


Рис. 64

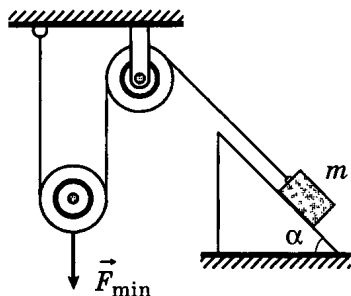


Рис. 65

ми груза и плоскости μ . Какой минимальной силой F_{\min} можно удержать систему в равновесии?

265. Между двумя палочками зажат мяч радиусом R (рис. 66). Коэффициент трения между поверхностями мяча и палочек μ , масса мяча m , угол между палочками 2α . С какой силой мяч давит на палочки?
266. Шарик прикреплен ниткой к палочке массой m и длиной l , подвешенной горизонтально на кольце из проволоки (рис. 67). Определите, на сколько надо передвинуть кольцо, чтобы палочка оставалась расположенной горизонтально, если шарик погрузить в жидкость плотностью ρ . Масса шарика m_0 , его объем V .
267. К стене прикреплена нить, намотанная на катушку (рис. 68). Катушка висит, касаясь стены, причем нить составляет со стеной угол $\alpha = 30^\circ$. Внутренний и внешний радиусы катушки $r = 1$ см и $R = 6$ см. Определите минимальный коэффициент трения между катушкой и стеной, при котором катушка неподвижна.
268. С какой минимальной горизонтальной силой надо потянуть за веревку, прикрепленную к верхнему основанию вертикально стоящего цилиндра массой m , чтобы опрокинуть его? Высота цилиндра h , а диаметр основания D .

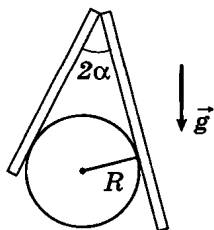


Рис. 66

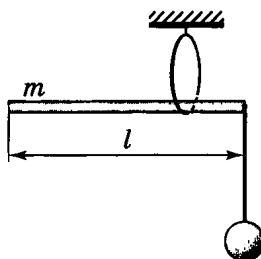


Рис. 67

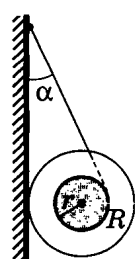


Рис. 68

269. Однородная балка массой $m = 30$ кг прикреплена с помощью шарнира к стене (рис. 69). Балка удерживается тросом, составляющим с ней угол $\alpha = 30^\circ$. К концу балки привязан груз массой $M = 315$ кг. Определите силу давления балки на шарнир и силу натяжения троса.

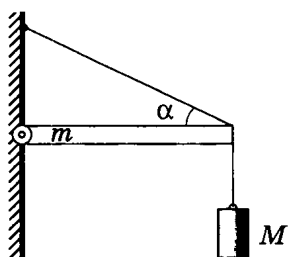


Рис. 69

270. Определите максимальную массу груза m_r , который можно подвесить к концу балки (рис. 70), закрепленной в стене, если стена выдерживает максимальную силу давления $F = 6000$ Н. Масса балки $m = 50$ кг, ее длина $l = 2,5$ м, глубина погружения балки в стену $l_0 = 0,5$ м.

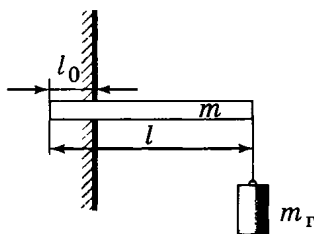


Рис. 70

271. Деревянный брус длиной l несут два человека. На человека, идущего сзади, нагрузка в 2 раза больше, чем на человека, идущего впереди и держащего бревно за конец. На каком расстоянии от конца бруса его держит второй человек?

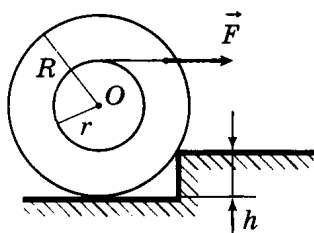


Рис. 71

272. Лестница длиной $l = 2$ м и массой $m = 10$ кг прислонена к стене под углом $\alpha = 60^\circ$ к полу. На какую максимальную высоту может подняться по этой лестнице человек массой $M = 70$ кг, чтобы лестница не сдвинулась? Коэффициенты трения между лестницей и полом, лестницей и стеной соответственно $\mu_1 = 0,4$ и $\mu_2 = 0,5$.
273. Катушку тянут за намотанный на нее провод (рис. 71), пытаясь поднять на ступеньку высотой h . Определите минимальное значение силы натяжения провода, при котором это можно сделать. Масса катушки m , внешний радиус катушки R , внутренний радиус r .
274. Стержень подвешен на нити, как показано на рисунке 72. При каком коэффициенте трения возможно такое положение? Длина нити равна длине стержня.
275. На гвозде, вбитом в стену, висит обруч массой m . Об-

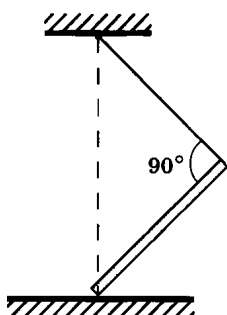


Рис. 72

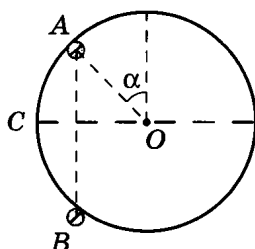


Рис. 73

руч отклоняют на угол α (рис. 73) и вбивают еще один гвоздь в точке B , симметричной точке A относительно горизонтальной линии OC . Определите силу давления на гвоздь в точке B .

Молекулярная физика. Тепловые явления

Основы молекулярно-кинетической теории

Основные положения молекулярно-кинетической теории. Молекулы (§ 58—62)

276. Капля масла объемом $0,003 \text{ мм}^3$ растеклась по поверхности воды тонким слоем и заняла площадь 300 см^2 . Определите диаметр молекулы. Считайте, что толщина слоя равна диаметру молекулы.
277. Для получения смеси воды и спирта объемом 100 см^3 при 15°C необходим спирт объемом 10 см^3 и вода объемом $90,7 \text{ см}^3$. Почему объем смеси меньше объема составляющих ее компонент?
278. Вычислите массу молекулы кислорода.
279. Сколько молекул содержится в воде объемом $V = 1 \text{ л}$?
280. В сосуде находится $5,418 \cdot 10^{26}$ молекул кислорода. Определите массу кислорода и количество вещества, находящееся в этом сосуде.
281. В сосуде находится азот. Количество вещества равно 200 моль. Определите массу азота.
282. Сколько молекул находится в одном стакане воды, если масса воды в стакане равна 200 г ?

283. В Мировом океане содержится приблизительно $1,3 \cdot 10^{18} \text{ м}^3$ воды. Если в Океан вылить стакан воды, всю воду перемешать, а затем зачерпнуть стакан воды, то сколько прежних молекул окажется вновь в этом стакане?
284. Сколько молекул содержится в водороде массой 10 г?
285. Определите отношение числа молекул в капельке ртути диаметром 2 мм и в капельке воды того же диаметра.
286. Относительная молекулярная масса кислорода равна 32. Отношение масс диоксида углерода CO_2 и кислорода O_2 одинаковых объемов при нормальных условиях (температура 0°C и давление $1,013 \cdot 10^5 \text{ Па}$) составляет $11/8$. Определите относительную молекулярную массу диоксида углерода.
287. При нормальных условиях в 1 см^3 любого газа содержится $2,68 \cdot 10^{19}$ молекул (число Ломмидта). Определите, какой объем в среднем занимает одна молекула, а также объем газа в количестве 1 моль при этих же условиях.
288. Кубическая кристаллическая решетка железа содержит один атом железа на элементарный куб, повторяя который можно получить всю решетку. Определите расстояние между атомами железа. Плотность железа $7,9 \text{ г/см}^3$, молярная масса 56 г/моль.
289. Кольцо массой 10 г изготовлено из сплава золота и серебра. Сколько атомов золота и серебра содержится в этом кольце, если серебра в нем по массе в 4 раза больше, чем золота?
290. Плотность 40%-ного водного раствора соляной кислоты 1200 кг/м^3 . Определите концентрацию молекул HCl в этом растворе.

Молекулярно-кинетическая теория газа (§ 63–65)

291. Молекула кислорода подлетает к стенке со скоростью 400 м/с и упруго ударяется о нее. Определите импульс силы, действовавшей на стенку в результате этого удара.
292. Молекулярный пучок азота летит перпендикулярно стенке и ударяется в нее. После соударения молекулы отскакивают от стенки с той же по модулю скоростью. Определите давление пучка на стенку, если скорость молекул 3000 м/с, а их концентрация $1,3 \cdot 10^{20} \text{ м}^{-3}$.
293. На пути молекулярного пучка находится стенка. Скорость молекул 10^3 м/с , их концентрация в пучке $5 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-3}$, а масса одной молекулы $3,3 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$.

- Определите давление, испытываемое при этом стенкой, если: 1) она неподвижна; 2) движется навстречу молекулярному пучку со скоростью 50 м/с.
294. Спутник сечением 1 м^2 движется по околоземной орбите на высоте 200 км. Определите число соударений молекул воздуха со спутником за 1 с. Атмосферное давление на этой высоте $1,37 \cdot 10^4 \text{ Па}$, а температура 1226 К.
295. С какой скоростью растёт толщина слоя серебра на неподвижной пластинке при напылении, если атомы серебра, обладая энергией 10^{-17} Дж , оказывают на пластинку давление 0,1 Па?
296. Группа состоит из 22 молекул. Две молекулы имеют скорость 10 м/с, семь — 15 м/с, четыре — 20 м/с, одна — 25 м/с, пять — 30 м/с, одна — 35 м/с, две — 40 м/с. Определите среднюю квадратичную скорость молекул.
297. Определите плотность газа при давлении $p = 10^6 \text{ Па}$, если средняя квадратичная скорость поступательного движения молекул $v_{\text{ср.кв}} = 5 \cdot 10^3 \text{ м/с}$.
298. Определите концентрацию молекул кислорода, если его давление 0,2 МПа, а средняя квадратичная скорость молекул 700 м/с.
299. При атмосферном давлении 10^5 Па плотность воздуха $1,29 \text{ кг/м}^3$. Определите среднюю квадратичную скорость молекул.
300. Как изменилось бы давление идеального газа, если при ударе его молекул о стенку они теряли бы половину своей скорости?
301. Предельное давление газа в неоновой лампе равно $1,5 \cdot 10^5 \text{ Па}$. Плотность неона в лампе равна $0,9 \text{ кг/м}^3$. Определите среднюю квадратичную скорость молекул неона при этом давлении.
302. Определите, во сколько раз средняя квадратичная скорость молекул водорода больше средней квадратичной скорости молекул кислорода, если энергии поступательного движения молекул равны.
303. Сколько молекул газа содержит сосуд объёмом 1 л, если средняя кинетическая энергия поступательного движения молекулы $6 \cdot 10^{-21} \text{ Дж}$? Давление в сосуде $2 \cdot 10^5 \text{ Па}$.
304. Молекула массой 10^{-24} кг движется со средней квадратичной скоростью 400 м/с. Определите изменение концентрации молекул при изменении давления от 10^5 до $4 \cdot 10^4 \text{ Па}$.
305. Докажите, что при любом абсолютно упругом ударе молекулы о стенку на стенку действует перпендикулярная ей сила.

Температура. Энергия теплового движения молекул

306. Температура в водоеме изменяется с глубиной от 20 до 16 °С и остается такой в течение длительного времени. Можно ли сказать, что такое состояние является равновесным?
307. Определите среднюю кинетическую энергию молекул неона и гелия при температуре $t = 27$ °С.
308. В сосуде содержалось N молекул газа при температуре T . Затем число молекул увеличили на 20%, а температуру уменьшили на 10%. На сколько процентов изменилось давление?
309. На сколько процентов изменится число молекул в комнате, если температура воздуха увеличится с $t_1 = 15$ °С до $t_2 = 27$ °С? Давление постоянно.
310. Как изменится давление в закрытом сосуде, если при повышении абсолютной температуры в 3 раза все молекулы водорода распадутся на атомы?
311. Температура — мера средней кинетической энергии молекулы. Можно ли сказать, что кинетическая энергия молекул — мера температуры?
312. В сосуде находится газ. Как изменится его давление и температура, если средняя скорость молекул увеличится на 30%?
313. Средняя кинетическая энергия молекулы одноатомного газа, находящегося в сосуде вместимостью $V = 4$ л, равна $\bar{E} = 3,2 \cdot 10^{-19}$ Дж. Давление газа в сосуде равно атмосферному. Определите число молекул газа в этом сосуде.
314. При температуре 300 К плотность газа 1,2 кг/м³, а средняя квадратичная скорость молекул 500 м/с. Определите концентрацию газа.
315. Оцените число молекул воздуха, попадающих на 1 см² стены комнаты за 1 мин. Температура воздуха в комнате 27 °С, давление 10⁵ Па, молярная масса воздуха 0,03 кг/моль.
316. Определите среднюю квадратичную скорость молекул гелия при температуре 100 °С.
317. На сколько изменится энергия теплового движения молекул неона при изменении температуры на 100 °С? Молярная масса неона 20 г/моль.
318. Средняя квадратичная скорость молекул равна 500 м/с. Какой объем займет газ массой 1 кг при атмосферном давлении 10⁵ Па?
319. Сколько молекул находится в объеме 10 м³ при температуре 27 °С и давлении 10⁵ Па?

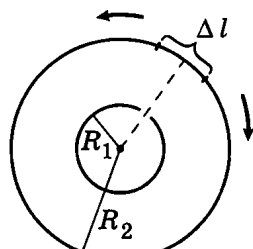


Рис. 74

320. В сосуде содержится N молекул газа при температуре T . Во сколько раз изменится давление газа, если увеличить число молекул в сосуде на $0,2N$ и уменьшить температуру газа на $0,2T$?
321. В опыте Штерна атомы серебра, вылетающие с поверхности раскаленной нити, проходят через щель внутреннего цилиндра и оседают на охлажденной стенке наружного цилиндра (рис. 74). Когда система цилиндров приводится в быстрое вращение, изображение щели смещается. Прибор вращается сначала в одну сторону, а затем в другую. При этом расстояние, измеренное между смещенными изображениями щели, равно $\Delta l = 2,66$ мм. Определите скорость атомов, если радиус внутреннего цилиндра $R_1 = 2$ см, внешнего — $R_2 = 8$ см, скорость вращения цилиндров $\omega = 283$ рад/с.
322. Скорость вращения цилиндров в опыте Штерна 20 рад/с. Расстояние между внутренним и внешним цилиндрами 10 см. Определите смещение полоски серебра при скорости атомов 300 м/с. Радиус внешнего цилиндра 63 см.

Уравнение состояния идеального газа. Газовые законы

Уравнение состояния идеального газа (§ 70)

323. В сосуде вместимостью 2 л находится кислород при температуре 27°C и давлении $2 \cdot 10^5$ Па. Определите массу кислорода в сосуде.
324. Какое давление необходимо создать, чтобы при температуре 0°C в объеме, равном 1 л, масса воздуха была равна 1 г? Эффективная молярная масса воздуха $M = 0,029$ кг/моль.
325. Сосуд, содержащий гелий массой $m = 1$ г, разрывается при температуре $t = 400^\circ\text{C}$. Определите максимальную массу азота, который можно хранить в таком сосуде при температуре $t_1 = 30^\circ\text{C}$, если при этом необходимо иметь пятикратный запас прочности.
326. Воздух в сосуде находится под поршнем, причем сосуд не вполне герметичен. Зависимость объема воздуха от температуры при постоянном давлении показана на рисунке 75. Что можно сказать о массе газа?

327. Баллон содержал гелий массой $m = 0,3$ кг. За время хранения абсолютная температура в баллоне уменьшилась на 10%, а давление упало на 20%. Сколько молекул гелия ушло из баллона?
328. Из баллона вместимостью 100 л со сжатым кислородом из-за неисправности крана уходит газ. При температуре 273 К манометр на баллоне показывает давление $2 \cdot 10^5$ Па. Через некоторое время при температуре 300 К манометр показывает то же давление. Определите массу кислорода, который ушел из баллона.
329. Азот массой 42 г находится под давлением $2 \cdot 10^5$ Па при температуре 17 °С. После изобарного расширения азот занял объем 40 л. Определите первоначальный объем азота и его конечную температуру.
330. Трехатомный газ находится в герметичном сосуде при температуре T_1 и давлении p_1 . Газ нагревают до температуры T_2 , при которой он полностью диссоциирует на атомы. Определите давление газа при температуре T_2 .
331. Для исследования верхних слоев атмосферы Венеры используется аэростатный зонд. Определите объем зонда V , когда он находится в равновесии на высоте, на которой давление равно $5 \cdot 10^4$ Па, а температура 10 °С. Считайте, что атмосфера Венеры состоит из углекислого газа CO_2 , а зонд наполнен гелием. Масса зонда 20 кг.
332. При изотермическом процессе плотность газа изменилась на $0,2$ кг/м³, а давление увеличилось на 0,4 атм. Первоначальное давление было равно 1 атм. Вычислите плотность газа в начале процесса.
333. По газопроводу с площадью сечения трубы 5 см² пропускают углекислый газ со скоростью 0,9 м/с. Определите температуру газа, если его давление 4 атм, а за 10 мин по газопроводу проходит газ массой 2 кг.
334. Из баллона выпустили половину газа, при этом температура понизилась от +127 до -73 °С. Во сколько раз понизилось давление в баллоне?
335. При температуре 295 К и давлении 10^5 Па плотность пара равна 2,4 кг/м³. Определите массу пара количеством вещества 1 моль, считая пар идеальным газом.
336. Вертикально установленный цилиндр с тяжелым поршнем площадью 100 см², движущимся без тре-

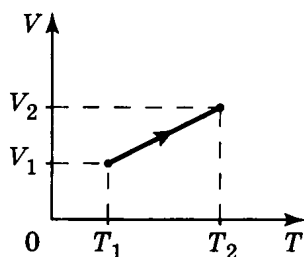


Рис. 75

ния, наполнен кислородом, масса которого 0,2 кг. При увеличении температуры на 100 К поршень поднялся на 50 см. Чему равна масса поршня? Атмосферное давление 10^5 Па.

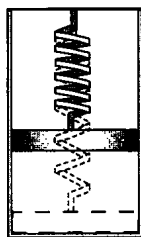


Рис. 76

337. В цилиндре на пружине подвешен поршень массой 20 кг и площадью поперечного сечения 200 см^2 . В положении равновесия поршень находится у дна сосуда. Под поршень закачивают воздух массой 29 г, при этом поршень поднимается на высоту 15 см. Определите жесткость пружины. Эффективная молярная масса воздуха $0,029 \text{ кг/моль}$, температура воздуха 17°C .
338. В запаянном цилиндре, из которого откачан воздух, на пружине подвешен поршень, масса которого очень мала. Когда поршень находится на дне сосуда, пружина не деформирована (рис. 76). При закачивании между дном цилиндра и поршнем воздуха при температуре 27°C поршень поднимается на высоту 10 см. Определите, на сколько поднимется поршень, если массу закачиваемого воздуха увеличить в 4 раза, а температуру повысить до 47°C .
339. Закрытый сосуд заполнен газом при температуре 300 К и давлении 150 кПа. Сосуд снабжен клапаном, открывающимся при давлении 200 кПа. Сосуд нагрели до 600 К. При этом из него вышел газ массой 10 г. Определите массу газа в сосуде до его нагрева.

Газовые законы (§ 71)

340. Газ изотермически сжимают от объема 4 л до объема 2 л. При этом давление возрастает на $1,5 \cdot 10^5$ Па. Определите начальное давление газа.
341. При изотермическом сжатии объем газа уменьшился на 0,5 л, а давление возросло на 10%. Определите начальный объем газа.
342. Газ перевели из состояния 1 в состояние 2 (рис. 77). Как изменилась температура газа?
343. Со дна водоема глубиной 80 м поднимается вверх пузырек воздуха. Атмосферное давление 10^5 Па. На какой глубине радиус пузырька увеличится в 2 раза? Температуру воздуха в пузырьке считайте постоянной.

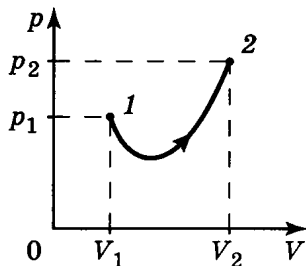


Рис. 77

344. Трубку длиной 80 см наполовину погружают в ртуть, затем герметично закрывают сверху и вынимают. Определите длину столбика ртути, который останется в трубке. Атмосферное давление 10^5 Па, плотность ртути $13,6 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.
345. Пробирку длиной $l = 80$ см погружают открытым концом в сосуд с водой на глубину $\frac{l}{2}$. Определите разность уровней воды в пробирке и сосуде.
346. Аквалангист, находясь на глубине $h = 15$ м, вдохнул воздух и заполнил $\frac{2}{3}$ объема легких. До какого объема расширятся легкие, если он, не выдохнув, всплывет на поверхность? Плотность воды $1,1 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$. Объем легких аквалангиста 5 л.
347. Цилиндрический стакан высотой 10 см, в который налита вода до уровня 6 см, плавает на поверхности воды, причем его края находятся на уровне воды (рис. 78). Из стакана выливают воду и опускают его в сосуд вверх дном, при этом стакан плавает на некоторой глубине. На какой глубине находится дно стакана?
348. Баллон вместимостью 50 л наполнили воздухом до давления 10 МПа. Какой объем воздуха можно вытеснить из цистерны подводной лодки с помощью этого баллона на глубине 40 м. Температура воздуха не меняется.
349. Узкая трубка, запаянная с одного конца, содержит воздух, отделенный от наружного воздуха столбиком ртути. Если трубка повернута запаянным концом вниз, то высота столбика воздуха l_1 ; если трубка повернута запаянным концом вверх, то высота столбика воздуха l_2 . Высота столбика ртути h , плотность ртути $\rho_{\text{рт}}$. Определите атмосферное давление воздуха.
350. Газ перешел из состояния 1 в состояние 2 (рис. 79). Как изменилось давление газа?
351. В процессе изобарного расширения газа его объем увеличился на 10%. Начальная тем-

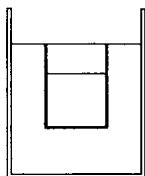


Рис. 78

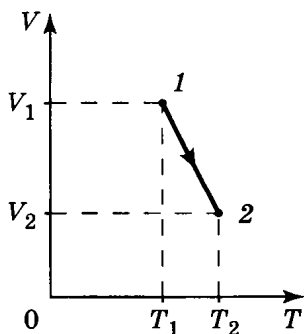


Рис. 79

пература газа была равна 7°C . Определите конечную температуру газа.

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

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

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

сосуда?

355. В комнате размером $5 \times 6 \times 3$ м температура повысилась от 15 до 25°C . Определите объем воздуха, который вышел при этом из комнаты. Давление считайте постоянным, $p=10^5$ Па, $M=0,029$ кг/моль.

356. Газ переходит из состояния 1 в состояние 2 (рис. 80). Как изменяется объем газа? Масса газа постоянна.

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

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

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

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

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

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

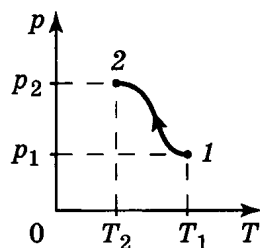


Рис. 80

363. В пятилитровый сосуд, стенки которого рассчитаны на давление 2 МПа, закачали кислород массой 70 г. Выдержат ли стенки, если температура кислорода 300 °С?
364. Газ, имеющий температуру 300 К и объем 5 л, изохорно нагрели до температуры 350 К. Затем газ изотермически расширили до объема 8 л, при этом его давление упало до 80 кПа. Определите первоначальное давление газа.
365. При температуре 15 °С и давлении 720 мм рт. ст. гелий занимает объем 3 л. Определите объем гелия при давлении 780 мм рт. ст. и температуре 25 °С. Масса газа постоянна.
366. Воздух в открытом сосуде медленно нагрели от 20 до 200 °С, а затем, герметически закрыв сосуд, охладили до прежней температуры. Изобразите последний процесс на $p - V$, $p - T$ и $V - T$ диаграммах.
367. В вертикально расположенном цилиндре с площадью сечения 100 см² под поршнем, массой которого можно пренебречь, находится воздух при температуре 0 °С. На поршень ставят гирию массой 10 кг, при этом поршень опускается. На сколько градусов надо повысить температуру воздуха, чтобы поршень вернулся в прежнее положение? Атмосферное давление нормальное.
368. На рисунке 81 дан график изменения состояния идеального газа в координатах $p - V$. Изобразите переход газа из состояния 1 в состояние 4 на графиках в координатах $p - T$ и $V - T$.
369. На рисунке 82 дан график изменения состояния идеального газа в координатах $p - V$. Изобразите эти процессы на графиках в координатах $p - T$ и $V - T$. Точки 2 и 3 принадлежат гиперболе.
370. На рисунке 83 показан цикл, совершаемый над газом. Определите отношение максимальной плотности

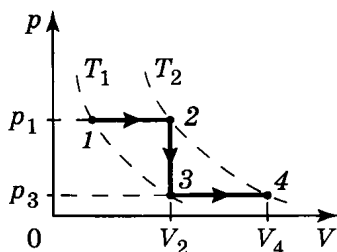


Рис. 81

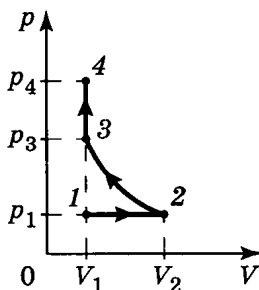


Рис. 82

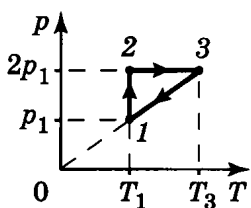


Рис. 83

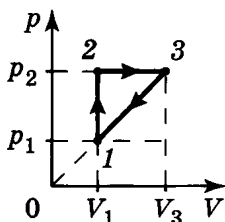


Рис. 84

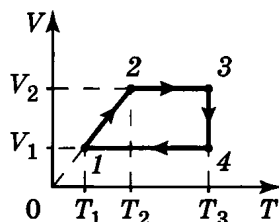


Рис. 85

газа к его минимальной плотности, достигаемых в ходе этого цикла.

371. На рисунке 84 показан цикл, совершаемый над идеальным газом. Температуры в состояниях 1 и 3 соответственно равны 300 и 400 К. Определите температуру газа в состоянии 2. Масса газа постоянна.
372. На рисунке 85 на графике в координатах $V - T$ показан цикл, совершаемый над идеальным газом. Изобразите этот цикл на графиках в координатах $p - V$ и $p - T$.

Взаимные превращения жидкостей и газов

373. При нагревании воды сначала вы слышите шипение, затем звук становится более резким. А в конце перед кипением звук становится мягче. Объясните изменение звука при нагревании воды.
374. Почему для ускорения процесса охлаждения горячей жидкости на нее дуют?
375. Можно ли увеличить концентрацию и давление насыщенного пара, если медленно поднимать поршень? Поршень находится над поверхностью жидкости в сосуде. Над жидкостью находится только пар.
376. На графиках в координатах $p - V$ и $p - T$ изобразите зависимость давления насыщенного водяного пара от температуры и от объема при $t = 20^\circ\text{C}$.
377. В комнате объемом 200 м^3 при температуре 20°C относительная влажность 50%. Определите массу водяных паров в комнате. Давление насыщенных паров при этой температуре 2,33 кПа.
378. Относительная влажность воздуха при температуре 20°C равна 70%. Чему будет равна относительная влажность, если воздух нагреть в закрытом помещении до 50°C ? При 20°C давление насыщенных паров воды 2,33 кПа, при 50°C давление 12,3 кПа. Чему будет равна относительная влажность, если воздух охладить до 10°C ?

379. В комнате объемом 60 м^3 относительная влажность воздуха 30% , а температура 20°C . Оптимальной для комфорта считается влажность от 40 до 50% . Определите массу воды, которую надо испарить для создания комфортных условий. При 20°C давление $2,33 \text{ кПа}$.
380. В закрытом сосуде вместимостью 8 л , из которого откачали воздух, находится вода массой 36 г при температуре 0°C . Каким будет давление в сосуде, если его нагреть до температуры 100°C ?
381. Определите относительную влажность воздуха при температуре $t_1 = 20^\circ\text{C}$, если металлические предметы, имеющие температуру $t_2 = 5^\circ\text{C}$, запотевают в нем. Давление насыщенного пара при t_1 и t_2 равно соответственно $17,5$ и 6 мм рт. ст.
382. В комнате объемом 60 м^3 при температуре 18°C относительная влажность воздуха 50% . Определите массу воды, которую надо испарить, чтобы пар в комнате стал насыщенным?
383. Человек при частоте дыхания $N = 10$ раз в минуту при каждом вдохе вдыхает воздух объемом 1 л при температуре 27°C и относительной влажности 30% , а выдыхает при температуре 36°C и относительной влажности 100% . Определите массу воды, которая теряется организмом за сутки в процессе дыхания. Давление насыщенного пара при t_1 и t_2 равно соответственно $3,6$ и 6 кПа .
384. Относительная влажность воздуха при температуре 27°C равна 75% . Во сколько раз изменится относительная влажность, если температура упадет до 10°C ?
385. Точка росы — температура, при которой пар становится насыщенным. Дальнейшее понижение температуры приводит к конденсации пара. При температуре $t_1 = 20^\circ\text{C}$ относительная влажность воздуха 20% . На сколько должна увеличиться абсолютная влажность, чтобы выпала роса?
386. Днем температура воздуха была 20°C , относительная влажность 60% . Ночью температура понизилась до 10°C . Выпала ли ночью роса?
387. Температура воздуха 20°C , относительная влажность 80% . Определите массу росы, которая выпадет из 1 м^3 при понижении температуры воздуха до 12°C .

Основы термодинамики

Внутренняя энергия. Работа газа (§ 77, 78)

388. Гелий массой 50 г нагревают на 50°C при постоянном давлении. Определите изменение внутренней энергии и количество теплоты, сообщенной газу.
389. Газ изобарно нагрелся, при этом его объем увеличился в 2 раза. Определите, во сколько раз увеличилась внутренняя энергия газа.
390. Определите внутреннюю энергию одноатомного газа, занимающего объем 1 л. Начальное давление газа 1 атм. Изменяется ли при изотермическом расширении средняя кинетическая энергия молекул газа и его внутренняя энергия?
391. Идеальный одноатомный газ сначала изотермически расширяется, а затем изохорно нагревается до начального давления 10^5 Па. Изменение объема, занимаемого газом, 2 л. Определите изменение внутренней энергии газа.
392. На рисунке 86 показан график зависимости давления от объема при переходе идеального одноатомного газа из состояния 1 в состояние 3. Определите изменение внутренней энергии при процессах 1—2, 2—3 и 1—3.
393. Определите изменение внутренней энергии при переходе газа из состояния 1 в состояние 2 при процессах I и II (рис. 87).
394. Азот массой 1 кг изобарно нагревают на 100 К при давлении $2 \cdot 10^5$ Па. Определите работу при расширении азота, изменение его объема и внутренней энергии, а также количество теплоты, сообщенное азоту. Удельная теплоемкость азота 742 Дж/(кг · К).

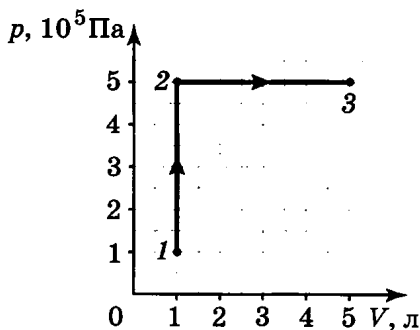


Рис. 86

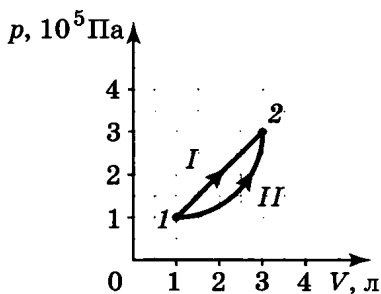


Рис. 87

395. Объем одноатомного газа изменяется по закону $V = \alpha T$, где α — коэффициент пропорциональности ($\alpha = \text{const}$). При этом температура газа в начальном состоянии равна 0°C , в конечном — 100°C . Определите количество теплоты, сообщенное газу, работу газа и изменение его внутренней энергии. Количество вещества газа 2 моль.
396. Состояние идеального газа изменяется по закону $p = \alpha V$. Определите работу идеального газа при повышении его температуры от T_1 до T_2 . Количество вещества газа 1 моль.
397. В сосуде находится газ неон, который изобарно расширяется при подведении к нему количества теплоты $Q = 100$ кДж. Чему равна работа, совершенная газом при его расширении? На сколько изменится внутренняя энергия неона?
398. Определите работу, совершенную идеальным газом количеством вещества 1 моль при переходе из состояния 1 в состояние 4 (рис. 88). Температура в состоянии 1 равна T_1 . Отношение $p_2/p_1 = 2$.
399. Газ был нагрет при постоянном давлении от температуры 285 до температуры 360 К. Определите работу, которую совершил газ, если его начальное давление $1,9 \cdot 10^5$ Па, а начальный объем 6 м³.
400. Идеальный одноатомный газ, занимающий объем $V_1 = 2$ м³, расширяется. При этом на $p - V$ диаграмме (рис. 89) расширение описывается прямой линией, продолжение которой пересекает ось ординат в точке $p_0 = 0,5 \cdot 10^5$ Па, начальное давление $p_1 = 10^5$ Па. Определите объем газа в конце расширения, если известно, что газ совершил работу $A = 6 \cdot 10^5$ Дж.
401. Воздух, занимающий объем 120 л, изобарно нагрели до температуры 500 К и объема 200 л. Масса воздуха 0,58 кг, молярная масса 0,029 кг/моль. Определите работу, совершенную воздухом.

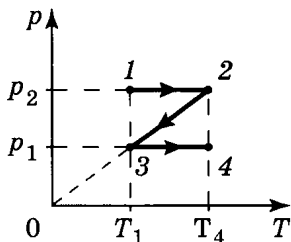


Рис. 88

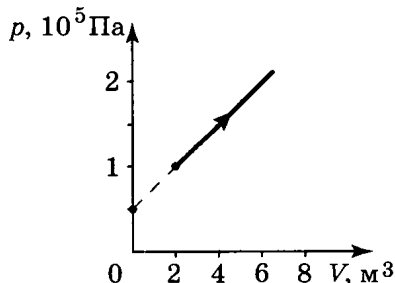


Рис. 89

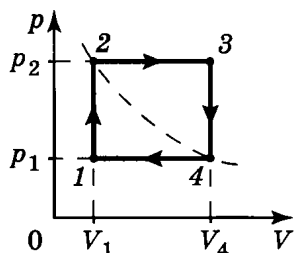


Рис. 90

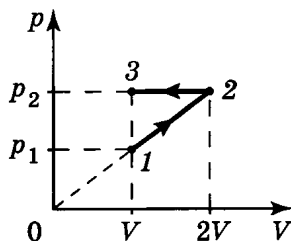


Рис. 91

402. На рисунке 90 в координатах $p - V$ изображен цикл, состоящий из двух изохор и двух изобар. Температуры газа в состояниях 1 и 3 равны T_1 и T_3 . Точки 2 и 4 принадлежат одной изотерме. Определите работу газа за цикл.
403. Идеальный газ расширяется до удвоенного объема в процессе 1—2 с линейной зависимостью давления от объема (рис. 91). Затем его изобарно сжимают в процессе 2—3 до первоначального объема. Определите отношение работ, совершаемых газом в процессах расширения и сжатия.

Количество теплоты (§ 79)

404. Какое количество теплоты потребуется для того, чтобы нагреть кусочек олова массой 10 г от комнатной температуры, равной 22°C , до температуры плавления ($t_{\text{пл}} = 232^\circ\text{C}$)? Удельная теплоемкость олова $280 \text{ Дж/кг} \cdot \text{K}$.
405. Определите энергию, затрачиваемую человеком, который, выпрямляя стальную проволоку массой 100 г, бьет молотком. При этом проволока нагревается на 10°C . Считайте, что на нагревание проволоки идет 60% механической энергии.
406. Какое количество теплоты отдает нагретый чайник, внесенный в комнату, если температура в комнате повышается на $0,005^\circ\text{C}$? Плотность воздуха $1,29 \text{ кг/м}^3$, теплоемкость воздуха $1010 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{K)}$. Размер комнаты $3 \times 4 \times 3 \text{ м}$.
407. Имеются два сосуда с водой. В одном из них температура воды 20°C , в другом температура 100°C . Воду из этих двух сосудов сливают в третий, при этом температура воды оказывается равной 40°C . Определите отношение масс воды в первом и втором сосудах. Потери тепла не учитывайте.
408. Железный шарик падает с высоты 10 м на идеально гладкую горизонтальную поверхность и отскакивает

от нее на высоту 1 м. На сколько повысится температура шарика после удара, если на его нагревание идет 80% выделившейся энергии?

409. Два одинаковых железных шарика движутся навстречу друг другу со скоростями 10 и 20 м/с. На сколько повысится температура шариков вследствие неупругого центрального удара, если на нагревание идет половина выделившейся при ударе энергии?
410. Определите массу пара при 100 °С, который надо впустить в сосуд с водой массой 1 кг, находящейся при температуре 20 °С, чтобы температура воды стала равна 80 °С.
411. На плиту поставили чайник и забыли о нем. Вода в чайнике закипела за 15 мин. За какое время вода в чайнике выкипит? Температура воды, когда ее налили в чайник, была 10 °С. Теплообменом с окружающей средой при расчетах пренебречь.
412. Определите отношение количества теплоты, отдаваемой паром при конденсации, и количества теплоты, выделяемой водой при остывании на 50 °С. Массы пара и воды равны.
413. В сосуде, из которого быстро откачивают воздух, находится немного воды массой m при температуре 0 °С. За счет интенсивного испарения оставшаяся вода массой m_2 замораживается. Какая часть воды превратилась в лед?
414. Кусок олова массой 1 кг расплавился наполовину при сообщении ему количества теплоты 69 кДж. Вычислите начальную температуру олова.
415. В калориметр, в котором находится лед массой 1 кг при температуре 0 °С, подается пар при температуре 100 °С. Определите массу воды, которая окажется в калориметре после того, как лед растает.
416. В воду, занимающую объем 4 л и нагретую до температуры 20 °С, брошен кусок льда массой 250 г при температуре 0 °С. Определите температуру воды после того, как лед растает.
417. В калориметр, в котором находится лед массой 1 кг при температуре -30 °С, наливают 0,5 л воды массой m_2 при температуре 60 °С. Определите температуру, которая установится в калориметре.
418. На кусок льда массой 10 кг при температуре -9 °С направили струю водяного пара при температуре 100 °С. Определите массу пара, если весь лед превратился в воду.
419. На кусок льда массой 100 г, находящийся в калориметре при температуре -2 °С, положили железный шарик массой 130 г при температуре 800 °С. Опре-

делите температуру, которая установится в калориметре. Удельная теплоемкость железа и льда соответственно равна 450 и $2,1 \cdot 10^3$ Дж/(кг · К).

420. К чайнику с кипящей водой подводится ежесекундно энергия, равная 1,13 кДж. Определите скорость истечения пара из носика чайника, площадь поперечного сечения которого равна 1 см^2 . Плотность водяного пара 1 кг/м^3 .
421. На зажженную спиртовку поставили сосуд, в который налита вода массой 500 г при температуре 20°C . Через какое время выкипит часть воды массой 20 г, если в спиртовке за время 1 мин сгорает 4 г спирта, а КПД спиртовки 60%? Теплотворная способность спирта $2,93 \cdot 10^7$ Дж/кг.
422. На сколько километров пути хватит бензина ($V = 40$ л) для автомобиля при скорости его движения 72 км/ч, если мощность двигателя $2 \cdot 10^4$ Вт, а КПД двигателя 25%?
423. При сгорании бензина массой 1 кг выделяется энергия $4,6 \cdot 10^7$ Дж/кг. Расход бензина — 7 кг на 50 км пути. Какую мощность развивает двигатель при скорости автомобиля 72 км/ч, если КПД двигателя 25%?

Первый закон термодинамики (§ 80, 81)

424. Газ расширяется от объема V_1 до объема V_2 один раз изотермически, второй раз изобарно и третий раз адиабатно. При каком из процессов: 1) газ совершает большую работу ($A_T, A_p, A_{ад}$); 2) газу передается большее количество теплоты ($Q_T, Q_p, Q_{ад}$)?
425. Внутренняя энергия газа уменьшилась на 300 Дж, при этом газ совершил работу 450 Дж. Определите количество теплоты, сообщенное газу.
426. На рисунке 92 изображен график зависимости p от V при переходе газа из состояния 1 в состояние 2. Определите: 1) работу газа; 2) изменение внутренней энергии; 3) количество теплоты, сообщенное газу. Как при этом процессе изменилась температура газа?
427. Какое количество теплоты сообщили одноатомному газу количеством вещества 1 моль, если при изобарном расширении он нагрелся на 10 К?

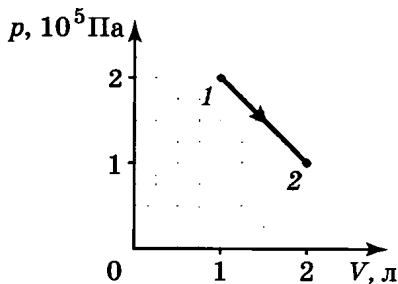


Рис. 92

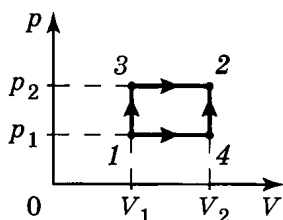


Рис. 93

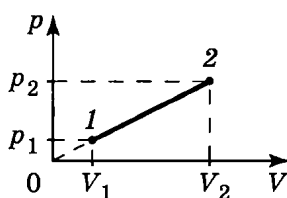


Рис. 94

428. Определите, какой газ находится в сосуде, если при нагревании этого газа массой 1 кг на 1°C при постоянном давлении расходуется 912 Дж, а при постоянном объеме — 649 Дж.
429. Идеальный газ количеством вещества 1 моль сначала нагревается при постоянном давлении, а затем при постоянном объеме переводится в состояние с температурой $T_1 = 300\text{ K}$, которая равна начальной. Газу при этом сообщается количество теплоты $Q = 2,27 \cdot 10^4\text{ Дж}$. Во сколько раз изменяется объем газа?
430. До какой температуры вследствие адиабатного сжатия нагреется гелий массой 0,12 кг, находившийся в исходном состоянии при температуре 295 К, если при этом внешними силами была совершена работа, равная $4,15 \cdot 10^3\text{ Дж}$?
431. Идеальный одноатомный газ количеством вещества 1 моль совершает процесс, при котором давление растет пропорционально объему по закону $p = \alpha V$. Газу сообщают количество теплоты 33,2 Дж. На сколько изменяется температура газа?
432. Газ переводят из состояния 1 в состояние 2, для чего используют изохорный и изобарный процессы (рис. 93). При этом $V_2 = 2V_1$, $p_2 = 2p_1$. Определите отношение количеств теплоты, необходимой для совершения перехода из состояния 1 в состояние 2 в одном случае через состояние 3, в другом — через состояние 4. Газ одноатомный.
433. Определите количество теплоты, переданной одноатомному газу при переходе его из состояния 1 в состояние 2, как показано на рисунке 94, если $p_1 = 500\text{ кПа}$, $V_1 = 1\text{ л}$, $V_2 = 4\text{ л}$.

Тепловые двигатели (§ 84)

434. Тепловой двигатель производит энергию 7250 Дж, при этом совершая полезную работу 2250 Дж. Определите КПД цикла.

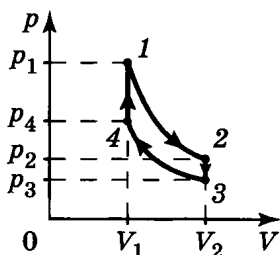


Рис. 95

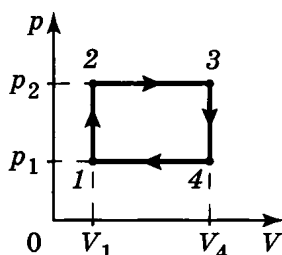


Рис. 96

435. Рабочее тело идеальной тепловой машины получило от нагревателя количество теплоты 70 кДж при температуре $627 \text{ }^\circ\text{C}$. Температура холодильника $27 \text{ }^\circ\text{C}$. Определите наибольший КПД машины и количество теплоты, отданной холодильнику.
436. Определите КПД цикла, состоящего из двух адиабат и двух изохор (рис. 95), если известно, что $T_2 = 0,75T_1$, $T_3 = 0,75T_4$.
437. На рисунке 96 показан цикл, состоящий из двух изохор и двух изобар, который совершает газ количеством вещества 1 моль . Определите КПД цикла, если известно, что температура в состоянии 1 256 К , в состоянии 3 625 К , в состояниях 2 и 4 температуры одинаковы.
438. На рисунке 97 изображен график цикла, состоящего из изохоры 1—2, адиабаты 2—3 и изобары 3—1. При этом в качестве рабочего вещества используется одноатомный газ. Известно, что $V_3 = 1,93V_1$. Определите КПД цикла.
439. На рисунке 98 изображен график цикла, состоящего из изохоры 1—2, изотермы 2—3 и изобары 3—1. В качестве рабочего вещества используется одноатомный газ количеством вещества 4 моль . Опре-

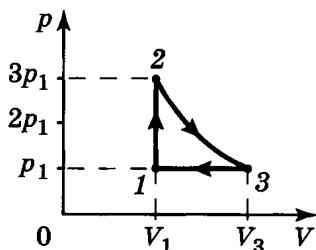


Рис. 97

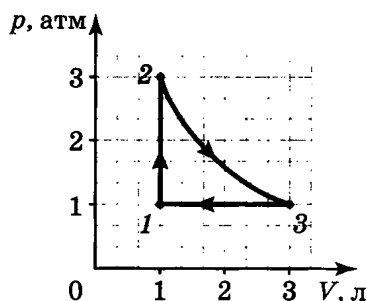


Рис. 98

делите КПД цикла, если известно, что $p_1 = 1$ атм, $V_1 = 1$ л, а при изотермическом процессе газ совершает работу 330 Дж.

440. В котле паровой машины температура равна 160°C , а температура холодильника равна 10°C . Определите максимальную работу, которую можно получить от машины, считая ее идеальной, если в топке, КПД которой 60%, сожжено 200 кг угля с удельной теплотой сгорания $2,9 \cdot 10^7$ Дж/кг.
441. Паровая машина мощностью 14,7 кВт потребляет за 1 ч работы 8,1 кг угля с удельной теплотой сгорания $3,3 \cdot 10^7$ Дж/кг. Температура котла (нагревателя) 200°C , а холодильника 58°C . Определите КПД машины и сравните его с КПД идеальной тепловой машины, работающей при тех же температурах нагревателя и холодильника.
442. Идеальная тепловая машина имеет температуру нагревателя 400 К , а температуру холодильника 300 К . Определите, какую мощность развивает эта машина, если расход топлива 10^{-3} кг/с, его удельная теплота сгорания $4 \cdot 10^7$ Дж/кг.
443. С идеальным одноатомным газом проводят циклический процесс (рис. 99). Определите КПД цикла.
444. Идеальная тепловая машина с КПД, равным 40%, работает по обратному циклу, т. е. у холодильника отбирается количество теплоты Q_2 , а нагревателю передается количество теплоты Q_1 . При этом внешними силами совершается положительная работа (рабочее тело двигателя в этом случае совершает отрицательную работу). Какое максимальное количество теплоты можно отобрать у холодильника, совершая работу 400 Дж?
445. Холодильный коэффициент — отношение количества теплоты, отобранной у холодильника, к работе, совершаемой внешними силами. Определите количество теплоты, переданной воздуху при работе холодильника мощностью P , и холодильный коэффициент, если вода массой m , поставленная в него при температуре t_1 , замерзает за время τ , c_d — удельная теплоемкость льда, λ — удельная теплота плавления льда.
446. Можно ли, открыв дверцу работающего холодильника, охладить воздух в комнате?

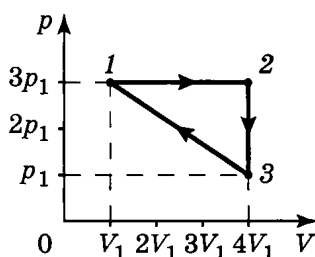


Рис. 99

Основы электродинамики

Электростатика

Электрический заряд (§ 86—90)

447. Во сколько раз сила кулоновского взаимодействия двух протонов больше силы их гравитационного взаимодействия?

448. Как взаимодействуют заряды q_2 и q_3 , если заряды q_1 и q_2 притягиваются друг к другу, а заряд q_1 отталкивается от заряда q_3 (рис. 100)?

449. Толстую незаряженную металлическую пластинку поместили около положительно заряженного шарика (рис. 101). На пластинке будет происходить перераспределение заряда. Чему будет равен заряд поверхности пластинки со стороны шарика? Изменится ли суммарный заряд пластинки?

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

451. Определите заряд двух капель воды, если сила кулоновского отталкивания равна силе их гравитационного притяжения. Радиусы капель $r = 2$ мм.

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

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

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

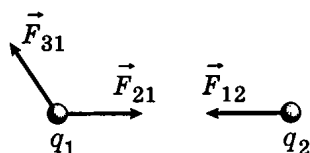


Рис. 100

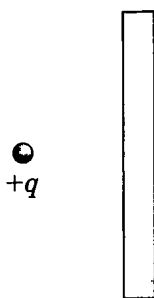


Рис. 101

455. На нити висит заряженный шарик массой 20 г. Какой заряд q_2 надо поместить на расстоянии 5 см от шарика, чтобы вес шарика уменьшился в 2 раза? Заряд шарика 10^{-6} Кл.
456. В вершинах квадрата находятся одинаковые положительные заряды q . Какой должен быть заряд, помещенный в центр квадрата, чтобы вся система зарядов находилась в равновесии? Будет ли равновесие устойчивым?
457. Два маленьких шарика одинаковой массы, каждому из которых сообщили заряд $9 \cdot 10^{-7}$ Кл, подвешены на нитях длиной 1 м. Угол, на который разошлись нити, равен 60° . Определите массы шариков.
458. Заряды -8 и 2 мкКл находятся на расстоянии 80 см друг от друга. Где надо поместить третий заряд, чтобы система зарядов находилась в равновесии?
459. Три одинаковых небольших шарика находятся в углах равностороннего треугольника и соединены нерастянутыми пружинами длиной 20 см (рис. 102). Каждому шарика сообщается одноименный заряд $2 \cdot 10^{-7}$ Кл, при этом пружины растягиваются на 0,5 см. Определите жесткости пружин.
460. Два шарика, массой 10 г каждый, соединены длиной (L) и короткой (l) нитями, при этом $L = 2l$. Заряд каждого шарика $5 \cdot 10^{-7}$ Кл. Систему начинают поднимать за середину длинной нити (рис. 103) вверх с ускорением $a = g$. Определите натяжение короткой нити, если ее длина 10 см.

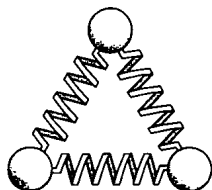


Рис. 102

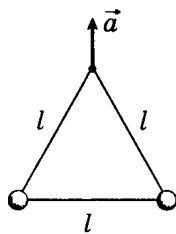


Рис. 103

Электрическое поле (§ 92—94)

461. Определите напряженность электрического поля в точке, удаленной от точечного заряда на 2 м, если на расстоянии, равном 20 см от него, напряженность поля равна $4 \cdot 10^{-4}$ В/м. Определите также заряд, создающий поле.
462. Определите напряженность поля, создаваемого двумя точечными зарядами $q_1 = 4 \cdot 10^{-7}$ Кл и $q_2 = -4 \cdot 10^{-7}$ Кл (рис. 104), на оси симметрии в точке А на расстоянии, равном 10 см от линии, соединяющей заряды. Расстояние между зарядами 20 см.

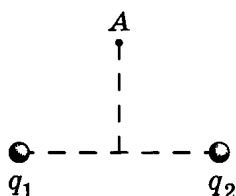


Рис. 104

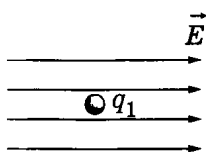


Рис. 105

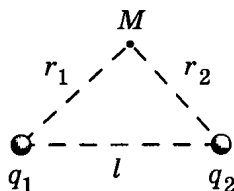


Рис. 106

463. Три заряда $q_1 = q_2 = 4 \cdot 10^{-8}$ Кл и $q_3 = -8 \cdot 10^{-8}$ Кл поместили в вершинах равностороннего треугольника со стороной $a = 30$ см. Определите напряженность поля в центре треугольника.
464. Заряд q_1 находится в однородном электрическом поле напряженностью E (рис. 105). На каком расстоянии надо поместить такой же по модулю заряд, чтобы заряд q_1 находился в покое?
465. Определите напряженность электрического поля, создаваемого в точке M зарядами $q_1 = 2 \cdot 10^{-12}$ Кл и $q_2 = 4 \cdot 10^{-12}$ Кл (рис. 106). Расстояние между зарядами $l = 5$ см, расстояния от точки M до зарядов q_1 и q_2 соответственно $r_1 = 4$ см и $r_2 = 3$ см.
466. В горизонтальном электрическом поле с напряженностью $2,83 \cdot 10^5$ В/м на нити висит маленький шарик массой 5 г. Шарiku сообщили заряд, равный 10^{-7} Кл. Определите угол, на который нить отклонилась от вертикали.
467. Вычислите максимальный вращательный момент, действующий на диполь (электрон — протон) в однородном электрическом поле, напряженность которого $E = 100$ В/м. Расстояние между зарядами диполя $d = 5 \cdot 10^{-11}$ м.
468. Заряд q влетает в однородное электрическое поле напряженностью E под углом α к силовым линиям этого поля. На каком расстоянии l от места попадания заряда в поле его скорость станет перпендикулярна силовым линиям поля? Начальная скорость заряда v_0 , его масса m .
469. После включения на некоторое время электрического поля вектор скорости частицы v_0 повернулся на угол $\varphi = 60^\circ$, а числовое значение скорости увеличилось вдвое. На какой угол α повернулся бы вектор скорости, если бы заряд частицы был вдвое больше?
470. Скорость установившегося движения шарика, несущего заряд $q = 10^{-6}$ Кл в сосуде с глицерином, $v = 2$ м/с. Сила сопротивления движению шарика

пропорциональна его скорости ($F_{\text{сопр}} = 1,5 \cdot 10^{-4} v$). Суд помещают в электрическое поле напряженностью $E = 10^2$ В/м, силовые линии которого направлены вертикально, причем в первом случае направления поля и ускорения свободного падения совпадают, во втором противоположны. Определите отношение скоростей установившегося движения шарика.

Проводники и диэлектрики в электрическом поле (§ 95—97)

471. Определите напряженность электрического поля заряженного проводящего шарика радиусом 4 см в точках на расстояниях 2 и 10 см от его центра. Заряд шарика равен 10^{-7} Кл.
472. Радиусы проводящего шара и проводящей тонкой сферы равны 4 см. Заряды шара и сферы одинаковы и равны $4 \cdot 10^{-9}$ Кл. Определите напряженность электрического поля в точках, находящихся на расстояниях 2, 4 и 8 см от центра шара и сферы.
473. Постройте график зависимости напряженности электрического поля заряженного проводящего шара радиусом 10 см от расстояния от его центра. Заряд шара 10^{-9} Кл.
474. Заряженная проводящая сфера радиусом 10 см окружена проводящей оболочкой с внутренним радиусом 15 см, а внешним 25 см (рис. 107). Заряд сферы равен 10^{-8} Кл. Определите напряженность электрического поля в точках A , B и C , если $r_A = 10$ см, $r_B = 20$ см, $r_C = 30$ см. Постройте график зависимости напряженности электрического поля от расстояния от центра сферы.
475. Проводящая сфера радиусом 5 см окружена диэлектрической оболочкой, внутренний радиус которой 10 см, а внешний 15 см. Напряженность электрического поля уменьшается в диэлектрике в 7 раз (стекло). Определите напряженность в точках A , B , C и D ; постройте график зависимости напряженности электрического поля от расстояния от центра сферы, если заряд сферы 10^{-7} Кл, $r_A = 2$ см, $r_B = 9$ см, $r_C = 12$ см, $r_D = 20$ см.
476. Проводящая сфера, заряд которой $4 \cdot 10^{-7}$ Кл, окружена проводящей оболочкой, несущей

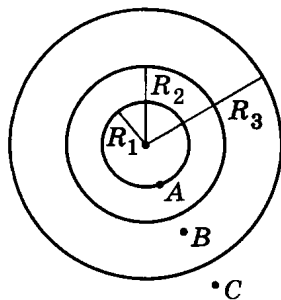


Рис. 107

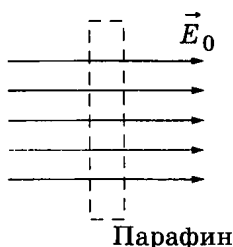


Рис. 108

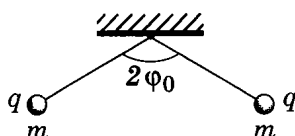


Рис. 109

- заряд $-4 \cdot 10^{-7}$ Кл. Радиус сферы 4 см, внутренний и внешний радиусы оболочки 8 и 10 см. Определите напряженность электрического поля в точках A , B , C и D , если $r_A = 2$ см, $r_B = 5$ см, $r_C = 9$ см, $r_D = 12$ см.
477. Точечный заряд $q = 10^{-7}$ Кл помещен на расстоянии 3 см от тонкой бесконечной проводящей пластины. Определите силу притяжения заряда к пластине.
478. Напряженность электрического поля в воздухе \vec{E}_0 , в парафине в 2 раза меньше, чем в воздухе. Изобразите картину силовых линий однородного электрического поля, если перпендикулярно полю ввести парафиновую пластину (рис. 108).
479. Напряженность электрического поля в керосине уменьшается в 2 раза. Определите силу взаимодействия двух зарядов в керосине, если в вакууме она равна $1,4 \cdot 10^{-5}$ Н.
480. Два одинаково заряженных шарика, каждый массой 200 г и радиусом 2 см, висят на двух одинаковых нитях, угол между которыми $2\varphi_0 = 120^\circ$ (рис. 109). Чему равна плотность жидкого диэлектрика, в который надо поместить систему, чтобы угол между нитями стал $2\varphi_0 = 90^\circ$? Напряженность электрического поля в диэлектрике уменьшается в 3 раза.
481. В однородное электрическое поле внесли перпендикулярно линиям поля две одинаковые диэлектрические пластины. В первой напряженность поля уменьшилась в 2 раза, во второй — в 7 раз. У какой из пластин на поверхности собирается больший связанный заряд? Определите, во сколько раз связанный заряд на поверхности одного диэлектрика отличается от связанного заряда на поверхности другого диэлектрика?

Потенциал электростатического поля. Разность потенциалов (§ 98—100)

482. Определите работу, совершаемую силами однородного электростатического поля при перемещении заряда 10^{-12} Кл из точки A в точки B и C (рис. 110). Расстояние AC равно 4 см, расстояние CB равно 3 см. Отрезок AC параллелен силовым линиям поля. Напряженность поля равна 10 В/м.

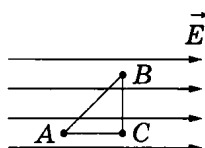


Рис. 110

483. На рисунке 111 показаны силовые линии поля в трех случаях. В каком случае работа электрического поля будет больше при перемещении положительного заряда из точки A в точку B , если расстояние AB одинаково? Густота силовых линий в случае a в точках A и B равна густоте силовых линий в случае b в точках B и A .
484. Два точечных положительных заряда закреплены на некотором расстоянии друг от друга. Один из зарядов освобождают, и он летит вдоль силовых линий поля другого заряда. Как изменяется потенциальная энергия системы зарядов?
485. Потенциалы точек A и B электрического поля равны соответственно $\varphi_A = 10$ В и $\varphi_B = 5$ В. Определите работу, совершаемую силами поля: 1) при перемещении положительного заряда $q_1 = 2 \cdot 10^{-7}$ Кл из точки A в точку B ; 2) при перемещении отрицательного заряда $q_2 = -2 \cdot 10^{-7}$ Кл из точки A в точку B . Как при этом изменяется потенциальная энергия зарядов?
486. Частица массой 10^{-15} кг, несущая заряд 10^{-11} Кл, движется в электрическом поле. В точке поля, потенциал которой равен 10 В, частица имеет скорость 100 м/с. Определите потенциал точки, в которой скорость частицы становится равной 200 м/с.

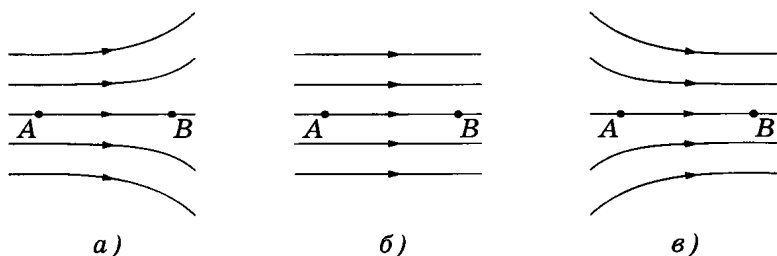


Рис. 111

487. Электрон в кинескопе телевизора ускоряется разностью потенциалов 5000 В. Чему равно изменение потенциальной энергии электрона? Определите скорость, с которой движется электрон в результате этого ускорения.

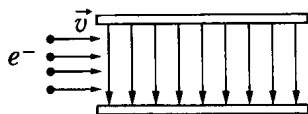


Рис. 112

488. Два положительных заряда находятся на расстоянии 10 см друг от друга. В какой точке напряженность электрического поля равна нулю? В какой точке потенциал поля равен нулю?

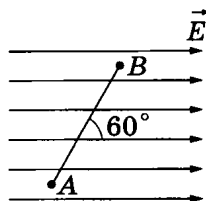


Рис. 113

489. Какую разность потенциалов необходимо создать, чтобы сообщить ядру гелия зарядом $3,2 \cdot 10^{-19}$ Кл кинетическую энергию $7,68 \cdot 10^{-18}$ Дж?

490. Поток электронов, ускоренных разностью потенциалов 1200 В, влетает в пространство между двумя параллельными пластинами длиной 5 см (рис. 112). Определите разность потенциалов между пластинами, если из пространства между ними вылетает половина электронов. Расстояние между пластинами 0,5 см.

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

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

493. Определите напряженность однородного электрического поля, если разность потенциалов между точками A и B равна 8 В (рис. 113). Длина отрезка AB 10 см, и он расположен под углом 60° к силовым линиям поля.

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

495. Эквипотенциальные поверхности представляют собой параллельные плоскости, разность потенциалов меж-

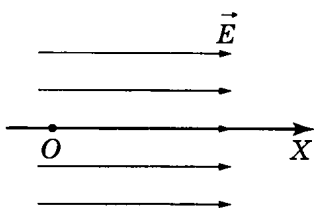


Рис. 114

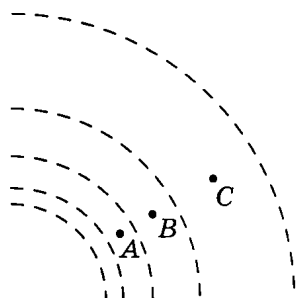


Рис. 115

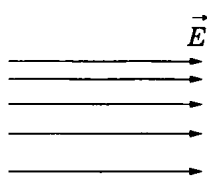


Рис. 116

ду которыми постоянна и равна 1 В. Как выглядят силовые линии поля? Какое это поле?

496. Как изменяется потенциал вдоль одной из силовых линий электрического поля, совпадающей с осью OX (рис. 114)? Начертите график зависимости потенциала φ от координаты x , считая, что в точке O потенциал равен нулю. Напряженность электрического поля равна 1 В/м.
497. Эквипотенциальные поверхности изображаются так, что разность потенциалов между двумя поверхностями остается постоянной. На рисунке 115 изображена серия эквипотенциальных поверхностей. Какое соотношение между напряженностями электрического поля в точках A , B и C ?
498. Может ли существовать электрическое поле, силовые линии которого представлены на рисунке 116?

Емкость. Энергия электрического поля конденсатора (§ 101–103)

499. Двум параллельным пластинам, находящимся на расстоянии 2 мм, сообщили заряды $4 \cdot 10^{-7}$ и $-4 \cdot 10^{-7}$ Кл. При этом напряженность электрического поля между пластинами стала 10 В/м. Определите емкость проводников.
500. Расстояние между пластинами плоского конденсатора (рис. 117, а) уменьшили в 2 раза, а пластины сдвинули параллельно относительно друг друга так, что площадь перекрытия уменьшилась в 1,5 раза (рис. 117, б). Во сколько раз изменилась емкость?
501. Пластины плоского конденсатора погрузили в керосин. Заряд пластин остался постоянным и равным 10^{-8} Кл. До погружения разность потенциалов была равна 10 В. Определите изменение емкости

конденсатора и разности потенциалов между пластинами. Известно, что в керосине напряженность электрического поля в 2 раза меньше, чем в воздухе.

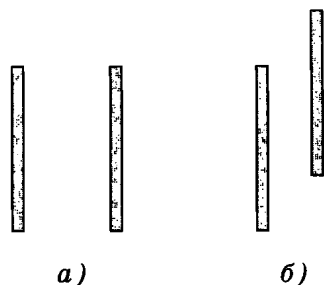


Рис. 117

502. Пластины конденсатора емкостью $0,4 \text{ мкФ}$ могут смещаться параллельно относительно друг друга. Какой максимальный заряд может накопить конденсатор, если его присоединить к источнику напряжения 100 В ? Как должны быть расположены пластины, чтобы заряд на них был равен $3/4$ от максимального заряда?
503. Заряд пластин конденсатора емкостью 2 мкФ равен 10^{-5} Кл . Между пластинами, расположенными на расстоянии 2 мм , находится в равновесии капелька ртути массой 10^{-2} г . Определите заряд капельки.
504. От отрицательно заряженной пластины конденсатора отлетает электрон, ускоряется и оседает на положительно заряженной пластине. Определите импульс силы, действовавшей на пластину при попадании на нее электрона. Емкость конденсатора 100 пФ . Заряд конденсатора 10^{-7} Кл . Начальная скорость электрона равна нулю.
505. Электрон влетает со скоростью 20 км/с в пространство между пластинами конденсатора емкостью 1 пФ параллельно пластинам. Определите, на какой угол изменится направление скорости электрона на выходе из конденсатора, если модуль заряда пластин равен 445 пКл , расстояние между пластинами 2 см , а их длина 10 см .
506. Разность потенциалов между обкладками конденсатора емкостью $0,1 \text{ мкФ}$ равна 100 В . Как изменятся энергия электрического поля конденсатора и заряд на пластинах, если, не отключая его от источника напряжения, расстояние между пластинами уменьшить в 2 раза?
507. Конденсатор емкостью 4 мкФ зарядили, подключив его к источнику напряжения 200 В , а затем отключили от него. Как изменятся разность потенциалов между пластинами конденсатора и энергия электрического поля при увеличении расстояния между пластинами в 3 раза?

508. Расстояние между пластинами плоского конденсатора емкостью 2 мкФ , подключенного к источнику напряжения 100 В , увеличивают в 2 раза. Как изменяется энергия электрического поля конденсатора? Изменится ли энергия, если конденсатор сначала отключат от источника, а затем раздвинут пластины?

Законы постоянного тока

Электрический ток. Сила тока (§ 104, 105)

509. Определите силу тока, если через поперечное сечение проводника за 1 с прошел заряд $0,2 \text{ Кл}$.
510. По проводнику идет постоянный ток. Сила тока $I = 1 \text{ А}$. Определите массу электронов, проходящих через поперечное сечение проводника за интервал времени $\Delta t = 1 \text{ с}$.
511. Определите суммарный импульс электронов в проводнике, по которому идет ток. Сила тока $I = 10 \text{ А}$. Длина проводника $l = 1 \text{ м}$.
512. Сила тока со временем меняется по закону $I = kt$ (рис. 118). Определите заряд, прошедший через поперечное сечение проводника за 2 с .
513. Определите концентрацию свободных электронов, если по проводнику с площадью поперечного сечения 2 мм^2 идет ток. Сила тока 1 А , скорость направленного движения электронов $5 \cdot 10^{-5} \text{ м/с}$.
514. В проводнике переменного сечения концентрация свободных электронов $9 \cdot 10^{18} \text{ 1/м}^3$. Сила тока, идущего по проводнику, равна 1 А (рис. 119). Определите скорости направленного движения электронов в сечениях с площадью $S_1 = 5 \text{ мм}^2$ и $S_2 = 1 \text{ мм}^2$.
515. Определите силу, действующую на свободный электрон в проводнике длиной 30 см при разности потенциалов между его концами 300 В .

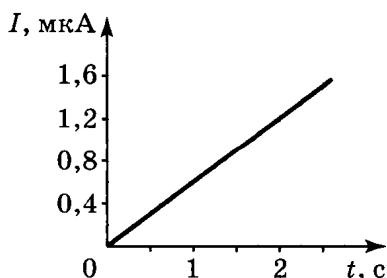


Рис. 118

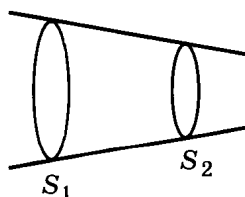


Рис. 119

Закон Ома для участка цепи. Последовательное и параллельное соединения проводников (§ 106, 107)

516. Определите сопротивление проводника, если при напряжении 20 В сила тока в проводнике 0,1 А.
517. По проводнику сопротивлением 20 Ом и длиной 1 м идет ток. Сила тока 1 А. Определите разность потенциалов между точками, одна из которых находится посередине проводника, а другая — на расстоянии 10 см от его конца.
518. Как изменится сила тока в проводнике, если напряжение увеличится в 2 раза, а его сопротивление уменьшится в 3 раза?
519. Определите силу тока в проводнике при напряжении 100 В, если при напряжении 220 В сила тока 4,4 мА.
520. Сопротивления двух проводников одинаковы. Как относятся их удельные сопротивления, если они имеют одинаковую длину, а площади их поперечного сечения соответственно равны 1 и 2,5 мм²?
521. Чему равно сопротивление медной проволоки длиной 2 м и диаметром 1 мм?
522. Определите площадь поперечного сечения медной проволоки, имеющей такое же сопротивление, что и стальная проволока сечением 1 мм². Длины проволок равны.
523. На корпусе портативного магнитофона написано, что напряжение питания 6 В, а сила тока 200 мА. Определите сопротивление цепи магнитофона.
524. Три проводника, сопротивления которых равны 10, 20 и 30 Ом, соединены последовательно. Определите напряжение на каждом из проводников и разность потенциалов между концами цепи при силе тока 1 А.
525. Два проводника, сопротивления которых относятся как 1 : 3, соединены параллельно и подключены к источнику напряжения. Определите отношение сил токов, идущих по проводникам.
526. Определите сопротивление участка цепи *AB*, изображенного на рисунке 120. Сопротивления проводников $R_1 = 4$ Ом, $R_2 = 6$ Ом, $R_3 = 7,6$ Ом.
527. К концам цепи *AB* (см. рис. 120) подводится напряжение 100 В. Определите силу тока, идущего по каждому из участков цепи.

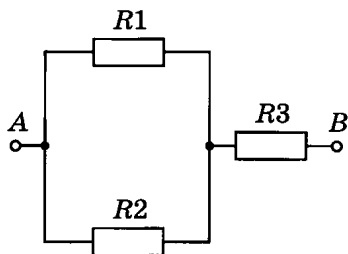


Рис. 120

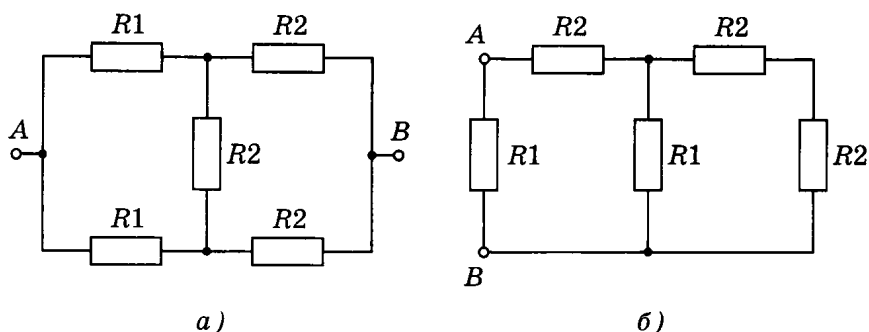


Рис. 121

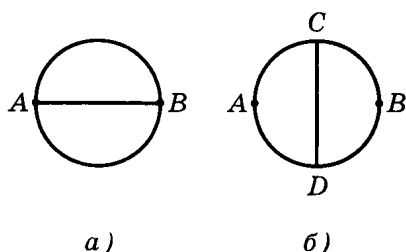


Рис. 122

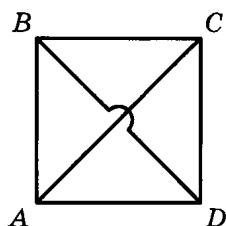


Рис. 123

528. Определите сопротивление между точками A и B в схемах, изображенных на рисунке 121, a б. Сопротивления проводников $R_1 = 2$ Ом, $R_2 = 1$ Ом.
529. Определите сопротивление между точками A и B медной проволоки, согнутой в виде кольца, в двух случаях: 1) точки A и B соединены проводником, длина которого равна диаметру кольца (рис. 122, a); 2) этим проводником соединены точки C и D (рис. 122, б). Площадь поперечного сечения проволоки 1 мм^2 , диаметр кольца 20 см.
530. Определите сопротивление квадрата, сделанного из проволоки, между точками A и C (рис. 123). Сопротивление каждой стороны квадрата равно 1 Ом. Проволоки, из которых сделаны диагонали квадрата, в центре не соединяются.

Работа и мощность постоянного тока (§ 108)

531. Лампочка рассчитана на напряжение 12 В и мощность 6 Вт. Определите силу тока в лампочке при нормальной эксплуатации.
532. Сколько стоит за сутки горение лампочки мощностью 40 Вт, если стоимость электроэнергии $1,4$ р. за $1 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$?

533. Определите отношение количеств теплоты, выделяемых на двух проводниках, если они соединены: 1) последовательно; 2) параллельно. Отношение сопротивлений 1 : 2. (Проводники подключены к источнику постоянного напряжения.)
534. Определите силу тока в кипятильнике, если, подключенный к напряжению 12 В, он нагревает стакан воды от 20 до 100 °С за 5 мин. На нагрев воды расходуется 60% энергии. Масса воды в стакане 200 г.
535. Электрическая плитка состоит из двух одинаковых секций. При включении одной секции вода в чайнике, поставленном на плитку, закипает через 20 мин. Через сколько времени закипит вода, если секции подключить к тому же источнику напряжения: 1) параллельно; 2) последовательно?
536. Три проводника с одинаковыми сопротивлениями подключены к источнику постоянного напряжения сначала последовательно, а затем параллельно. В каком случае потребляется большая мощность?
537. Чему равен КПД электродвигателя мощностью 360 Вт, если он работает при силе тока 4 А и напряжении от сети 120 В?

Электродвижущая сила. Закон Ома для полной цепи (§ 109, 110)

538. Сила тока, идущего по цепи, состоящей из источника, замкнутого на резистор сопротивлением 100 Ом, равна 0,1 А. Определите внутреннее сопротивление источника, если его ЭДС равна 12 В.
539. Два одинаковых источника подключены последовательно к резистору сопротивлением 20 Ом. Определите силу тока в цепи и разность потенциалов между зажимами источников. ЭДС источника 5 В, его внутреннее сопротивление 2,5 Ом (рис. 124).
540. Определите силу тока в каждом из участков цепи (рис. 125), если ЭДС источника равна 10 В, его внутреннее сопротивление 2 Ом, а сопротивления резисторов равны 10 и 5 Ом.
541. Определите заряд на пластинах конденсаторов (рис. 126), если $\mathcal{E} = 20$ В,

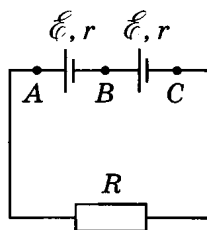


Рис. 124

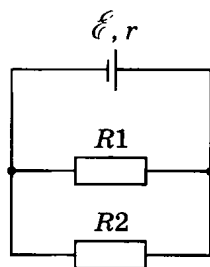


Рис. 125

$r = 4 \text{ Ом}$, $R_1 = 16 \text{ Ом}$, $C_1 = 5 \text{ мкФ}$,
 $C_2 = 15 \text{ мкФ}$.

542. Два последовательно соединенных элемента с ЭДС $\xi_1 = 10 \text{ В}$ и $\xi_2 = 15 \text{ В}$ и внутренним сопротивлением $r_1 = 2 \text{ Ом}$ и $r_2 = 4 \text{ Ом}$ замкнуты на резистор сопротивлением $R = 0,5 \text{ Ом}$. Может ли через резистор идти больший ток, если использовать только один из элементов?

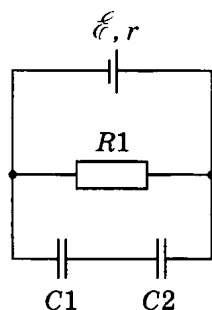


Рис. 126

543. Определите заряд на обкладках конденсатора емкостью $C = 1 \text{ мкФ}$ в схеме, показанной на рисунке 127. ЭДС источника $\xi = 4 \text{ В}$, внутреннее сопротивление источника $r = 2 \text{ Ом}$, внешнее сопротивление $R = 14 \text{ Ом}$.

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

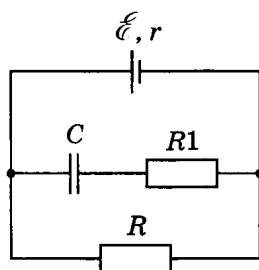


Рис. 127

545. К источнику тока с внутренним сопротивлением $2,4 \text{ Ом}$ подключен проводник, сопротивление которого равно 6 Ом . Чему должно быть равно сопротивление второго проводника, параллельно подключенного к первому, чтобы мощность, выделяемая во внешней цепи, была максимальна?

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

547. Гальванические элементы с ЭДС, равными $4, 6$ и 8 В , соединены, как показано на рисунке 128, и замкнуты на проводник сопротивлением 6 Ом . Внутренние сопротивления элементов соответственно равны $0,5, 1,5$ и 2 Ом . Определите силу тока в цепи и разность потенциалов между точками A и B , B и C .

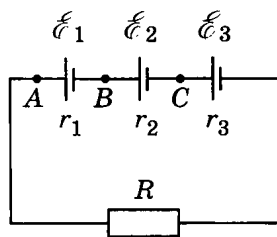


Рис. 128

548. Два гальванических элемента,

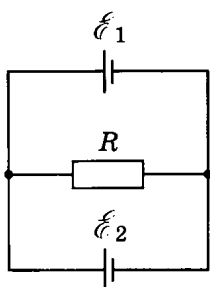


Рис. 129

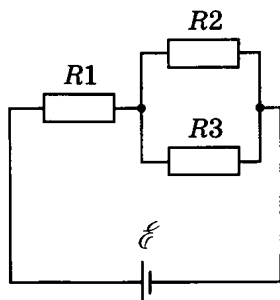


Рис. 130

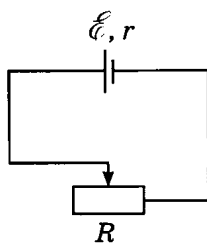


Рис. 131

- электродвижущие силы которых 2 и 1 В, соединены по схеме, показанной на рисунке 129. При каком значении сопротивления R ток через второй гальванический элемент не пойдет? Внутреннее сопротивление первого гальванического элемента равно 1 Ом.
549. В схеме, показанной на рисунке 130, $R_1 = 1$ Ом, $R_2 = 2$ Ом, $R_3 = 3$ Ом. На резисторе R_3 выделяется мощность 25 Вт. Определите, какая мощность выделяется на резисторах R_1 и R_2 .
550. Гальванический элемент с ЭДС, равной 4 В, и внутренним сопротивлением 2 Ом подключен к реостату с максимальным сопротивлением 6 Ом (рис. 131). Перемещая движок реостата, исследуют зависимость полезной мощности от силы тока. Начертите график полученной зависимости. Определите, при каком значении внешнего сопротивления мощность будет максимальна и найдите ее значение.
551. Суммарная мощность, выделяющаяся на резисторах, сопротивления которых равны 10 и 30 Ом, одинакова при их последовательном и параллельном соединениях. Определите внутреннее сопротивление источника тока, к которому они подключаются.
552. Аккумулятор заряжается от источника напряжения 12 В, при этом половина потребляемой мощности источника расходуется на его нагревание. Определите ЭДС аккумулятора.
553. Источник тока, замкнутый на проводник, имеет ЭДС $\mathcal{E} = 10$ В, его внутреннее сопротивление $r = 2$ Ом. Чему равно сопротивление проводника, если известно, что полезная мощность при замыкании цепи $P_{\text{пол}} = 6,94$ Вт?
554. Источник тока с ЭДС $\mathcal{E} = 30$ В и внутренним сопротивлением $r = 6$ Ом замкнули на два резистора, соединенные параллельно. При этом на резисторе R_1 выделяется количество теплоты в 3 раза больше, а

- на резисторе R_2 — в 6 раз больше, чем на внутреннем сопротивлении источника. Определите силы токов, идущих во всех участках цепи.
555. Определите массу меди, необходимой для изготовления двухпроводной линии электропередачи длиной $l = 5$ км. Напряжение на шинах станции $U_0 = 2400$ В, мощность, передаваемая потребителю, $P_{\text{пол}} = 60$ кВт, допустимая потеря напряжения в линии $U = 0,08U_0$.
556. Три одинаковых источника тока, соединенные параллельно, замыкают на внешний резистор сопротивлением $R = 3$ Ом. При этом на нем выделяется такая же мощность, как и в случае подключения к этому резистору девяти таких же источников, соединенных последовательно. Определите внутреннее сопротивление одного источника.
557. Источник с ЭДС, равной 6 В, и внутренним сопротивлением 1 Ом поочередно подключают к резисторам, сопротивления которых 11 и 29 Ом. Определите КПД источника в этих случаях. Как нужно подключить эти резисторы — последовательно или параллельно — для получения: 1) максимальной полезной мощности; 2) максимального КПД?
558. Во внешней нагрузке, подключенной к аккумуляторной батарее, выделяется мощность 1 Вт. Чему равен КПД источника в этом случае, если при подключении той же нагрузки к двум таким же батареям, соединенным последовательно, мощность, выделяемая на нагрузке, равна 1,44 Вт?

Электрический ток в различных средах

Электронная проводимость металлов (§ 112)

559. Считая электронный газ в металле идеальным, определите среднюю квадратичную скорость теплового движения электронов при температуре 27°C .
560. Используя закон Ома для однородного участка цепи и выражение для силы тока $I = q_0 n v S$, где q_0 — заряд электрона, n — концентрация свободных электронов, v — скорость направленного движения, S — площадь поперечного сечения проводника, выведите зависимость скорости упорядоченного движения электронов от напряженности электрического поля в проводнике, удельное сопротивление которого равно ρ .
561. По медному проводнику диаметром 3,2 мм идет ток. Сила тока 5 А. Определите: 1) скорость направленного движения электронов; 2) среднюю квадратич-

ную скорость теплового движения, считая электронный газ идеальным газом. Температура проводника $20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Концентрация свободных электронов $1,08 \cdot 10^{26}\text{ м}^{-3}$.

562. Через железный проводник площадью поперечного сечения 4 мм^2 и длиной 1 м в течение $0,5\text{ ч}$ пропускается электрический ток. Сила тока поддерживается постоянной и равной 1 А . Оцените увеличение сопротивления проводника. Следует ли учитывать изменение силы тока вследствие нагревания?
563. Сопротивление вольфрамовой нити выключенной лампочки при комнатной температуре $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ равно 60 Ом , а при нормальном накале — 612 Ом . Определите температуру нити горячей лампочки.
564. При подключении платиновой проволоки к источнику напряжения 220 В сила тока была равна $0,2\text{ А}$. Через некоторое время сила тока стала равна $0,19\text{ А}$. Определите, на сколько градусов изменилась температура в среде, где находится платиновая проволока.

Электрический ток в полупроводниках (§ 115—119)

565. Концентрация свободных электронов в металле $\approx 10^{29}\text{ 1/м}^3$, а в полупроводнике при $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ $\approx 10^{17}\text{ 1/м}^3$. Во сколько раз сопротивление полупроводника меньше сопротивления металла? Геометрические размеры проволоки, сделанных из этих материалов, одинаковы.
566. В четырехвалентный германий вводится примесь: 1) пентавалентного мышьяка; 2) трехвалентного индия. Каким будет основной тип проводимости в первом и во втором случаях?
567. Собственную проводимость полупроводников обеспечивают свободные электроны и дырки, причем их концентрации равны. При создании электрического поля в полупроводнике возникает ток. Какой ток больше — электронный или дырочный?
568. Концентрация свободных электронов в кремнии при температуре $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ равна $3 \cdot 10^{17}\text{ м}^{-3}$. Какую часть от общего числа электронов составляют электроны проводимости? Плотность кремния $2,4 \cdot 10^3\text{ кг/м}^3$.
569. Сопротивление проволоки, сделанной из германия, равно 1 кОм . Когда ее опустили в горячую воду, то сила тока через нее при напряжении 10 В стала равна 5 мА . Определите изменение сопротивления проволоки при нагревании.
570. Определите сопротивление полупроводникового диода в двух случаях: если известно, что при прямом напряжении $0,5\text{ В}$ сила тока через диод 5 мА , при

обратном напряжении -10 В сила тока через диод $0,1$ мкА.

571. Определите сопротивление цепи (рис. 132) в двух случаях: 1) $\varphi_A > \varphi_B$; 2) $\varphi_B > \varphi_A$. Считайте полупроводниковый диод идеальным, т. е. если ток идет в прямом направлении, сопротивление равно нулю, если в обратном направлении, сопротивление бесконечно большое. Сопротивление резисторов R_1 равно 4 Ом, а резисторов R_2 равно 6 Ом.

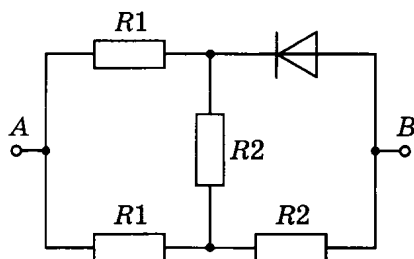


Рис. 132

Электронно-лучевая трубка (§ 121)

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

Закон электролиза (§ 123)

576. При электролизе раствора сернокислого цинка в течение 1 ч выделилось $3,7 \cdot 10^{-3}$ кг цинка. Внешнее напряжение $8,7$ В. Электрохимический эквивалент цинка $3,9 \cdot 10^{-7}$ кг/Кл. Определите сопротивление раствора.
577. Сколько времени потребуется для покрытия пластинки слоем меди толщиной $0,01$ мм при электролизе раствора CuSO_4 ? Плотность тока в электролите $0,5$ А/дм².

578. При электролизе раствора хлористого цинка было затрачено 3,6 МДж электроэнергии. Определите массу выделившегося цинка, если на зажимах ванны поддерживалось напряжение 4 В. Электрохимический эквивалент цинка $3,9 \cdot 10^{-7}$ кг/Кл.
579. При пропускании тока через раствор медного купороса за время $t = 15$ мин выделилась медь массой $m = 1,485 \cdot 10^{-3}$ кг. Электрохимический эквивалент меди $k = 3,3 \cdot 10^{-7}$ кг/Кл. Определите потребляемую при этом мощность, если сопротивление раствора $R = 0,8$ Ом.
580. Сколько электроэнергии нужно затратить, чтобы из воды получить 2,5 л водорода при давлении 1 атм и температуре 25 °С? Электролиз ведется при напряжении 5 В, КПД установки 75%.
581. Определите массу меди, выделившейся при электролизе, если израсходовано 5 кВт · ч энергии. Напряжение на клеммах ванны 10 В. КПД установки 75%.
582. Никелирование металлической пластинки с площадью поверхности 50 см² продолжалось 4 ч при силе тока 0,15 А. Определите толщину слоя никеля.
583. При серебрении пластинки через раствор азотнокислого серебра идет ток. Плотность тока 0,3 А/м². С какой средней скоростью растет толщина серебряного покрытия? Электрохимический эквивалент серебра $k = 1,12 \cdot 10^{-6}$ кг/Кл.

Электрический ток в газах (§ 124, 125)

584. Определите силу тока насыщения при несамостоятельном разряде, если ионизатор каждую секунду образует 10^9 пар одновалентных ионов в 1 см³. Площадь электродов 100 см², расстояние между ними 5 см.
585. Вольт-амперная характеристика газового разряда имеет вид, показанный на рисунке 133. Определите соотношение между сопротивлениями газа при значениях напряжений, соответствующих точкам А, В, С, D. Чем объясняется изменение сопротивления?
586. Сколько пар одновалентных ионов в секунду возникает под действием ионизатора в объеме газоразрядной трубки длиной 40 см и площадью поперечного сечения 5 см²? Сила тока насыщения $2 \cdot 10^{-7}$ мА.

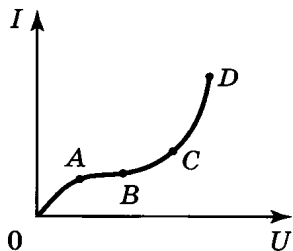


Рис. 133

11 класс

Основы электродинамики (продолжение)

Магнитное поле

Взаимодействие токов. Вектор магнитной индукции. Закон Ампера (§ 1–3)

587. Два проводника с током расположены под углом друг к другу (рис. 134). Сила тока, идущего по проводнику 1, равна I_1 . Определите силу тока, идущего по проводнику 2, и его направление, если известно, что индукция магнитного поля равна нулю в любой точке биссектрисы: 1) угла α ; 2) угла β .

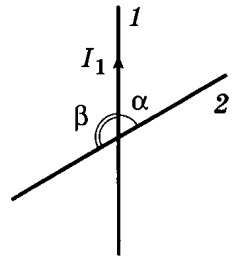


Рис. 134

588. Какое положение займет магнитная стрелка при приближении к ней проводника с током (рис. 135), если: 1) проводник параллелен стрелке; 2) проводник перпендикулярен стрелке?

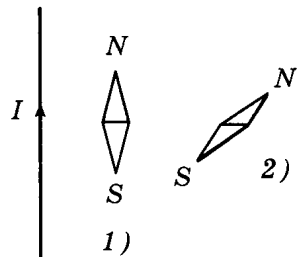


Рис. 135

589. Параллельные токи взаимодействуют, как показано на рисунке 136. Покажите возможные направления токов.

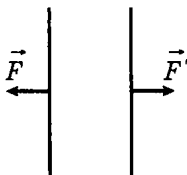


Рис. 136

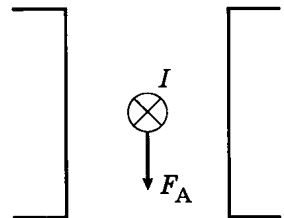


Рис. 137

590. На проводник с током, помещенный в поле постоянного магнита, действует сила F_A , направленная так, как показано на рисунке 137. Укажите расположение полюсов магнита.

591. Проводник с током удерживается в магнитном поле в состоянии покоя силой 2 Н. Длина проводника 1 м. Сила тока 0,1 А. Индукция магнитного поля 40 Тл. Определите, под каким углом к линиям магнитной индукции расположен проводник.
592. Проводник массой 10 г и длиной 10 см висит в горизонтальном положении на двух проводящих нитях в однородном магнитном поле с индукцией, равной 10 Тл. Линии магнитной индукции горизонтальны и перпендикулярны проводнику. При какой силе тока через проводник сила натяжения нитей увеличится в 1,5 раза?
593. Проводник, подвешенный на проводящих нитях, расположенный перпендикулярно линиям магнитной индукции, в одном случае весит 15 Н, а в другом — 10 Н в зависимости от направления тока. Линии магнитной индукции горизонтальны. Определите массу проводника.
594. Квадратная рамка с током расположена в однородном магнитном поле с индукцией 10 мТл, как показано на рисунке 138. Определите механический вращательный момент, действующий на рамку. Сила тока, идущего по рамке, 10 мА, сторона рамки 20 см.
595. Под каким углом к линиям магнитной индукции надо расположить рамку (см. задачу 594), чтобы вращательный момент, действующий на нее, уменьшился в 2 раза?
596. Стержень массой 0,2 кг лежит на двух горизонтальных рельсах перпендикулярно им (рис. 139). Силы давления стержня на оба рельса равны. Расстояние между рельсами 40 см. Индукция магнитного поля 40 мТл. Линии магнитной индукции направлены вертикально. Коэффициент трения скольжения о рельсы 0,01. Определите минимальную силу тока, который нужно пропустить по стержню, чтобы стержень начал двигаться. Примите $g = 9,8 \text{ м/с}^2$.
597. Определите силу, действующую на часть прямолинейного проводника длиной 20 см в однородном маг-

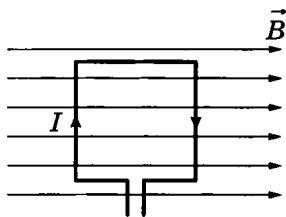


Рис. 138

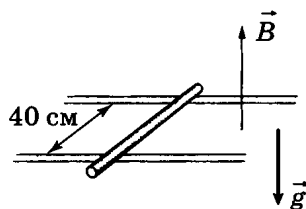


Рис. 139

нитном поле с индукцией 40 мТл при разных углах между направлениями тока и вектором магнитной индукции: 1) 90° ; 2) 60° ; 3) 30° ; 4) 0° . Сила тока равна 10 А.

598. В амперметре магнитоэлектрической системы момент сил упругости, удерживающий рамку в равновесии в магнитном поле с индукцией 10 мТл, равен 10^{-6} Н·м. При этом рамка отклоняется от горизонтального положения на 60° . Определите измеряемую силу тока. Длина стороны рамки 5 мм.
599. Стержень массой 200 г лежит на двух параллельных рельсах перпендикулярно им (рис. 140). Рельсы, расстояние между которыми 60 см, находятся на наклонной плоскости с углом у основания 30° . Линии магнитной индукции поля с индукцией 80 мТл направлены вертикально вверх. Коэффициент трения скольжения равен 0,7. Определите силу тока, идущего по стержню, в двух случаях: 1) стержень начинает подниматься вверх; 2) стержень начинает спускаться с наклонной плоскости.

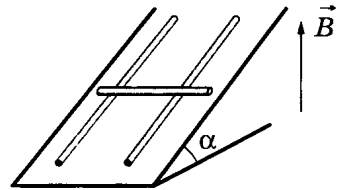


Рис. 140

Сила Лоренца (§ 6)

600. Частица массой 10^{-8} г, имеющая заряд 10^{-7} Кл, движется в плоскости, перпендикулярной направлению линиям индукции однородного магнитного поля с индукцией 1 Тл. Определите период обращения частицы.
601. Определите отношение заряда частицы к ее массе q/m , если она движется в однородном магнитном поле с индукцией 0,1 Тл перпендикулярно направлению линий магнитной индукции поля по окружности радиусом 20 см. Скорость частицы 100 м/с.
602. Электрон влетает под углом 30° в область однородного магнитного поля шириной 3 мм (рис. 141), а вылетает под углом 60° . Скорость электрона 10^6 м/с. Определите индукцию магнитного поля.

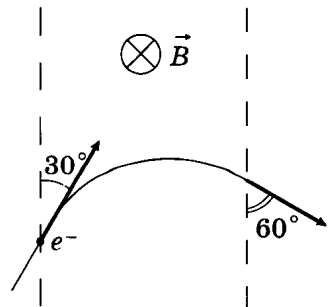


Рис. 141

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

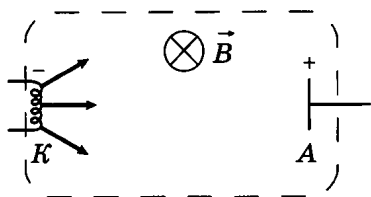


Рис. 142

604. Расстояние между катодом и анодом равно L . Электроны вылетают из катода под разными углами. Максимальная скорость электронов v_0 . Между катодом и анодом создано однородное магнитное поле с индукцией B (рис. 142). При каком минимальном значении магнитной индукции электроны не будут достигать анода?
605. Электрон влетает в однородное магнитное поле под углом 60° к линиям магнитной индукции. Скорость электрона 2000 м/с, индукция магнитного поля $0,1$ Тл. Определите радиус и шаг спирали, по которой будет двигаться электрон.
606. Электрон влетает в однородное магнитное поле под углом 30° к линиям магнитной индукции со скоростью 10^4 м/с. Расстояние от начального положения электрона до экрана 40 см. Сколько оборотов сделает электрон, прежде чем он попадет на экран? Индукция магнитного поля 10^{-4} Тл.

607. Электрон ускоряется электрическим полем, проходя разность потенциалов 10^3 В, а затем влетает в магнитное поле перпендикулярно его границе. На расстоянии 5 см от точки A находится мишень M (рис. 143). Угол между скоростью электрона в точке A и отрезком AM 60° . Чему равна индукция магнитного поля, если известно, что электрон попадает в мишень?

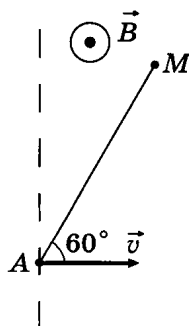


Рис. 143

Электромагнитная индукция

Магнитный поток. Правило Ленца. ЭДС индукции (§ 8–13)

608. Определите магнитный поток через плоскую поверхность, ограниченную круговым контуром радиусом 10 см. Вектор магнитной индукции и нормаль к плоскости составляют угол 30° (рис. 144). Магнитное поле однородно, индукция поля 10^2 Тл. Будет ли отличаться магнитный поток, если в качестве поверхности выбрать полусферу, опирающуюся на тот же контур?

609. Квадратная рамка с длинной стороны 20 см находится в однородном магнитном поле, причем линии магнитной индукции перпендикулярны плоскости рамки (рис. 145). Определите изменение магнитного потока при повороте рамки на угол 30° : 1) вокруг одной из сторон; 2) вокруг диагонали. Индукция магнитного поля равна 100 мТл.

610. Проволочный виток перемещают в неоднородном магнитном поле (рис. 146) в одном случае вправо, а в другом влево. Определите направление тока, возникающего в витке, и направление силы, действующей на виток.

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

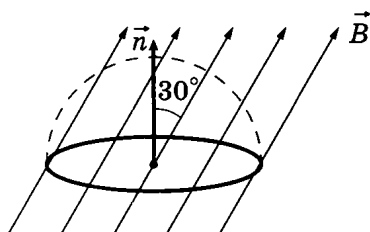


Рис. 144

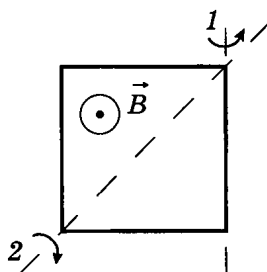


Рис. 145

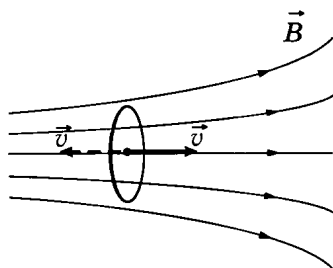


Рис. 146

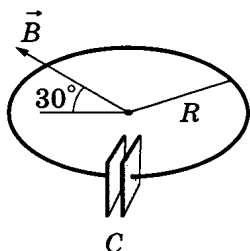


Рис. 147

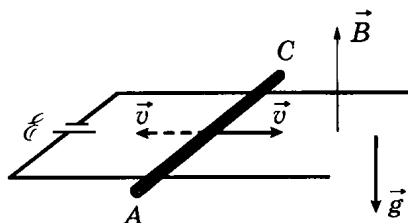


Рис. 148

612. Радиус проволочного витка, соединяющего пластины плоского конденсатора емкостью 10 мкФ, равен 20 см. Чему равен заряд на пластинах конденсатора, если виток помещен в однородное магнитное поле (рис. 147), индукция которого изменяется по закону $B = B_0 + kt$, где $k = 0,005$ Тл/с и вектор \vec{B} направлен под углом 30° к плоскости витка?
613. Стержень AC длиной 0,4 м и сопротивлением 4 Ом лежит на двух параллельных горизонтальных проводниках, замкнутых на источник тока, ЭДС которого 2 В (рис. 148). Проводники находятся в магнитном поле с индукцией 0,2 Тл, линии индукции которого вертикальны. Определите силу тока в проводнике при его равномерном движении со скоростью 5 м/с: 1) вправо; 2) влево. Сопротивлениями проводников, по которым движется стержень, и источника тока можно пренебречь.
614. Контур из проволоки, согнутой в виде прямоугольника со сторонами a и b , движется с постоянной скоростью v в магнитном поле, индукция которого изменяется по закону $B = B_0 + kx$, где k — постоянная величина (рис. 149). Сопротивление контура R . Определите силу тока в контуре.
615. Мальчик вращает на веревке длиной 20 см в вертикальной плоскости металлический прут длиной 10 см с частотой 2 об/с. Определите максимальную разность потенциалов, которая может возникнуть между концами прута. Горизонтальная составляющая индукции магнитного поля Земли 0,2 мТл.
616. По параллельным рельсам, лежащим на наклон-

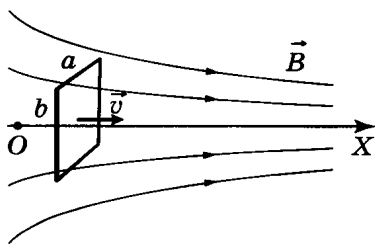


Рис. 149

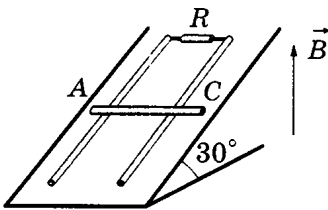


Рис. 150

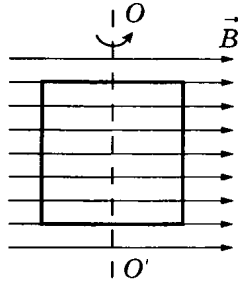


Рис. 151

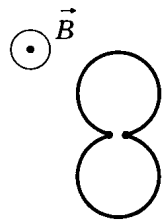


Рис. 152

ной плоскости, соскальзывает без трения металлический стержень AC (рис. 150) массой 100 г. Рельсы наверху замкнуты резистором сопротивлением 20 Ом. Вся система находится в однородном магнитном поле, линии индукции которого направлены вертикально. Угол у основания наклонной плоскости 30° . Чему равна сила тока, идущего по цепи, если известно, что стержень скользит с постоянной скоростью 1 м/с? Сопротивлением стержня и рельсов можно пренебречь.

617. Проволочный квадратный контур со стороной 5 см находится в однородном магнитном поле с индукцией 0,1 Тл (рис. 151). Сопротивление контура 5 Ом. Контур поворачивают вокруг оси OO' в одном случае на 90° , а в другом на 180° . Определите заряд, прошедший через поперечное сечение проволоки. В начальный момент времени линии магнитной индукции параллельны плоскости контура.
618. Круговой проволочный контур длиной l находится в однородном магнитном поле, индукция которого равна B . Линии магнитной индукции перпендикулярны плоскости контура. Проводник свернули в виде восьмерки (рис. 152). Удельное сопротивление проволоки ρ , площадь поперечного сечения S . Определите заряд, прошедший по проводнику.
619. Какой заряд пройдет по проводнику, если верхнюю часть «восьмерки» (см. задачу 618) повернуть на 180° ?

Самоиндукция. Индуктивность. Энергия магнитного поля (§ 15–17)

620. Определите магнитный поток, сцепленный с контуром, индуктивность которого равна 0,001 Гн, при силе тока, идущего по контуру, 0,1 А.

621. Чему равна индуктивность контура, если при изменении силы тока в нем на 10 мА за 20 с возникает ЭДС самоиндукции 10^{-4} В?

622. Короткозамкнутая катушка сопротивлением 20 Ом и индуктивностью 0,01 Гн находится в переменном магнитном поле. Когда создаваемый этим полем магнитный поток увеличивается на 10^{-3} Вб, сила тока в катушке возрастает на 0,05 А. Какой заряд за это время проходит по катушке?

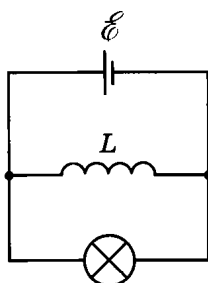


Рис. 153

623. В катушке без сердечника за время 0,01 с сила тока увеличивается равномерно от 1 до 2 А. При этом в катушке возникает ЭДС самоиндукции 20 В. Определите индуктивность катушки, а также изменение за указанный промежуток времени магнитного потока.

624. Энергия магнитного поля соленоида равна 2 Дж, магнитный поток, сцепленный с соленоидом, равен 20 Вб. Определите силу тока, идущего через соленоид.

625. В цепь источника тока с ЭДС, равной 8 В, параллельно подключены катушка индуктивностью $5 \cdot 10^{-2}$ Гн и электролампа (рис. 153). Сопротивление электролампы много больше сопротивления катушки, равного 2 Ом. Какое количество теплоты выделится в электролампе при отключении источника?

Колебания и волны

Механические колебания

Свободные и вынужденные колебания.

Математический маятник. Гармонические колебания.

Преобразование энергии (§ 18—25)

626. Грузик на пружине колеблется по закону $x = 4\sin\pi(t + 0,25)$, где x — смещение грузика, измеряемое в сантиметрах, а t — время, измеряемое в секундах. Определите амплитуду, период и начальную фазу колебаний.

627. Шарик массой 10 г подвешен к пружине жесткостью 10 Н/м. Определите частоту и период колебаний шарика.

628. Амплитуда колебаний материальной точки 2 см, а максимальное значение ускорения 8 м/с^2 . Определите циклическую частоту и период колебаний.
629. Определите длину нити математического маятника, период колебаний которого равен 1 с. Ускорение свободного падения считайте равным $9,8 \text{ м/с}^2$.
630. Как надо изменить длину нити математического маятника, чтобы частота его колебаний уменьшилась в 2 раза.
631. Определите длину математического маятника, который за 10 с совершает на 4 полных колебания меньше, чем математический маятник длиной 0,6 м.
632. Маленький шарик колеблется на нити длиной 1 м. Когда шарик проходит положение равновесия, нить цепляется за гвоздь, находящийся на расстоянии 75 см по вертикали от точки подвеса. Определите период колебаний шарика.
633. Через какой наименьший промежуток времени от начала движения из положения равновесия тело, подвешенное на нити, смещается на половину амплитуды? Данную систему нить — тело считайте математическим маятником, период колебаний которого 12 с. За какое время тело проходит оставшуюся часть пути до максимального смещения?
634. Шарiku массой 100 г, висящему на пружине жесткостью $1,6 \text{ Н/м}$, сообщили скорость $0,04 \text{ м/с}$, направленную вертикально вниз, и одновременно включили секундомер. Запишите закон изменения координаты шарика x от времени. Ось Ox направлена вертикально вверх.
635. Грузик, надетый на гладкую горизонтальную спицу, соединен двумя невесомыми пружинами (рис. 154). Свободные концы пружин прикреплены к неподвижным стенкам. В положении равновесия пружины не деформированы. Определите период колебаний грузика, если известно, что при его поочередном подвешивании к каждой из пружин по отдельности они удлиняются соответственно на 4 и 6 см.
636. Тело массой 1 кг колеблется на пружине с амплитудой $0,02 \text{ м}$. Максимальное ускорение тела равно $0,3 \text{ м/с}^2$. Определите полную механическую энергию колебаний.
637. Энергия колеблющегося на пружине груза равна $2 \cdot 10^{-2} \text{ Дж}$. Жесткость пружины 10^2 Н/м . Определите амплитуду колебаний груза.

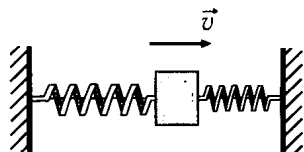


Рис. 154

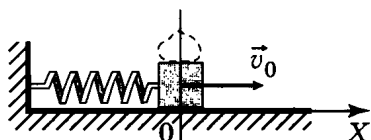


Рис. 155

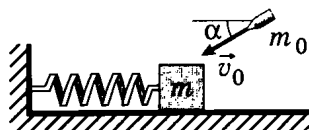


Рис. 156

638. Брусок массой 1 кг, прикрепленный пружинкой к стене, совершает гармонические колебания по гладкой горизонтальной поверхности (рис. 155). В момент прохождения бруском положения равновесия на него падает вертикально кусок пластилина массой 0,2 кг и прилипает к нему. Как изменятся частота и амплитуда колебаний бруска?
639. На гладкой горизонтальной поверхности на пружине жесткостью k находится брусок массой m . Свободный конец пружины прикреплен к стене. В брусок попадает пуля, летящая со скоростью v_0 под углом α к горизонту, и застревает в нем (рис. 156). Масса пули, равная m_0 , много меньше массы бруска. Определите энергию колебаний системы и запишите уравнение колебаний бруска вдоль оси OX , считая за нуль его начальное положение.
640. Цилиндр высотой 30 см плавает, погрузившись в воду на $2/3$. Его слегка толкнули вниз. Определите период колебаний цилиндра.
641. По дну сферической чаши радиусом R колеблется без трения маленький кубик. Чаша поставлена в лифт. С каким ускорением движется лифт, если период колебаний кубика: 1) увеличивается в 2 раза; 2) уменьшается в 2 раза?
642. Небольшой шарик массой 20 г, подвешенный на нерастяжимой непроводящей нити, совершает колебания в однородном электрическом поле напряженностью 20 В/м, силовые линии которого вертикальны. После того как ему сообщили некоторый заряд q , период колебаний изменился в 1,2 раза. Определите заряд q .
643. Ускорение свободного падения на поверхности Марса $3,7 \text{ м/с}^2$. Сравните периоды колебаний математического и пружинного маятников на Марсе и Земле.

Электромагнитные колебания

Свободные и вынужденные электромагнитные колебания (§ 28—30)

644. В каких пределах должна изменяться индуктивность катушки колебательного контура, чтобы в контуре могли происходить колебания с частотой от 400 до 500 Гц? Электроемкость конденсатора равна 10 мкФ.
645. Определите электроемкость конденсатора, который надо включить в колебательный контур, чтобы частота колебаний была равна 400 Гц. Индуктивность катушки равна 0,76 Гн.
646. В колебательный контур включен плоский конденсатор. Как надо изменить расстояние между пластинами, чтобы частота колебаний в контуре увеличилась в 2 раза?
647. Колебательный контур состоит из воздушного конденсатора с площадью пластин 100 см^2 и катушки индуктивностью 10^{-5} Гн. Период колебаний в контуре 10^{-7} с. Определите расстояние между пластинами конденсатора. $C = \frac{\epsilon_0 \epsilon S}{d}$ (см. часть 2, формула (34)).
648. Колебательный контур состоит из катушки и двух конденсаторов, которые можно подключать по отдельности и параллельно. При подключении поочередно одного из конденсаторов периоды колебаний в колебательном контуре равны 3 и 4 с. Определите период колебаний при параллельном подключении обоих конденсаторов.
649. Колебательный контур состоит из катушки индуктивностью 0,01 Гн и конденсатора емкостью 4 мкФ. Амплитудное значение заряда на пластинах конденсатора $4 \cdot 10^{-6}$ Кл. Определите максимальное значение силы тока.
650. Заряд на пластинах конденсатора в колебательном контуре изменяется по закону $q = 10^{-6} \sin(100\pi t + \pi/2)$ (Кл). Время измеряется в секундах. Запишите закон, по которому изменяется сила тока в контуре, и определите период колебаний.
651. В колебательном контуре, состоящем из катушки индуктивностью 2 Гн и конденсатора емкостью 1,5 мкФ, максимальное значение заряда на пластинах $2 \cdot 10^{-6}$ Кл. Определите значение силы тока в контуре в тот момент, когда заряд на пластинах конденсатора станет равным 10^{-6} Кл.
652. В колебательном контуре, состоящем из конденсатора емкостью 10 мкФ и катушки индуктивностью

0,4 Гн, происходят затухающие колебания. В некоторый момент времени сила тока в контуре 10^{-3} А, а заряд на пластинах конденсатора 10^{-6} Кл. Определите количество теплоты, выделившейся в проводниках, когда колебания полностью прекратятся.

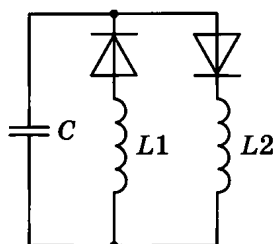


Рис. 157

653. Определите период колебаний в контуре (рис. 157). В цепь включены два идеальных полупроводниковых диода. $C = 0,25$ мкФ, $L_1 = 2,5$ мГн, $L_2 = 4,9$ мГн.

**Переменный электрический ток.
Конденсатор и катушка индуктивности в цепи.
Резонанс. Автоколебания (§ 31–36)**

654. Рамка равномерно вращается в однородном магнитном поле так, что магнитный поток через поверхность, ограниченную рамкой, изменяется по закону $\Phi = 0,1 \cos(50\pi t)$ (Вб). Определите максимальное значение ЭДС, возникающей в рамке.
655. На рисунке 158 показан график зависимости силы тока от времени. Определите действующее значение силы переменного тока.
656. Действующее напряжение в сети переменного тока с периодом T равно 100 В. Какую часть полупериода горит включенная в эту сеть неоновая лампочка, если она загорается при напряжении 70 В?
657. На участке цепи сила тока меняется по закону $I = 4\cos\pi t$, а напряжение — по закону $U = 25\cos\pi t$. Определите мощность P переменного тока на этом участке.
658. К генератору переменного тока подключили печь сопротивлением 440 Ом. Определите количество теплоты, выделившейся в печи за 2 мин работы, если амплитуда напряжения 220 В.
659. К источнику переменного напряжения с амплитудой 220 В и частотой 50 Гц подключили конденсатор емкостью 10 мкФ. Запишите закон изменения заряда конденсатора и силы тока, идущего по цепи, от времени.

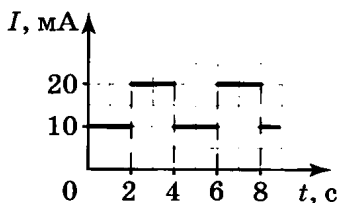


Рис. 158

660. Как изменится емкостное сопротивление, если вместо конденсатора емкостью 10 мкФ в цепь переменного тока включить конденсатор емкостью 20 мкФ ? Частота равна 100 Гц .

661. Конденсатор емкостью $4 \cdot 10^{-4} \text{ Ф}$ включен в цепь переменного тока с частотой 50 Гц . Чему равна действующая сила тока на участке цепи с конденсатором, если сопротивление подводящих проводов 6 Ом , а действующее напряжение на всем участке 14 В ?

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

663. В цепи (рис. 159) индуктивность катушки равна $2,53 \text{ мГн}$, а емкость конденсатора равна 10 мкФ , частота источника переменного тока равна 10^3 Гц . Определите силу тока, идущего через резистор.

664. Вычислите индуктивность катушки, если при ее подключении в сеть постоянного тока при напряжении 100 В сила тока в цепи 5 А , а при ее подключении в сеть переменного тока с частотой 50 Гц и амплитудным значением напряжения 100 В в цепи идет ток, амплитуда колебаний которого $1,4 \text{ А}$.

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

666. Чему равна емкость конденсатора в колебательном контуре, если индуктивность катушки $0,1 \text{ Гн}$, а резонансная частота 50 Гц ?

667. В колебательный контур с конденсатором емкостью 10 мкФ и катушкой индуктивностью $0,1 \text{ Гн}$ последовательно включили источник переменной ЭДС. При какой частоте ЭДС амплитуда силы тока в контуре будет максимальной?

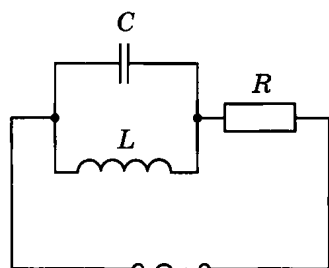


Рис. 159

Производство, передача и использование электрической энергии

Трансформаторы (§ 38)

668. При включении первичной обмотки трансформатора в сеть переменного тока на вторичной обмотке возникает напряжение 1,2 В. При включении вторичной обмотки в эту же сеть на первичной возникает напряжение 120 В. Определите отношение числа витков первичной и вторичной обмоток трансформатора.
669. Во вторичной обмотке трансформатора, состоящей из 1000 витков, возникает ЭДС 400 В. Сколько витков имеет первичная обмотка, если трансформатор подключен к источнику переменного тока с ЭДС 120 В?
670. Первичная обмотка трансформатора в ламповом радиоприемнике имеет 2000 витков, напряжение в сети 220 В. Определите число витков во вторичной обмотке трансформатора, используемого для питания электролампы, рассчитанной на напряжение 10 В и силу тока 0,5 А, если сопротивление вторичной обмотки 2 Ом.
671. Трансформатор повышает напряжение от значения 220 В до значения 660 В. Первичная обмотка трансформатора состоит из 840 витков. Сколько витков содержит вторичная обмотка и каков коэффициент трансформации данного трансформатора?
672. Сила тока и напряжение в первичной обмотке трансформатора равны 10 А и 110 В. Напряжение во вторичной обмотке равно 2200 В. Определите силу тока во вторичной обмотке.
673. Первичная обмотка понижающего трансформатора включена в сеть переменного тока с напряжением 220 В. Напряжение на зажимах вторичной обмотки 20 В, ее сопротивление 1 Ом, сила тока в ней 2 А. Определите коэффициент трансформации и КПД трансформатора. Потерями в первичной обмотке можно пренебречь.
674. Амплитудное значение ЭДС индукции, возникающей в первичной обмотке трансформатора, равно 1000 В. В обмотке 100 витков. Определите максимальное значение магнитного потока в сердечнике трансформатора при частоте переменного тока 50 Гц.
675. Для определения числа витков в первичной обмотке трансформатора на его сердечник намотали 10 витков провода и концы подключили к вольтметру. При

подаче на первичную обмотку переменного напряжения 220 В вольтметр показал напряжение 1,1 В. Чему равно число витков в первичной обмотке трансформатора?

Механические волны

Длина волны. Скорость волны. Уравнение бегущей волны (§ 44—47)

676. Длина волны 5 м, а ее частота 3 Гц. Определите скорость волны.
677. По поверхности воды в озере волна распространяется со скоростью 6 м/с. На поверхности воды плавает листок дерева. Определите частоту и период колебаний листка, если длина волны равна 3 м.
678. Рыбак заметил, что гребни волн проходят мимо носа неподвижной лодки каждые 5 с. Расстояние между гребнями приблизительно равно 1,5 м. Определите скорость волны.
679. Поперечная волна распространяется со скоростью 1000 м/с. Длина волны 10 м. Определите частоту колебаний, возбуждаемых этой волной. Изменится ли ответ, если распространяется продольная волна, имеющая те же параметры?
680. Камень брошен со скалы. Всплеск от его падения в воду был услышан через 5 с. Определите высоту скалы. Скорость звука в воздухе 330 м/с.
681. С берега высотой 5 м горизонтально бросают камень со скоростью 10 м/с. Скорость бегущей волны, образующейся на поверхности воды, равна 6 м/с. Через какой промежуток времени с момента броска камня волна дойдет до берега?
682. По длинному шнуру начинает бежать волна со скоростью 200 м/с. Амплитуда колебаний точек шнура равна 5 см, частота колебаний 5 Гц. Запишите уравнение бегущей волны, взяв за начало отсчета координаты конец шнура ($x = 0$), а начало отсчета времени — с момента начала колебаний этого конца.
683. Уравнение волны имеет вид $s = 0,2 \sin \left[20\pi \left(t - \frac{x}{300} \right) \right]$.
Определите амплитуду и период колебаний точек среды, длину волны и запишите уравнение колебаний в точке, находящейся на расстоянии 15 м от источника.
684. Волна распространяется вдоль прямой со скоростью 50 м/с. Определите разность фаз колебаний в точ-

ках, находящихся на этой прямой и отстоящих на расстоянии 50 см друг от друга. Период колебаний 0,05 с.

685. Волна возбуждается источником, уравнение колебаний которого $s = 0,1 \sin 5\pi t$. Скорость распространения волны 100 м/с. Запишите уравнение волны и найдите смещение от положения равновесия, скорость и ускорение точки, находящейся на расстоянии 180 м от источника колебаний в момент времени, равный 2 с.
686. Человек определяет длину озера, слушая эхо своего голоса, отраженного от скалы на противоположном берегу. Он слышит эхо через 1 с после крика. Чему равна длина озера? Скорость звука 330 м/с.
687. По бетонной плите ударил упавший на нее камень. Человек, наблюдавший этот удар, услышал два звука: один пришел по воздуху, другой — по бетону. Промежуток времени между ними был равен 1,2 с. Скорость звука в воздухе 343 м/с, в бетоне 5000 м/с. На каком расстоянии от человека упал камень?
688. Морзяк ударяет по борту корабля ниже уровня воды. Волна, отраженная от дна моря (эхо), приходит через 2,1 с. Определите глубину моря в этом месте, считая, что скорость звука в морской воде равна 1560 м/с.
689. Определите расстояние от наблюдателя до места, где вспыхнула молния, если промежуток времени между вспышкой и громом был равен 5 с. Скорость звука в воздухе 330 м/с, скорость света $3 \cdot 10^8$ м/с.
690. Звуковая волна переходит из воздуха в стекло. Скорость распространения звуковой волны в стекле 4500 м/с. Во сколько раз изменяется длина волны?
691. Частота звуковых волн от 17 до 20 000 Гц. Определите, в каких пределах находится длина звуковых волн, считая, что скорость звука в воздухе равна 343 м/с.
692. Наибольшая частота волн, воспринимаемых ухом как звук, равна 20 000 Гц. При повышении температуры от 0 до 20 °С скорость звука возрастает на 12 м/с. Определите, на сколько возрастает при этом наименьшая длина звуковых волн.

Электромагнитные волны

Электромагнитная волна.

Плотность потока электромагнитного излучения.

Свойства электромагнитных волн (§ 48—58)

693. Электромагнитная волна распространяется с севера на юг. В некоторый момент времени вектор индукции магнитного поля направлен вертикально вверх. Куда в этот момент направлен вектор напряженности электрического поля?
694. Как изменится направление распространения электромагнитной волны, если изменить на противоположное: 1) направление вектора \vec{B} ; 2) направление вектора \vec{E} ; 3) одновременно направления \vec{E} и \vec{B} ?
695. Может ли электромагнитная волна распространяться в вакууме?
696. Определите, на каком расстоянии от источника плотность потока излучения уменьшится в 100 раз по сравнению с плотностью потока излучения на расстоянии 100 м от источника.
697. Плотность потока солнечного излучения, падающего на границу земной атмосферы, равна 1350 Вт/м^2 . Чему равна плотность электромагнитной энергии солнечного излучения?
698. Определите длину волны электромагнитного излучения с частотами 60 и 1240 Гц в вакууме.
699. Какой диапазон частот соответствует коротким волнам, если длина волны заключена в диапазоне от 10 до 100 м?
700. Почему все телевизионные антенны на домах в одном поселке ориентированы одинаково?
701. Емкость конденсатора колебательного контура может изменяться от C_0 до $9C_0$. Определите диапазон длин волн, принимаемых этим контуром, если при емкости C_0 контур настроен на длину волны 3 м.
702. Колебательный контур состоит из катушки индуктивностью 4 мкГн и конденсатора, емкость которого можно изменять от 0,02 до 0,006 мкФ. На какой диапазон волн можно настроить этот колебательный контур?
703. Какие длины волн используются в радиолокационных установках, если частоты колебаний изменяются от 10^8 до 11^{11} Гц?
704. Радиолокатор, ведя разведку месторождений, работает на волне 12 см и дает 5000 импульсов в секунду. Длительность импульса 3 мкс. Сколько колебаний содержится в каждом импульсе и какова наибольшая глубина разведки локатора?

Оптика

Световые волны

Скорость света.

Законы отражения и преломления света (§ 59—62)

705. На предмет AB высотой h (рис. 160), стоящий на плоском зеркале, падает параллельный пучок лучей. Определите размер геометрической тени этого предмета на экране.
706. В ставне, закрывающем окно, сделано круглое отверстие диаметром 1 см. Определите ширину комнаты, если на противоположной стене образуется светлое пятно диаметром 4,7 см. Угловой диаметр Солнца приблизительно равен $0,5^\circ$.
707. Человек ростом 1,6 м отходит от фонаря, подвешенного на высоте 10 м. Определите размер тени человека, падающей на горизонтальную дорогу в тот момент, когда он отойдет от фонаря на расстояние 5 м. Будет ли постоянной скорость тени головы человека, если скорость человека постоянна?
708. К зеркалу, расположенному под углом 135° к полу (рис. 161), подходит человек, рост которого 1,6 м, со скоростью 2 м/с. Определите, с какой скоростью движется его изображение в зеркале и на каком расстоянии от зеркала человек начинает видеть свое изображение.
709. Плоское зеркало движется к предмету со скоростью $v = 1$ м/с. С какой скоростью движется изображение предмета?
710. С Земли мы наблюдаем солнечное затмение. Определите приблизительно диаметр Солнца, если известно, что диаметр Луны $d_{\text{л}} = 3,48 \cdot 10^6$ м. Расстояние от Земли до Луны $r = 3,8 \cdot 10^8$ м, а расстояние от Земли до Солнца $R = 1,5 \cdot 10^{11}$ м.
711. Луч света падает на вращающееся с угловой скоростью ω плоское зеркало

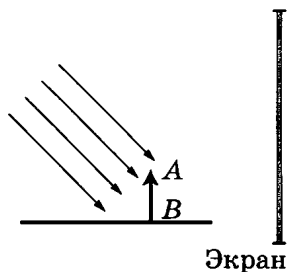


Рис. 160

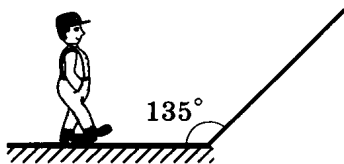


Рис. 161

перпендикулярно оси вращения. С какой скоростью движется отраженный луч?

712. Между двумя плоскими зеркалами, расположенными под углом 60° , на биссектрисе этого угла находится точечный источник света. Сколько изображений этого источника получится в зеркалах?
713. Два взаимно перпендикулярных луча падают на поверхность воды. Показатель преломления воды $1,33$. Угол падения одного из лучей 30° . Определите угол между лучами в воде.
714. Луч падает на границу раздела сред под углом 30° . Показатель преломления первой среды $n_1 = 2,4$. Определите показатель преломления второй среды n_2 , если преломленный и отраженный лучи перпендикулярны друг другу.
715. Луч падает на плоскопараллельную стеклянную пластинку толщиной 2 см под углом 30° (рис. 162). На какое расстояние сместится луч: 1) пройдя через нее; 2) испытав двойное отражение от ее граней?

716. Пучок параллельных лучей шириной 30 см падает из однородной прозрачной среды на плоскую границу с воздухом под углом 30° (рис. 163). Определите показатель преломления среды, если ширина пучка в воздухе стала равна 25 см.

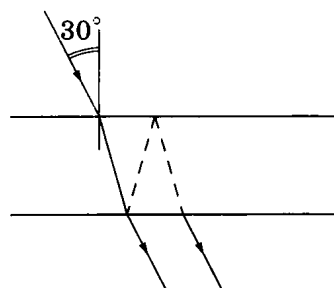


Рис. 162

717. Луч AB (рис. 164) падает на границу раздела сред под углом 45° и преломляется под углом 60° . Как будет преломляться луч DE , если между ним и границей раздела угол 30° ?

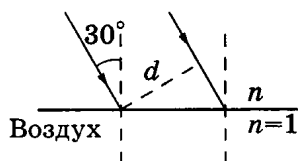


Рис. 163

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

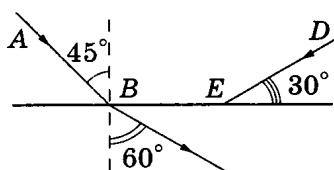


Рис. 164

719. Человек заходит в воду, погружившись на половину своего роста. Рост человека $1,8$ м, показатель преломления воды $1,33$. Какого роста кажется человек наблюдателю, если луч, отраженный

от ног человека в воде и преломленный, попадает в глаз наблюдателю под углом 60° к поверхности воды?

720. Кажущаяся глубина водоема 3 м. Определите истинную глубину водоема, если показатель преломления воды 1,33.

721. Самолет пролетает над озером на высоте 1 км. Определите, какой покажется эта высота водолазу, погрузившемуся на дно озера. Считайте, что водолаз смотрит на самолет, когда тот пролетает почти над его головой.

722. Рассеянный пучок лучей падает на верхнюю грань стеклянного куба (рис. 165). Показатель преломления стекла 1,5. Будут ли лучи выходить через боковую грань куба?

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

724. Луч света падает в центр верхней грани стеклянного кубика. Чему равен максимальный угол падения луча, при котором преломленный луч еще выйдет через нижнюю грань кубика? Показатель преломления стекла 1,5.

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

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

727. Плоскопараллельная пластинка составлена из двух треугольных призм с разными показателями преломления, причем $n_2 < n_1$. Свет падает на боковую грань перпендикулярно ребру AB (рис. 166). При каком угле α свет не пройдет через границу раздела BD ?

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

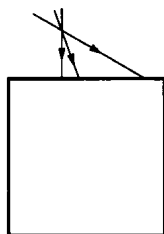


Рис. 165

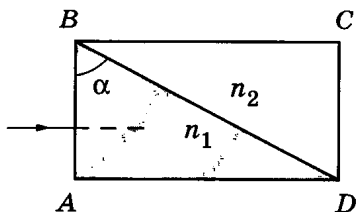


Рис. 166

729. На дне сосуда, наполненного водой до высоты 15 см, установлен точечный источник света. Определите наименьший радиус непрозрачной круглой пластины, которую нужно поместить на поверхности воды, чтобы свет из воды не выходил. Показатель преломления воды 1,3.
730. На дне цилиндрического сосуда радиусом основания 10 см и высотой 0,6 м, наполненного водой, находится точечный источник света. Стенки сосуда непрозрачны. Радиус светлого пятна на горизонтальном экране, находящемся сверху сосуда на расстоянии 1 м от его дна, равен 0,18 м. Показатель преломления воды 1,33. Определите уровень воды в сосуде.
731. Докажите, что при малых углах падения на боковую поверхность призмы угол отклонения луча γ от первоначального направления определяется по формуле $\gamma = (n - 1)\delta$, где δ — преломляющий угол призмы, n — относительный показатель преломления.
732. Определите угол отклонения луча стеклянной призмой при нормальном падении луча на ее боковую грань. Преломляющий угол призмы равен 3° . Показатель преломления стекла 1,5.
733. Луч света падает нормально на переднюю грань прямоугольной призмы с углом у вершины 30° (рис. 167). Определите показатель преломления материала призмы, если угол отклонения луча также равен 30° .
734. Каким должен быть угол у основания равнобедренной стеклянной призмы, чтобы луч, пройдя через основание и отразившись от боковых поверхностей, остался параллелен самому себе?

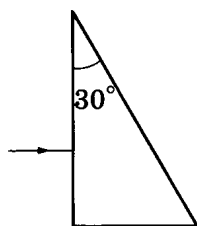


Рис. 167

Линза (§ 63—65)

735. Определите построением положение линзы и ее фокусов на рисунке 168, если S — точечный источник света, а S' — его изображение, OO' — оптическая ось линзы.
736. Определите положение линзы, если AB — изображение, CD — предмет, OO' — оптическая ось линзы (рис. 169).
737. Луч AB , преломляясь в линзе, идет вдоль прямой BC (рис. 170). Как преломляется луч DE ?
738. Постройте изображение предмета AB в собирающей линзе (рис. 171).

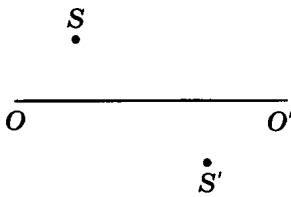


Рис. 168

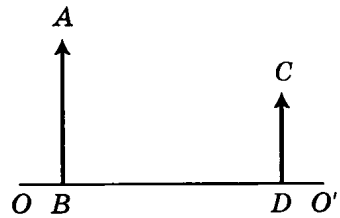


Рис. 169

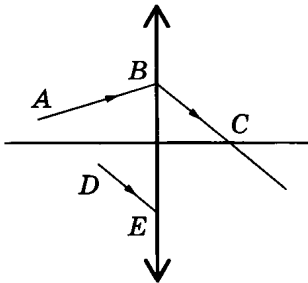


Рис. 170

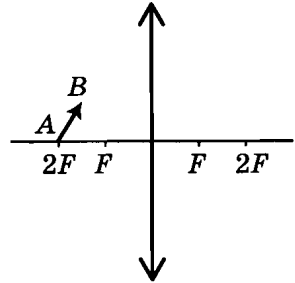


Рис. 171

739. Постройте изображение предмета AB в рассеивающей линзе (рис. 172).

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

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

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

743. Точечный источник света находится на расстоянии 40 см от собирающей линзы с фокусным расстоянием 30 см. На каком расстоянии от линзы нужно ус-

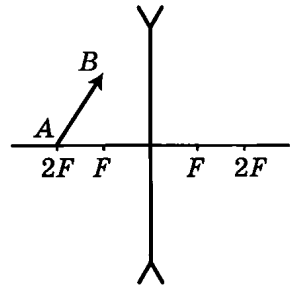


Рис. 172

тановить экран, чтобы светлое пятно на нем было диаметром 2 см? Диаметр линзы 4 см, на экран попадает только свет, прошедший через линзу.

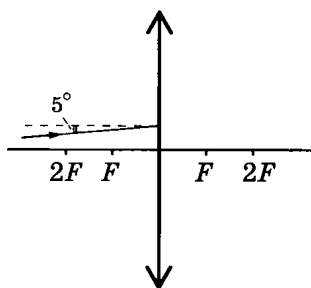


Рис. 173

744. Определите минимальное расстояние между источником света и его действительным изображением, даваемым тонкой собирающей линзой с фокусом F .
745. На поверхность тонкой собирающей линзы с фокусным расстоянием 10 см падает луч света на расстоянии 5 см от оптического центра под углом 5° к ее главной оптической оси (рис. 173). Под каким углом к главной оптической оси выйдет луч из линзы?
746. На каком расстоянии от рассеивающей линзы находится точечный источник света, если при продолжении рассеянных ею лучей они пересекутся на расстоянии 5 см от оптического центра линзы? Фокусное расстояние линзы 10 см.
747. Вдоль главной оптической оси собирающей линзы с фокусным расстоянием 5 см ползет жук со скоростью 1 м/мин. С какой скоростью надо начать перемещать экран в момент времени, когда расстояние от жука до линзы равно $3F$, чтобы на нем все время было четкое изображение жука?
748. На главной оптической оси тонкой собирающей линзы диаметром D находится точечный источник света. Из линзы выходит пучок расходящихся лучей с углом расхождения α . Определите угол расхождения лучей β в случае рассеивающей линзы. Расстояние от источника света до оптического центра линзы d . Фокусные расстояния линз одинаковы.
749. Предмет в виде стержня расположен вдоль главной оптической оси тонкой собирающей линзы так, что его концы удалены от линзы на расстояния $d_2 = (3/2)F$ и $d_1 = (5/4)F$. Во сколько раз длина изображения $\Delta l'$ больше длины самого предмета Δl ?
750. С помощью собирающей линзы на экране получено изображение предмета с увеличением 3. Расстояние между линзой и экраном 80 см. Чему равно фокусное расстояние линзы?
751. Собирающая линза дает на экране, перпендикулярном ее главной оптической оси, четкое изображение предмета с увеличением 4. Линзу сдвигают перпен-

- дикулярно оптической оси на 1 мм. На сколько при этом сместится изображение?
752. Между собирающей линзой с фокусом F и точечным источником света устанавливают плоскопараллельную стеклянную пластинку толщиной d с относительным показателем преломления стекла n . Источник находится на двойном фокусном расстоянии от линзы. На какое расстояние сместится изображение, если убрать пластинку?
753. В фокусе рассеивающей линзы с фокусным расстоянием F находится точечный источник света. На каком расстоянии от этой линзы надо поставить собирающую линзу с фокусным расстоянием $2F$, чтобы на выходе такой системы лучи были параллельны?
754. Пучок параллельных лучей проходит через две тонкие собирающие линзы, оставаясь параллельным. Расстояние между линзами 15 см. Определите фокусное расстояние первой линзы, если у второй линзы оно равно 9 см.
755. Собирающая линза с фокусным расстоянием $F_1 = 10$ см и рассеивающая линза с фокусным расстоянием $F_2 = 20$ см имеют общую главную оптическую ось. Расстояние между линзами $l = 30$ см. Точечный источник света установлен на расстоянии $d = 10$ см от рассеивающей линзы. Определите расстояние от изображения источника света, созданного обеими линзами, до собирающей линзы.

Интерференция (§ 67, 68)

756. Два громкоговорителя расположены на расстоянии 8 м друг от друга. Человек встает, как ему кажется, на середине этого расстояния. Тем не менее он не слышит звук с частотой 115 Гц. Скорость распространения звука 330 м/с. На каком расстоянии находится человек?
757. На струне в местах закрепления не происходит колебаний, т. е. в этих местах наблюдается интерференционный минимум. Длина струны 60 см. Определите две первые длины волны, которые могут быть возбуждены в этой струне.
758. Два источника находятся на расстояниях 2,1 и 4,5 м от наблюдателя. Источники излучают волны частотой 125 Гц и равной амплитудой. Услышит ли наблюдатель звук? Скорость звука равна 300 м/с.
759. В некоторую точку пространства от двух когерентных источников попадает излучение с разностью хода лучей $\Delta d = 1,8$ мкм. Определите отношение

интенсивности света в этой точке к максимальной интенсивности, если длина волны: 1) $\lambda_1 = 600$ нм; 2) $\lambda_2 = 400$ нм.

760. Две щели находятся на расстоянии 0,2 мм друг от друга и отстоят на расстоянии 1,5 м от экрана. На щели падает поток монохроматического света ($\lambda = 500$ нм) от удаленного источника. Определите расстояние между соседними интерференционными полосами.
761. Точка мыльного пузыря, ближайшая к наблюдателю, кажется ему зеленой ($\lambda = 540$ нм). Определите минимальную толщину мыльной пленки. Показатель преломления мыльной пленки 1,35.
762. Объектив фотоаппарата покрыт слоем прозрачного диэлектрика толщиной 525 нм. Обеспечивает ли это покрытие просветление объектива для зеленого света длиной волны 546 нм? Показатель преломления диэлектрика 1,31.
763. Определите минимальную толщину воздушного зазора между двумя прозрачными стеклянными пластинками, чтобы стекло при нормальном падении на него света с длиной волны 600 нм в отраженном свете казалось темным.
764. В опыте Юнга расстояние между щелями 0,4 мм, расстояние до экрана 4 м. Для какой длины световой волны расстояние между максимумами яркости света на экране равно 5 мм?
765. При отражении волн на границе с оптически более плотной средой происходит потеря половины длины волны. Исходя из этого, скажите, что мы наблюдаем в центре интерференционной картины, называемой «кольцами Ньютона».
766. На экране наблюдается интерференционная картина в красном свете ($\lambda_{кр}$). Разность хода до некоторой точки экрана равна $5\lambda_{кр}$. Что мы будем наблюдать, максимум или минимум, в этой точке экрана в фиолетовом свете ($\lambda_{ф} = 400$ нм)?
767. Чему должна быть равна минимальная толщина тонкой пленки, покрывающей стеклянную поверхность, чтобы при нормальном падении белого света она была отраженный красный цвет ($\lambda = 8 \cdot 10^{-7}$ м)? Показатель преломления пленки 1,2, стекла 1,5.
768. Чему равна минимальная толщина оптического покрытия из MgF_2 ($n = 1,38$), предназначенного для гашения света в окрестности длин волн 550 нм при нормальном падении белого света на стекло с показателем преломления 1,5?

Дифракция волн. Дифракционная решетка (§ 70—72)

769. Можно ли утверждать, что при облучении световым потоком линзы отсутствует явление дифракции?
770. Почему дифракцию механических волн мы наблюдаем чаще, чем дифракцию света?
771. Чему равна постоянная дифракционной решетки, если при ее освещении монохроматическим светом длиной волны $\lambda = 500$ нм лучи, отклоняющиеся на угол $\alpha = 15^\circ$, образуют максимум четвертого порядка?
772. Спектр получен с помощью дифракционной решетки с периодом 0,3 мкм. Линия в спектре второго порядка находится на расстоянии 5 см от центрального максимума и на расстоянии 150 см от линзы. Определите длину световой волны.
773. На дифракционную решетку, имеющую 100 штрихов на 1 мм, по нормали к ней падает белый свет. Определите длину спектра первого порядка на экране, если расстояние от линзы до экрана 2 м. Видимым считайте свет в диапазоне длин волн 400—760 нм.
774. Вычислите максимальный порядок спектра дифракционной решетки с периодом $2 \cdot 10^{-6}$ м при облучении ее светом длиной волны $5,89 \cdot 10^{-7}$ м.
775. Один миллиметр дифракционной решетки содержит $N = 20$ штрихов. Под каким углом идут лучи красного света, дающие на экране максимум второго порядка ($k = 2$)? Считайте, что длина волны красного света $\lambda = 600$ нм.

Элементы теории относительности

Постулаты теории относительности.

Основные следствия.

Связь между массой и энергией (§ 75—80)

776. Длина неподвижного стержня 1 м. Чему будет равна длина стержня для наблюдателя, относительно которого он движется со скоростью 0,6с? Вектор скорости параллелен стержню.
777. Космический корабль пролетает мимо Земли со скоростью 0,8с. Один из членов экипажа поворачивает метровый стержень из горизонтального положения вдоль скорости движения в вертикальное. Как изменится длина стержня с точки зрения: 1) другого члена экипажа; 2) наблюдателя, находящегося на Земле?

778. В неподвижном состоянии тело имеет строго сферическую форму. С какой скоростью движется это тело, если относительно неподвижного наблюдателя его диаметр вдоль направления движения составляет 0,98 вертикального диаметра?
779. При какой скорости релятивистское сокращение длины движущегося тела составляет 20%?
780. Действительно ли в движущейся системе отсчета время течет медленнее, или нам это кажется?
781. Пассажир сидит в микроавтобусе, стоящем на обочине дороги. Мимо него проносится спортивный автомобиль со скоростью 0,18с. Гонщик утверждает, что длина его автомобиля 6 м, а длина микроавтобуса 6,15 м. Чему равна длина спортивного автомобиля и микроавтобуса с точки зрения пассажира?
782. Космическая частица движется со скоростью 0,95с. Определите время движения частицы относительно неподвижного наблюдателя, если собственное время жизни частицы равно 1 мкс.
783. Собственное время жизни π -мезона $2,6 \cdot 10^{-8}$ с. С какой скоростью должна лететь эта частица, чтобы до распада пролететь 20 м?
784. Ракета движется относительно Земли со скоростью 0,6с. Во сколько раз замедлится ход времени в ракете с точки зрения земного наблюдателя?
785. Какова должна быть точность часов на борту реактивного самолета, летящего со скоростью 10^3 км/ч, для того чтобы обнаружить эффект замедления времени? Самолет облетает вокруг земного шара. Радиус Земли 6400 км.
786. Ракета летит со скоростью 0,6с относительно Земли. Ее обгоняет вторая ракета, летящая со скоростью 0,6с относительно первой. Определите скорость второй ракеты относительно Земли.
787. Радиоактивное ядро, вылетев из ускорителя со скоростью 0,4с, испускает β -частицу (электрон), летящую со скоростью 0,8с относительно ускорителя. Определите скорость β -частицы относительно ядра. Считайте, что излучение β -частицы не повлияло на скорость ядра.
788. Частица движется со скоростью 0,6с. Во сколько раз энергия частицы больше ее собственной энергии?
789. Человек массой 60 кг находится в космическом корабле, движущемся со скоростью 0,6с относительно Земли. Определите его релятивистский импульс.
790. При движении тела его размер вдоль направления движения сократился в 1,5 раза. Определите, во сколько раз изменилась при движении энергия тела.

791. Определите релятивистский импульс частицы, летящей со скоростью $0,8c$, если ее масса равна 10^{-25} кг.
792. Частица летит со скоростью $0,5c$. Определите ошибку, которую мы сделаем, посчитав импульс частицы по законам классической механики.
793. На сколько изменяется импульс частицы, если на нее действует сила 1 Н в течение 1 с? Одинаково ли при этом меняется скорость частицы, если в одном случае ее начальная скорость 10 м/с, а в другом — 10^6 м/с?
794. Определите собственную энергию электрона. Масса электрона $9,1 \cdot 10^{-31}$ кг.
795. При движении тела его энергия изменилась в $1,25$ раза. Определите скорость движения тела.
796. Импульс частицы, летящей со скоростью $0,8c$, равен $1,2 \cdot 10^{-15}$ кг · м/с. Определите ее массу.
797. Масса Солнца $1,99 \cdot 10^{30}$ кг. За год Солнце излучает энергию $1,26 \cdot 10^{34}$ Дж. За какое время масса Солнца уменьшится в 2 раза?
798. Лед при температуре 0 °С растаял. Определите изменение массы. Начальная масса льда была равна 2 кг.
799. Определите скорость движения частицы, если ее полная энергия в $1,1$ раза больше ее собственной энергии.
800. Начальный импульс частицы равен нулю. На частицу массой m начинает действовать сила F . Выразите зависимость скорости частицы от времени и покажите, что при сколь угодно большом значении времени скорость частицы не превышает скорости света.

Квантовая физика

Световые кванты

Фотоэффект (§ 88, 89)

801. Будет ли наблюдаться фотоэффект, если работа выхода электрона из металла $3,3 \cdot 10^{-19}$ Дж, а длина волны падающего на металл излучения $5 \cdot 10^{-7}$ м?
802. Определите задерживающее напряжение для электронов, испускаемых с поверхности цезия под действием излучения длиной волны 2200 \AA ($1 \text{ \AA} = 10^{-10}$ м). Работа выхода электрона из цезия $1,89$ эВ.
803. Красная граница фотоэффекта для бария $\lambda_{\max} = 5,5 \cdot 10^{-7}$ м. Определите задерживающее напряжение при облучении бариевого катода светом длиной волны $4,4 \cdot 10^{-7}$ м. Постоянная Планка $h = 6,63 \times 10^{-34}$ Дж · с.

804. Работа выхода электрона из натрия 2,27 эВ. Вычислите красную границу фотоэффекта для натрия.
805. Ультрафиолетовый свет ($\lambda_1 = 0,3$ мкм), попадая на катод фотоэлемента, выбивает поток фотоэлектронов, движущихся со скоростью $v_1 = 10^6$ м/с. Определите длину волны λ_2 света, который выбьет фотоэлектроны с кинетической энергией $E_e = 4 \cdot 10^{-19}$ Дж.
806. Красная граница фотоэффекта для некоторого металла равна 700 нм. Отношение скоростей вылетающих электронов при освещении светом длинами волн λ_1 и λ_2 равно 3 : 4. Определите λ_2 , если $\lambda_1 = 600$ нм.
807. Максимальная скорость фотоэлектронов при освещении металла монохроматическим светом длиной волны 400 нм равна $8,2 \cdot 10^5$ м/с, а при освещении того же металла монохроматическим светом длиной волны 600 нм она равна $5,5 \cdot 10^5$ м/с. Вычислите постоянную Планка h .
808. Металлический шарик облучают светом длиной волны 2000 Å (1 ангстрем = 10^{-10} м). Шарик заряжается до максимального потенциала 3 В. Определите работу выхода электрона из металла.
809. С какой максимальной скоростью вылетают электроны с поверхности цезия при освещении ее желтым светом длиной волны 590 нм? Работа выхода электрона из цезия $3,02 \cdot 10^{-19}$ Дж.
810. Максимальная скорость электронов, вырванных с поверхности меди при фотоэффекте, $9,3 \cdot 10^6$ м/с. Определите длину волны излучения, вызывающего фотоэффект.
811. При падении света длиной волны 200 нм на металл задерживающее напряжение равно 1,64 В. Что это за металл?
812. При какой длине электромагнитной волны энергия фотона была бы равна $E_\phi = 1,326 \cdot 10^{-19}$ Дж?
813. Определите энергию фотона для света длиной волны 700 нм.
814. Рубиновый лазер излучает импульс из 10^{20} фотонов длиной волны 693 нм. Длительность импульса $5 \cdot 10^{-4}$ с. Вычислите среднюю мощность излучения лазера.
815. Определите абсолютный показатель преломления среды, в которой свет с энергией фотонов $6,63 \cdot 10^{-19}$ Дж имеет длину волны $1,5 \cdot 10^{-5}$ см. Постоянная Планка $6,63 \cdot 10^{-34}$ Дж · с.
816. Используя связь массы и энергии, определите отношение масс фотонов, соответствующих излучениям длинами волн 800 нм (инфракрасное излучение) и 200 нм (ультрафиолетовое излучение).

817. Определите длину волны излучения, кванты которого имеют такую же энергию, что и электрон, прошедший разность потенциалов 82 В.
818. Интенсивность солнечного света, достигающего Земли, равна 1300 Вт/м^2 . Сколько фотонов падает на 1 см^2 за 1 с? Средняя длина волны считается равной 550 нм.
819. Кристалл рубина облучается вспышкой света длительностью 10^{-3} с и мощностью 200 кВт. Длина световой волны 0,7 мкм. Кристалл поглощает 10% энергии излучения. Определите число квантов света, поглощенных кристаллом.
820. Определите максимальный заряд, который может быть накоплен на конденсаторе емкостью $2 \cdot 10^{-4} \text{ Ф}$, одна из обкладок которого облучается светом длиной волны $5 \cdot 10^{-7} \text{ м}$. Работа выхода электрона равна $3 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$.
821. Металл освещается светом длиной волны 0,25 мкм. Определите максимальный импульс, передаваемый металлу при вылете каждого электрона. Красная граница фотоэффекта 0,28 мкм. Импульсом фотона можно пренебречь.
822. Определите длину волны де Бройля для электрона, ускоренного разностью потенциалов, равной 1000 В.
823. Сравните длину волны де Бройля для частицы с импульсом $10^{-23} \text{ кг} \cdot \text{м/с}$ с минимальной длиной волны в спектре видимого света.

Атомная физика

Строение атома. Модель атома водорода. Лазеры (§ 94—97)

824. Электрон в атоме водорода перешел из основного стационарного состояния, энергия которого равна $-13,6 \text{ эВ}$, в возбужденное, энергия которого равна $-3,4 \text{ эВ}$. Определите энергию фотона, излученного атомом при возвращении в основное состояние.
825. Определите частоту излучения при переходе электрона из третьего стационарного состояния ($E_3 = -1,5 \text{ эВ}$) во второе ($E_2 = -3,6 \text{ эВ}$).
826. Определите скорость движения электрона в атоме водорода, находящегося на второй орбите, радиус которой равен $2,11 \cdot 10^{-10} \text{ м}$.
827. Можно ли возбудить атом водорода, если его облучать фотонами, энергия которых равна 10 эВ (см. задачу 824)?

828. Увидим ли мы излучение атома водорода при переходе электрона из третьего стационарного состояния во второе?
829. Объясните, почему в спектре водорода много линий, хотя в атоме только один электрон.
830. Определяет ли период обращения электрона в атоме частоту излучения атома?
831. Чему должна быть равна минимальная частота фотона, при которой возможна ионизация атома водорода, находящегося в основном состоянии?
832. Оцените размер атома водорода, если скорость электрона на первой боровской орбите равна $2,19 \cdot 10^6$ м/с.
833. Вычислите отношение гравитационной и электростатической сил, действующих на электрон в атоме водорода.
834. Какую минимальную ускоряющую разность потенциалов должен пройти один электрон, чтобы перевести электрон в атоме водорода со второй стационарной орбиты на третью?
835. Стержень рубинового лазера имеет длину 30 см. Сколько раз отразится волна от торцов лазера за «время жизни» атома в возбужденном состоянии 2 (рис. 174)?

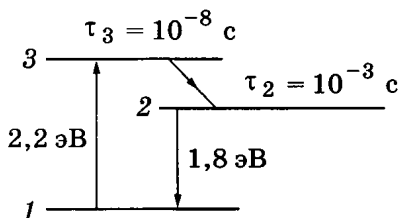


Рис. 174

Физика атомного ядра

Радиоактивность. Закон радиоактивного распада. Изотопы. Нейтрон (§ 99—104)

836. Какое ядро образуется в результате α -распада ядра изотопа урана ${}_{92}^{234}\text{U}$?
837. Какое ядро образуется в результате электронного β -распада ядра изотопа водорода ${}^3_1\text{H}$?
838. Какое ядро образуется в результате α -распада изотопа радия ${}_{88}^{226}\text{Ra}$?
839. Какой химический элемент образуется после четырех α -распадов и двух β -распадов элемента тория ${}_{90}^{232}\text{Th}$?
840. Вследствие радиоактивного распада уран ${}_{92}^{238}\text{U}$ превращается в свинец ${}_{82}^{206}\text{Pb}$. Сколько α - и β -превращений при этом он испытывает?
841. Определите, реакция деления какого ядра произошла под действием нейтрона по схеме ${}^A_Z\text{Z} + {}^1_0n \longrightarrow 2{}^4_2\text{He} + 2{}^1_1\text{H} + 3{}^1_0n$.

842. Период полураспада изотопа иода $^{131}_{53}\text{I}$ равен $T = 8$ сут. Сколько радиоактивных изотопов останется в образце через месяц, если начальная масса образца $m = 50$ г?
843. Период распада изотопа радия $^{226}_{88}\text{Ra}$ равен 1600 лет. Сколько ядер изотопа испытает распад за 3200 лет? Начальное число радиоактивных ядер равно 10^9 .
844. Процентное содержание калия в организме человека около 0,19% от его массы. При этом радиоактивные ядра калия составляют 0,012%, период полураспада изотопа $^{40}_{19}\text{K}$ 1,24 млрд лет. Сколько ядер изотопа распадается в тканях организма человека за 1 с (масса 50 кг)?
845. При каком из процессов требуется большая энергия: при возбуждении атома или при возбуждении ядра?

Строение атомного ядра. Энергия связи (§ 105, 106)

846. Определите дефект массы и энергию связи ядра гелия ^4_2He .
847. Вычислите дефект массы и энергию связи ядра углерода $^{12}_6\text{C}$.
848. Сравните энергию связи электрона с ядром в атоме водорода с удельной энергией связи ядра водорода ^2_1H . Масса ядра водорода 2,014102 а. е. м. Энергия связи электрона с ядром рассчитывается по формуле $E_{\text{св.эл}} = k \frac{q_2}{r_1}$, где r_1 — радиус первой боровской орбиты.
849. Определите дефект массы и энергию связи трития ^3_1H ($m_{\text{я}} = 3,016049$ а. е. м.).
850. Определите энергию, которая может выделиться при образовании из протонов и нейтронов гелия массой 8 г.
851. Вычислите полную и удельную энергию связи ядра ^6_3Li .

Ядерные реакции (§ 107–112)

852. Радиоактивный азот $^{13}_7\text{N}$ при распаде превращается в изотоп углерода $^{13}_6\text{C}$. Напишите уравнение ядерной реакции. Какая частица при этом излучается?
853. Вычислите энергию, выделяющуюся при ядерной реакции $^9_4\text{Be} + ^4_2\text{He} \rightarrow ^{12}_6\text{C} + ^1_0\text{n}$.
854. Какая энергия выделяется при реакции $^6_3\text{Li} + ^1_1\text{H} \rightarrow ^3_2\text{He} + ^4_2\text{He}$?

855. Определите энергетический выход реакций синтеза
 ${}^2_1\text{H} + {}^2_1\text{H} \longrightarrow {}^3_2\text{He} + {}^1_0n$, ${}^2_1\text{H} + {}^3_1\text{H} \longrightarrow {}^4_2\text{He} + {}^1_0n$.
856. При делении одного ядра урана освобождается энергия порядка 200 МэВ. Какое количество энергии освобождается при делении урана массой 3 кг? Какое количество нефти надо сжечь, чтобы получить такую же энергию?
857. Может ли произойти реакция ${}^{13}_6\text{C} + {}^1_1\text{H} \longrightarrow {}^{13}_7\text{N} + {}^1_0n$ при бомбардировке ядра углерода протонами с энергией 2 МэВ?
858. При каком значении коэффициента размножения нейтронов k возможна цепная реакция деления? Чему должен быть равен k для стационарного течения реакции?
859. Средняя поглощенная доза излучения сотрудником, работающим с рентгеновской установкой, равна 7 мкГр в час. Опасна ли эта работа? Допустимая доза облучения за год 0,05 Гр. Человек работает 200 дней в году по 6 ч в сутки.
860. После аварии на Чернобыльской АЭС в некоторых местах регистрируется гамма-излучение мощностью 160 мкР в час. Определите, во сколько раз доза излучения превосходит предельно допустимую дозу для человека.

В этой части книги дано краткое изложение тем, не ощенных в классическом курсе физики, однако знание которых требуется на вступительных экзаменах в вуз.

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

Работа силы тяготения и потенциальная энергия тела в поле силы тяготения

Найдем выражение для работы силы тяготения и докажем, что работа этой силы не зависит от формы траектории.

Пусть тело массой m находится в поле тяготения Земли. Размер тела мал по сравнению с радиусом Земли, и его можно считать материальной точкой.

На тело действует сила тяготения $F = G \frac{mM_3}{r^2}$.

Считаем, что тело перемещается по прямой от точки A , находящейся от центра Земли на расстоянии r_A , к точке B , находящейся на расстоянии r_B (рис. 175).

Так как сила тяготения непрерывно уменьшается, разделим перемещение $\vec{r}_B - \vec{r}_A$ на малые перемещения $\Delta \vec{r}_i$, в пределах которых силу тяго-

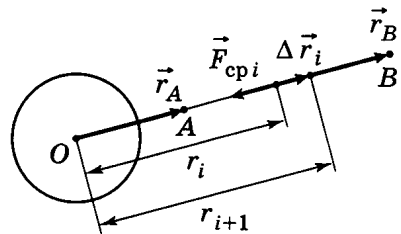


Рис. 175

тения можно считать постоянной и равной $F_{cpi} = G \frac{mM_3}{r_{cpi}^2}$,

где $r_{cpi}^2 \cong r_i r_{i+1}$. Чем меньше перемещение, тем точнее это значение.

Тогда работа силы \vec{F}_{cpi} на малом перемещении $\Delta \vec{r}_i$ равна, учитывая, что угол между $\Delta \vec{r}_i$ и \vec{F}_{cpi} 180° ,

$$\Delta A_i = -F_{cpi}(r_{i+1} - r_i) = -G \frac{mM_3}{r_i r_{i+1}} (r_{i+1} - r_i) = -GmM_3 \left(\frac{1}{r_i} - \frac{1}{r_{i+1}} \right).$$

Суммарная работа силы тяготения при перемещении тела из точки A в точку B равна

$$\begin{aligned} A &= \Delta A_1 + \Delta A_2 + \dots + \Delta A_i + \dots + \Delta A_k = \\ &= -GmM_3 \left[\left(\frac{1}{r_A} - \frac{1}{r_1} \right) + \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) + \dots + \left(\frac{1}{r_k} - \frac{1}{r_B} \right) \right] = \\ &= -GmM_3 \left(\frac{1}{r_A} - \frac{1}{r_B} \right), \end{aligned} \quad (1)$$

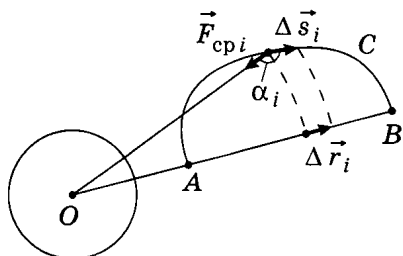


Рис. 176

где ΔA_k — работа на последнем малом перемещении тела, дошедшего до точки B .

Определим работу силы тяготения при движении тела по кривой ACB (рис. 176). Работа силы тяготения на малом перемещении будет равна $\Delta A_i = -F_{cpi} \Delta s_i \cos \alpha_i$. Из рисунка видно, что $\Delta s_i \cos \alpha_i = \Delta r_i$. Следовательно, работа

силы тяготения при движении по этой кривой находится по формуле (1). Очевидно, что при перемещении тела по замкнутой траектории, например по траектории $ABCA$, работа силы тяготения равна нулю. Таким образом, работа силы тяготения не зависит от формы траектории, а зависит только от положения начальной и конечной точек траектории. Следовательно, сила является консервативной и тело, находящееся в поле силы тяготения, обладает потенциальной энергией.

Изменение потенциальной энергии тела при перемещении от A к B равно

$$\Delta E_p = E_{pB} - E_{pA} = -A = GmM_3 \left(\frac{1}{r_A} - \frac{1}{r_B} \right).$$

Если за нулевой уровень отсчета потенциальной энергии принять бесконечно удаленную точку, т. е. считать, что при $r_B \rightarrow \infty$ $E_{pB} = 0$, то потенциальная энергия тела массой m , находящегося на расстоянии r от центра Земли, будет равна

$$E_p = -G \frac{mM_3}{r}.$$

ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

1. В точке, находящейся на расстоянии от центра Земли, равном трем радиусам Земли, скорость метеорита массой 3 кг была равна нулю. Рассчитайте работу силы тяготения при приближении метеорита к поверхности Земли. Определите также его скорость у поверхности Земли.

Решение. Согласно формуле (1)

$$A = -GmM_3 \left(\frac{1}{3R_3} - \frac{1}{R_3} \right) = \frac{2}{3} \frac{GmM_3}{R_3}. \quad (2)$$

Можно выполнить вычисления, так как в полученное выражение входят известные величины. Однако для удоб-

ства расчета «спустим» метеорит на Землю, где сила тяжести, действующая на метеорит, равна силе тяготения:

$$mg = G \frac{mM_3}{R_3^2}.$$

Тогда $GM_3 = gR_3^2$. Подставив это выражение в формулу (2), получим $A = \frac{2}{3} mgR_3$.

Из теоремы об изменении кинетической энергии следует, что $E_{k2} - E_{k1} = A$, где E_{k1} и E_{k2} — кинетические энергии метеорита на расстояниях $3R_3$ и R_3 от центра Земли. Кинетическая энергия в начальной точке $E_{k1} = 0$ по условию задачи.

Таким образом,

$$A = \frac{mv_k^2}{2} = \frac{2}{3} mgR_3,$$

откуда $v_k = 2\sqrt{\frac{gR_3}{3}}$,

$$A = \frac{2}{3} \cdot 3 \cdot 9,8 \cdot 6,4 \cdot 10^6 = 1,25 \cdot 10^8 \text{ (Дж)},$$

$$v_k = 9,1 \cdot 10^3 \text{ м/с}.$$

2. Определите минимальную скорость v_{II} , которую надо сообщить телу на поверхности Земли, чтобы оно вышло за пределы действия сил земного притяжения (эта скорость называется второй космической скоростью).

Решение. На поверхности Земли тело обладает и кинетической, и потенциальной энергией.

Механическая энергия тела равна

$$E = \frac{mv_{II}^2}{2} - G \frac{mM_3}{R_3}.$$

В бесконечно удаленной от Земли точке, т. е. при $r \rightarrow \infty$, $E_p = 0$ и $E_k = 0$ (нас интересует минимальная начальная скорость тела).

Применяя закон сохранения механической энергии, получаем

$$\frac{mv_{II}^2}{2} - G \frac{mM_3}{R_3} = 0,$$

откуда $v_{II} = \sqrt{\frac{2GM_3}{R_3}} = \sqrt{2gR_3}$;

$$v_{II} = 11,2 \cdot 10^3 \text{ м/с} = 11,2 \text{ км/с}.$$

ЗАДАЧИ

861. Чему равно изменение потенциальной энергии метеорита массой 3 кг при его падении на Землю с расстояния от центра Земли, равного трем радиусам Земли?
862. Определите выражение для потенциальной энергии тела массой m , находящегося на расстоянии, равном двум радиусам Земли, считая от ее центра, если за нулевой уровень отсчета принять поверхность Земли.
863. Чему будет равна вторая космическая скорость, если тело запускают с высоты, равной $3R_3$ от поверхности Земли?
864. От ракеты, движущейся вверх со скоростью $1,8 \cdot 10^3$ м/с, на расстоянии 1600 км от поверхности Земли отделяется ступень, которая затем падает на Землю. Определите скорость этой ступени в момент падения на Землю. Спротивлением воздуха пренебрегите.
865. В каких пределах может изменяться скорость спутников Земли?
866. Определите работу, которую надо совершить, чтобы вывести спутник с поверхности Земли на орбиту радиусом r .
867. Чему равна работа двигателя космического корабля массой 2 т при его переводе с орбиты, находящейся на расстоянии 100 км от поверхности Земли, на более высокую орбиту, расположенную на расстоянии 300 км?
868. Какую ошибку мы допускаем, используя формулу $E_p = mgh$ для определения изменения потенциальной энергии при подъеме тела на высоту $h = 100$ км от поверхности Земли?
869. Определите скорость, которую надо сообщить телу с поверхности Земли, чтобы оно вышло за пределы Солнечной системы (эта скорость называется третьей космической скоростью v_{III}). Расстояние от Земли до Солнца $R = 1,5 \cdot 10^8$ км, масса Солнца $M = 1,99 \cdot 10^{30}$ кг.

Абсолютно упругий удар

Абсолютно упругим ударом называется взаимодействие, в результате которого кинетическая энергия системы тел не изменяется.

ПРИМЕР РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ

Определите скорости двух шаров массами m_1 и m_2 после прямого абсолютно упругого удара. Скорости шаров до удара соответственно равны v_1 и v_2 (рис. 177, а), после удара u_1 и u_2 (рис. 177, б). Трением можно пренебречь.

Решение. Прямым ударом называется взаимодействие, при котором векторы скорости лежат на линии, проходящей через центры масс (тяжести) тел, в данном случае через центры шаров.

Так как трением можно пренебречь, а сумма внешних сил (тяжести и реакции опоры) равна нулю, то для системы тел можно применить закон сохранения импульса:

$$m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 = m_1 \vec{u}_1 + m_2 \vec{u}_2.$$

Проецируя импульсы тел на ось OX , запишем

$$m_1 v_1 - m_2 v_2 = -m_1 u_1 + m_2 u_2. \quad (3)$$

Согласно определению абсолютно упругого удара кинетическая энергия системы тел сохраняется, следовательно,

$$\frac{m_1 v_1^2}{2} + \frac{m_2 v_2^2}{2} = \frac{m_1 u_1^2}{2} + \frac{m_2 u_2^2}{2}. \quad (4)$$

Уравнения (3) и (4) составляют систему двух уравнений относительно двух неизвестных u_1 и u_2 . Решим ее следующим способом. Перенесем все члены, содержащие m_1 , в левую часть уравнения, а члены, содержащие m_2 , в правую часть:

$$m_1(v_1 + u_1) = m_2(v_2 + u_2), \quad (5)$$

$$m_1(v_1^2 - u_1^2) = m_2(u_2^2 - v_2^2). \quad (6)$$

Очевидно, что $u_1 \neq -v_1$ и $u_2 \neq -v_2$, так как скорости шаров после соударения должны измениться.

Разделив равенство (6) на равенство (5), получим

$$v_1 - u_1 = u_2 - v_2, \text{ откуда } u_2 = v_1 + v_2 - u_1. \quad (7)$$

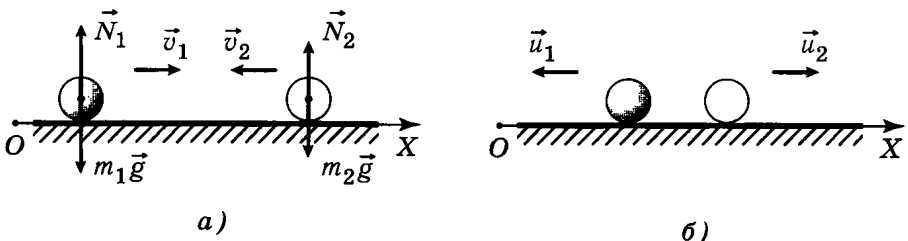


Рис. 177

Подставив u_2 в формулу (3), найдем выражение для u_1 :

$$u_1 = \frac{2m_2v_2 + v_1(m_2 - m_1)}{m_1 + m_2}.$$

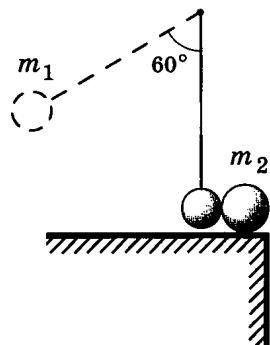
Зная u_1 , из формулы (7) определим u_2 :

$$u_2 = \frac{2m_1v_1 + v_2(m_1 - m_2)}{m_1 + m_2}.$$

ЗАДАЧИ

870. Покажите, что после прямого абсолютно упругого удара тела с одинаковыми массами обмениваются скоростями.
871. Определите скорости шаров после абсолютно упругого прямого удара. Массы шаров равны 1 и 3 кг, скорости до удара равны 5 и 2 м/с. Рассмотрите два случая: 1) шары движутся навстречу друг другу; 2) один шар догоняет другой.
872. Два шара движутся навстречу друг другу с одинаковыми по модулю скоростями. Определите отношение скоростей шаров после абсолютно упругого удара, если отношение их масс равно $2/3$.
873. Шар массой m_1 ударяет по неподвижному шару массой m_2 . Считая взаимодействие шаров абсолютно упругим, определите, при каком отношении m_1/m_2 подвижный шар: 1) потеряет всю энергию; 2) не потеряет энергию.
874. При каких значениях отношения m_1/m_2 шары, движущиеся навстречу друг другу с одинаковыми скоростями, после прямого удара разлетаются в разные стороны?
875. Определите максимальное значение потенциальной энергии при взаимодействии двух упругих шаров массами m_1 и m_2 , если шары летят: 1) навстречу друг другу со скоростями v_1 и v_2 ; 2) друг за другом с теми же скоростями.
876. Электрон, движущийся со скоростью v , налетает на неподвижный атом. Массы электрона и атома соответственно равны m_e и m_a , причем $m_e \ll m_a$. При больших значениях энергии электрона его взаимодействие с атомом можно считать абсолютно упругим. Определите энергию, которую передает электрон атому.
877. Шарик массой m_1 , равной 1 кг, висит на нити длиной 0,5 м. Его отклоняют так, что нить составляет 60° с вертикалью, и отпускают (рис. 178). Когда он проходит положение равновесия, то ударяет шарик

массой m_2 , равной 2 кг, лежащий на краю стола высотой 1 м. Определите, на каком расстоянии от стола упадет второй шарик.



878. Определите, на какой максимальный угол отклонится нить после удара (см. задачу 877).

879. Движущийся шар массой m_1 ударяет по неподвижному шару массой m_2 . В результате этого абсолютно упругого прямого удара шар массой m_1 потерял $3/4$ своей кинетической энергии. Чему равно отношение масс шаров?

Рис. 178

880. Мяч массой 1 кг, летящий горизонтально со скоростью 6 м/с, ударяется об экран, стоящий на тележке и наклоненный под углом 45° к горизонту. Масса тележки с экраном 10 кг. Определите, на какую высоту поднимется мяч после удара. Удар считайте абсолютно упругим. Трением пренебрегите.

881. Во сколько раз уменьшится скорость атома гелия после упругого столкновения с неподвижным атомом водорода? Масса атома водорода в 4 раза меньше массы атома гелия.

882. Два гладких упругих шара радиусом r лежат, соприкасаясь друг с другом, на гладкой горизонтальной плоскости. Третий упругий шар радиусом $2r$, скользящий со скоростью v , ударяет одновременно оба шара (рис. 179). Определите скорость большого шара после удара. Шары сделаны из одного материала.

883. Два упругих шарика одинаковой массы налетают друг на друга со скоростями v_1 и v_2 под углом α и разлетаются после абсолютно упругого удара со скоростями u_1 и u_2 под углом β . Определите угол β .

884. Докажите, что после упругого столкновения шаров одинаковой массы, один из которых был неподвижен, в случае непрямого удара они разлетаются под углом 90° .

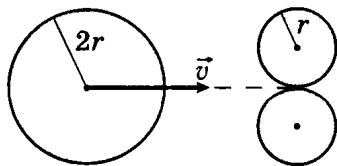


Рис. 179

Гидромеханика

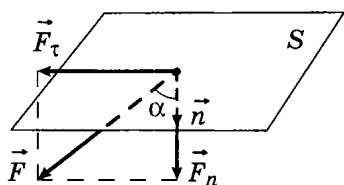


Рис. 180

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

давление. Выделим в жидкости некоторую поверхность (рис. 180), S — ее площадь, вектор¹ \vec{n} — нормаль к ней. В общем случае на нее может действовать сила \vec{F} , направленная под углом α к нормали. Разложим эту силу на две составляющие: \vec{F}_τ и \vec{F}_n (касательную и нормальную к поверхности).

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

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

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

Давление может изменяться при переходе от одной точки жидкости к другой, и, следовательно, давление является функцией координат x, y, z — $p(x, y, z)$. Для определения давления в заданной точке M (рис. 181) берем

¹Вектор \vec{n} — единичный вектор, направленный перпендикулярно (по нормали) к поверхности.

элемент поверхности (ΔS — его площадь) и находим давление как предел отношения силы F_n к ΔS при $\Delta S \rightarrow 0$:

$p = \frac{F_n}{\Delta S}$, причем точка M должна принадлежать ΔS .

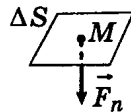


Рис. 181

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

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

Это означает, что давление в точке A будет равно давлению на стенку сосуда в точке B , так как давление в обеих точках определяется силой тяжести жидкости над уровнем AB (рис. 182). Если в открытый сосуд налита жидкость, то давление в точке A определится как сумма атмосферного давления $p_{\text{атм}}$ и давления p столба жидкости над уровнем AB , которое равно

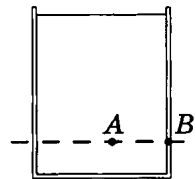


Рис. 182

$$p = \frac{mg}{S} = \frac{\rho h S g}{S} = \rho g h. \quad (8)$$

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

Итак,

$$p_A = p_{\text{атм}} + \rho g h.$$

Закон Паскаля позволяет объяснить действие устройства, используемого для получения больших сил, называемого гидравлическим прессом. Гидравлический пресс состоит из двух цилиндров разных диаметров, снизу соединенных трубкой (рис. 183). Обозначим площадь большого сечения S_1 , малого — S_2 . В сосудах налита жидкость, сверху находятся два поршня. Давления под обоими поршнями равны. Если на малый поршень действует сила $F_2 = p S_2$, то для удержания большого

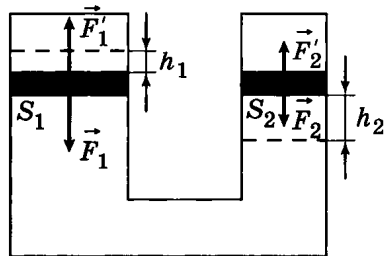


Рис. 183

поршня в равновесии на него должна действовать сила $F_1 = pS_1$, при этом

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

откуда

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

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

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

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

сила F_1 совершает работу

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

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

$$h_1 S_1 = h_2 S_2.$$

Следовательно, мы показали, что $A_1 = A_2$.

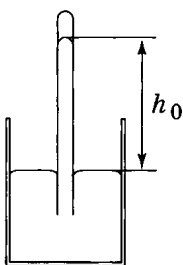


Рис. 184

Для измерения атмосферного давления Торричелли изобрел прибор (рис. 184), который назвал ртутным барометром. Длинная стеклянная трубка заполняется ртутью и опускается открытым концом в сосуд с ртутью. Уровень ртути в трубке опускается, и в верхней части образуется вакуум. Силу тяжести оставшегося столбика в трубке компенсирует сила атмосферного давления. Таким образом, давление столбика ртути высотой 760 мм равно атмосферному.

Атмосферное давление — это гидростатическое давление столба воздуха, которое равно давлению столбика ртути высотой $h_0 = 760$ мм:

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

Более распространенным прибором для измерения давления является барометр-анероид. Стрелка в нем прикреплена к крышке коробки, из которой откачан воздух.

Стенки коробки гибкие и могут деформироваться тем сильнее, чем больше давление.

Формула (8) показывает, что давление на разных уровнях в жидкости различно. Вследствие этого на тело, погруженное в жидкость, действует выталкивающая сила.

Закон Архимеда: на тело, погруженное в жидкость или газ, действует сила, равная весу вытесненной жидкости.

Погрузим в жидкость цилиндр высотой h и площадью основания S (рис. 185). Давление на глубине h_1 равно

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

а на глубине h_2

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

Силы давления, действующие на основания цилиндра, равны

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

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

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

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

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

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

$$F_{\text{выт}} = \rho V(g + a).$$

Точка приложения выталкивающей силы необязательно должна совпадать с центром тяжести тела. Выталкивающая сила приложена к телу в точке, совпадающей с центром тяжести объема вытесненной жидкости, эту точку называют **центром давления**. При погружении тела линии действия силы тяжести и выталкивающей силы

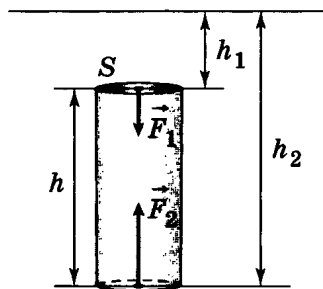


Рис. 185

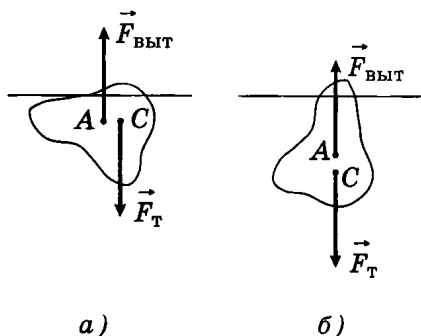


Рис. 186

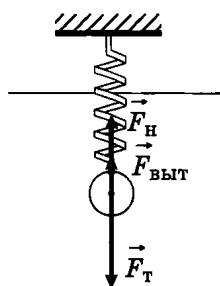


Рис. 187

не всегда совпадают (рис. 186, а). Пусть C — точка приложения силы тяжести, действующей на тело, A — точка приложения выталкивающей силы (сила Архимеда). Сумма моментов этих сил относительно любой оси вращения, перпендикулярной плоскости чертежа, не равна нулю. Так как в жидкостях нет силы трения покоя, то под действием этих сил тело начнет поворачиваться в жидкости до тех пор, пока силы не будут направлены вдоль одной прямой. Тогда суммарный момент сил станет равным нулю (рис. 186, б).

Равнодействующая выталкивающей силы и силы тяжести называется **подъемной силой**. Если плотность тела ρ больше плотности жидкости $\rho_{ж}$, то выталкивающая сила $F_{\text{выт}}$ меньше силы тяжести $F_{\text{т}}$: $F_{\text{выт}} < F_{\text{т}}$, $\rho_{ж} < \rho$ — тело тонет. Подвесим тело на пружине и поместим систему в эту жидкость. На тело будут действовать силы: тяжести, выталкивающая и натяжения пружины (рис. 187). Тогда

$$F_{\text{т}} = F_{\text{выт}} + F_{\text{н}},$$

где $F_{\text{н}}$ — сила натяжения пружины. Вес тела определяется силой натяжения пружины:

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

Если плотность тела равна плотности жидкости, то тело находится в состоянии безразличного равновесия (сила натяжения равна нулю):

$$F_{\text{выт}} = mg, \rho_{ж} = \rho.$$

Если же плотность тела меньше плотности жидкости, то выталкивающая сила больше силы тяжести:

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

Для того чтобы тело удержать под водой, должна действовать внешняя сила. Тело в этом случае может на-

ходиться в равновесии, если оно не полностью погружено в жидкость.

Условие равновесия:

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

где V_1 — объем погруженной в жидкость части тела.

ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

1. В сообщающихся сосудах разных диаметров находится ртуть. После того как в более узкий сосуд налили столб масла высотой $h_0 = 60$ см, уровень ртути в широком сосуде повысился относительно первоначального положения AA' на $H = 0,7$ см (рис. 188).

Определите отношение диаметров D/d сообщающихся сосудов, если плотность масла $\rho_{\text{м}} = 800$ кг/м³, плотность ртути $\rho_{\text{рт}} = 1,36 \cdot 10^4$ кг/м³. Примите $g = 10$ м/с².

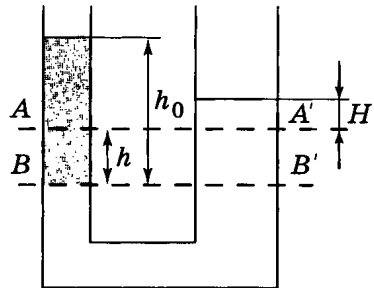


Рис. 188

Решение. Из закона Паскаля следует, что однородная жидкость в сообщающихся сосудах устанавливается таким образом, что давления во всех точках горизонтальной поверхности одинаковы и высоты столбов жидкости в обоих сосудах одинаковы. Если в один из сосудов налить жидкость другой плотности, не смешивающуюся с первой, то высоты столбов жидкости в сосудах будут различны. Давление на границе двух жидкостей в первом сосуде и давление жидкости во втором сосуде на том же горизонтальном уровне должны быть равны.

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

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

откуда

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

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

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

Отношение диаметров сосудов

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

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

Решение. Плотность тела равна $\rho = \frac{m}{V}$. Следовательно, для определения ρ необходимо знать массу тела и его объем V .

Силой Архимеда в воздухе можно пренебречь ($\rho_{\text{воз}} \ll \rho_{\text{в}}$), поэтому $P_1 = mg$ и $m = \frac{P_1}{g}$.

В воде на тело действуют силы: тяжести, натяжения (равная весу тела) и выталкивающая (Архимеда) (рис. 189). Условие равновесия запишется в виде

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

В проекции на ось OY

$$F_H + F_{\text{выт}} - mg = 0,$$

откуда

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

Объем тела равен

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

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

$$= \frac{P_1 \rho_{\text{в}}}{P_1 - P_2};$$

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

Рис. 189

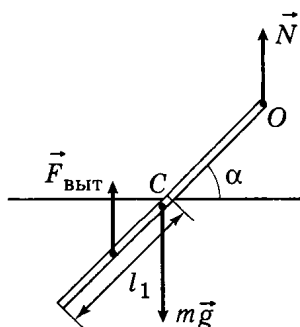
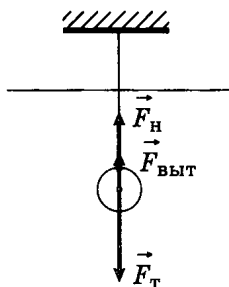


Рис. 190

3. Тонкая палочка, плотность которой $\rho_{\text{п}} = 750$ кг/м³, одним концом опущена в воду, а другим шарнирно закреплена (рис. 190). Какая часть длины палочки находится в воде?

Решение. На палочку действуют следующие силы: тяжести mg , Архимеда $F_{\text{выт}}$ и реакции опоры в месте закрепления одного конца \vec{N} .

Обратим внимание на точки приложения перечисленных сил. Сила Архимеда определяется длиной погруженной части палочки l_1 , и точка ее приложения совпадает с центром тяжести вытесненного объема воды. Условие равновесия палочки — алгебраическая сумма моментов сил относительно оси, проходящей через точку O , равна нулю:

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

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

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

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

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

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

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

Решение. В воздухе на шар действуют две силы (рис. 191, а): сила тяжести $\vec{F}_{\text{т}} = m\vec{g}$ и сила натяжения $\vec{F}_{\text{н1}} = -\vec{P}_1$. Запишем условие равновесия:

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

или в проекции на ось OY :

$$F_{\text{н1}} - mg = 0,$$

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

где $V_{\text{м}} = \frac{P_1}{\rho_{\text{м}} g}$ — объем стенок шара.

В воде на шар действуют три силы: сила тяжести $\vec{F}_{\text{т}} = m\vec{g}$, сила натяжения $F_{\text{н2}} = P_2$ и выталкивающая сила $\vec{F}_{\text{выт}}$ (рис. 191, б). Условие равновесия шара

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

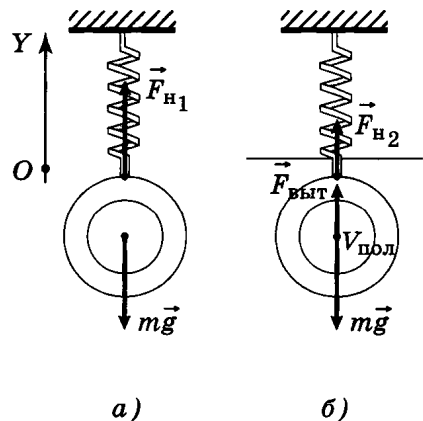


Рис. 191

Это уравнение в проекции на ось OY имеет вид

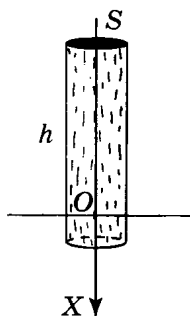
$$F_{н2} + F_{\text{выт}} - mg = 0, \text{ где } F_{\text{выт}} = \rho_{\text{в}}(V_{\text{пол}} + V_{\text{м}})g,$$

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

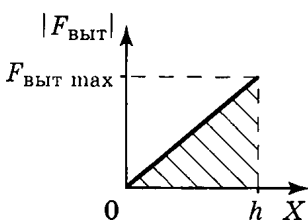
$$\begin{aligned} \text{Тогда } F_{\text{выт}} &= mg - P_2 = P_1 - P_2 = \rho_{\text{в}}(V_{\text{пол}} + V_{\text{м}})g = \\ &= \rho_{\text{в}} \left(V_{\text{пол}} + \frac{P_1}{\rho_{\text{м}}g} \right) g, \end{aligned}$$

$$\text{откуда } V_{\text{пол}} = \frac{P_1 - P_2}{\rho_{\text{в}}g} - \frac{P_1}{\rho_{\text{м}}g};$$

$$V_{\text{пол}} = \frac{17,8 - 14,2}{10^3 \cdot 10} - \frac{17,8}{8,9 \cdot 10^3 \cdot 10} = 1,6 \cdot 10^{-4} \text{ (м}^3\text{)}.$$



а)



б)

Рис. 192

5. Бревно высотой h и площадью поперечного сечения S погружают в воду в вертикальном положении (рис. 192, а). Определите работу, которую совершает выталкивающая сила при полном погружении бревна.

Решение. Выталкивающая сила по модулю равна $F_{\text{выт}} = \rho_{\text{в}}gSx$, где x — глубина погружения бревна. Величина x изменяется от 0 до h , и соответственно выталкивающая сила, действующая на бревно, изменяется от 0 до значения $F_{\text{выт max}} = \rho_{\text{в}}gSh$. На рисунке 192, б изображена зависимость выталкивающей силы от глубины погружения. Работа этой силы равна площади заштрихованного треугольника и определяется выражением

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

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

ЗАДАЧИ

885. В цилиндрический сосуд налиты ртуть и вода, причем их массы одинаковы. Общая высота столба жид-

- кости 1 м. Определите давление жидкости на дно сосуда. Плотность ртути $13,6 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$.
886. В открытый сосуд налиты вода и керосин, массы жидкостей одинаковы. Общая высота двух слоев жидкостей 1,125 м. Определите давление на дно сосуда. Плотность керосина 800 кг/м^3 . Атмосферное давление $1,013 \cdot 10^5 \text{ Па}$.
887. Определите плотность однородного тела, вес которого в воздухе 10 Н, а в воде 6 Н.
888. Определите вес тела в воздухе, если известно, что в воде вес его равен 10 Н. Объем тела 0,5 л.
889. Шарик, подвешенный на пружине, опускают в воду. Растяжение пружины уменьшается при этом в 1,5 раза. Вычислите плотность материала шарика.
890. Деревянный кубик, ребро которого 9 см, плавает в воде, на $2/3$ своего объема погруженный в воду. Определите массу груза, который надо положить на кубик, чтобы он полностью погрузился в воду.
891. На границе двух жидкостей плотностями ρ_1 и ρ_2 плавает шайба плотностью ρ ($\rho_1 < \rho < \rho_2$). Высота шайбы h . Определите глубину ее погружения во вторую жидкость.
892. Однородное тело плавает на поверхности керосина так, что объем погруженной части составляет 0,92 объема тела. Определите, какая часть объема будет погружена, если поместить тело в воду. Плотности воды и керосина соответственно равны 10^3 и 800 кг/м^3 .
893. В стакан до краев налита вода. Определите объем воды, которая выльется из стакана, если в него опустить тело массой 20 г. Плотность материала тела 800 кг/м^3 . Какая часть объема тела при этом погружена в воду?
894. Деревянный кубик ($\rho = 850 \text{ кг/м}^3$) плавает в воде ($\rho_{\text{в}} = 10^3 \text{ кг/м}^3$). Поверх воды наливают слой масла ($\rho_{\text{м}} = 800 \text{ кг/м}^3$) так, что кубик полностью погружается в жидкость. Определите толщину слоя масла, если длина ребра кубика 10 см.
895. Небольшой пробковый шарик погружают в воду на глубину 1 м и отпускают. На какую высоту над поверхностью воды подскочит шарик? Поверхностным натяжением и сопротивлением воды пренебрегите. Плотность пробки $2 \cdot 10^2 \text{ кг/м}^3$.
896. Брусочек сделан из сплава железа и никеля. Определите процентное содержание сплава, если известно, что брусочек весит в воздухе 33,52 Н, а в воде 29,6 Н. Плотность железа $7,8 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$, никеля $8,8 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$.

897. Свая массой 73,5 кг, длиной 10 м и площадью поперечного сечения 10 см^2 полностью погружена в воду. Какую минимальную работу надо совершить, чтобы вытащить ее из воды?
898. Тело плавает в воде так, что под водой находится половина его объема. С каким ускорением надо перемещать сосуд вверх, чтобы тело полностью погрузилось в воду?
899. Шарик всплывает с постоянной скоростью в жидкости, плотность которой в 4 раза больше плотности материала шарика. Определите силу сопротивления жидкости при движении в ней шарика, считая ее постоянной. Масса шарика 10 г.
900. Лыдина площадью 1 м^2 и толщиной 0,4 м плавает в воде. Какую работу надо совершить, чтобы ее полностью погрузить в воду?
901. Сосуд с жидкостью движется горизонтально с ускорением a . Определите угол наклона поверхности жидкости к горизонту.
902. В один из сообщающихся сосудов одинакового сечения налита вода плотностью ρ_1 , в другой — масло плотностью ρ_2 . На какое расстояние переместится граница раздела жидкостей в горизонтальной трубке, соединяющей сосуды, если на поверхность воды налить слой этого же масла толщиной h ? Площадь поперечного сечения горизонтальной трубки в k раз меньше площади поперечного сечения сосудов.
903. При подъеме груза массой $m = 2000 \text{ кг}$ с помощью гидравлического пресса затрачена работа $A = 40 \text{ Дж}$. При этом малый поршень сделал $n = 10$ ходов, перемещаясь за один ход на $h = 10 \text{ см}$. Во сколько раз площадь сечения большого поршня больше площади сечения малого?
904. Площади поперечных сечений поршней гидравлического пресса, заполненного водой, равны соответственно 100 и 10 см^2 . На больший поршень помещают груз массой 2 кг . На какую высоту поднимается при этом малый поршень?

Давление смеси газов. Закон Дальтона

Если в сосуде вместимостью V находится смесь газов, то давление смеси определяется законом Дальтона.

! **Закон Дальтона:** давление смеси газов равно сумме парциальных давлений: $p = p_1 + p_2 + \dots + p_n$.

Парциальное давление p_i — давление i -й компоненты смеси, если бы она занимала весь объем, т. е.

$$p_i = \frac{m_i RT}{M_i V},$$

где m_i и M_i — масса и молярная масса i -й компоненты смеси соответственно. Таким образом, если в сосуде находится смесь n различных газов, то

$$p = \sum_i p_i = \frac{RT}{V} \sum_{i=1}^n \frac{m_i}{M_i}.$$

Так как $\frac{m_i}{V} = \rho_i$ — плотность i -й компоненты, то

$$p = RT \sum_{i=1}^n \frac{\rho_i}{M_i}.$$

Атмосферное давление также определяется суммой парциальных давлений компонентов, из которых в основном состоит воздух, — кислорода, углекислого газа, азота, паров воды:

$$p_{\text{атм}} = \left(\frac{m_1}{M_1} + \frac{m_2}{M_2} + \frac{m_3}{M_3} + \frac{m_4}{M_4} \right) \frac{RT}{V} = \frac{m}{M_{\text{эф}}} \frac{RT}{V},$$

где m_1, m_2, m_3, m_4 и M_1, M_2, M_3, M_4 соответственно массы и молярные массы кислорода, углекислого газа, азота и паров воды в объеме V , $M_{\text{эф}}$ — эффективная молярная масса воздуха, равная 0,029 кг/моль.

ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

1. Сосуд разделен пополам полупроницаемой перегородкой (рис. 193), пропускающей водород и не пропускающей кислород. В левую половину сосуда впускают кислород массой $m_1 = 36$ г и водород массой $m_2 = 4$ г. Вместимость сосуда $V = 20$ л, температура $t = 27$ °С. Определите давление в левой и правой половине сосуда после установления равновесия.

Решение. В левой половине сосуда будут находиться кислород и водород, в правой — только водород (из-за условия полупроницаемости перегородки). Давление в левой половине сосуда, согласно закону Дальтона, равно

$$p_1 = p_{\text{H}} + p_{\text{O}},$$

где p_{H} — парциальное давление водорода, равное $\frac{m_2 RT}{M_2 V}$,

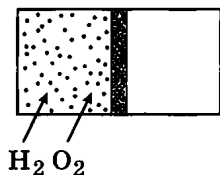


Рис. 193

p_0 — парциальное давление кислорода, равное $\frac{m_1}{M_1} \left(\frac{RT}{2} \right)$.

Тогда

$$p_1 = \left(\frac{RT}{V} \right) \left(\frac{m_2}{M_2} + \frac{2m_1}{M_1} \right);$$

$$p_1 = \frac{8,31 \cdot 300}{2 \cdot 10^{-2}} \left(\frac{0,004}{0,002} + \frac{0,064}{0,032} \right) = 4,96 \cdot 10^5 \text{ (Па)}.$$

Давление в правой половине сосуда определяется только парциальным давлением водорода:

$$p_2 = p_H = \frac{m_2}{M_2} \frac{RT}{V}, \quad p_2 = 2,48 \cdot 10^5 \text{ Па}.$$

2. В закрытый сосуд вместимостью $V = 10^{-2} \text{ м}^3$, наполненный сухим воздухом при давлении $p_0 = 10^5 \text{ Па}$ и температуре 0°C , вводят воду массой $m = 3 \text{ г}$. Сосуд нагревают до 100°C . Чему равно давление влажного воздуха в сосуде при этой температуре?

Решение. Давление влажного воздуха равно сумме парциальных давлений сухого воздуха и водяного пара:

$$p = p_v + p_n.$$

Предположим, что вся вода испарилась, давление паров определим из уравнения

$$p_n = \frac{m}{M} \frac{RT}{V} = \frac{0,003 \cdot 8,31 \cdot 373}{0,018 \cdot 10^{-2}} = 5,2 \cdot 10^4 \text{ (Па)}.$$

Давление пара меньше, чем давление насыщенного пара при 100°C ($p_{н.п} = 1,013 \cdot 10^5 \text{ Па}$), поэтому наше предположение о том, что вся вода испарилась, справедливо. Давление воздуха при нагревании увеличивается по закону Шарля:

$$p_v = \frac{p_0}{T_0} T = \frac{10^5}{273} \cdot 373 = 1,37 \cdot 10^5 \text{ (Па)}.$$

Таким образом,

$$p = p_v + p_n;$$

$$p = 1,89 \cdot 10^5 \text{ Па}.$$

ЗАДАЧИ

905. Вычислите отношение массы сухого воздуха и массы воздуха с влажностью 70% при температуре 20°C и атмосферном давлении $1,013 \cdot 10^5 \text{ Па}$. Молярная мас-

- са сухого воздуха $0,29$ кг/моль. Объемы сухого и влажного воздуха равны 1 м³.
906. Определите плотность смеси газов, содержащей водород массой 4 г и кислород массой 32 г при 7 °С и давлении 10^5 Па.
907. Считая, что воздух состоит только из кислорода и азота, определите процентное содержание этих газов в атмосфере. Эффективная молярная масса воздуха $0,029$ кг/моль.
908. В баллон вместимостью 110 л помещен водород массой $0,8$ г и кислород массой $1,6$ г. Определите давление смеси на стенки сосуда, если температура окружающей среды 27 °С.
909. Чему равен объем, который занимает смесь газов, состоящая из кислорода и азота массами 1 кг при нормальных условиях?
910. Во сколько раз плотность сухого воздуха больше плотности водяного пара, содержащегося в воздухе при относительной влажности 90% ? Атмосферное давление равно 10^5 Па. Температура воздуха равна 19 °С.

Свойства жидкости

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

Рассмотрим молекулу 1 (рис. 194), находящуюся на поверхности жидкости, и молекулу 2 , находящуюся внутри жидкости. Молекула 2 со всех сторон притягивается соседними молекулами, и вследствие этого результирующая сил, действующих на нее со стороны этих молекул, равна нулю. Концентрация молекул жидкости больше, чем концентрация молекул пара, находящегося над жидкостью, следовательно, сила, действующая на молекулу 1 со стороны окружающих ее молекул, отлична от нуля и направлена внутрь жидкости. Таким образом, переход молекулы из толщи в поверхностный слой сопровождается совер-

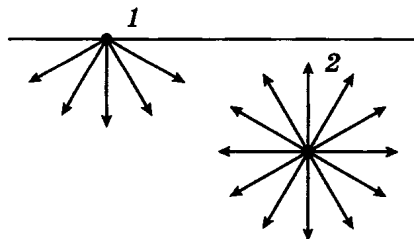


Рис. 194

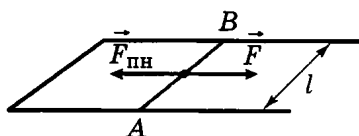


Рис. 195

шением работы против этой силы, т. е. молекулы на поверхности обладают большей потенциальной энергией. Всякая система стремится прийти в состояние с минимальной потенциальной энергией, поэтому поверхность жидкости стремится

сжаться, на поверхности жидкости должно оставаться как можно меньше молекул. Например, свободно летящая капля жидкости имеет сферическую форму, так как при данном объеме площадь поверхности сферы минимальна.

Пусть пленка жидкости натянута на рамку, одна сторона которой AB подвижна (рис. 195). Для удержания в покое подвижной стороны рамки должна действовать сила \vec{F} , направленная в сторону, противоположную силе поверхностного натяжения $\vec{F}_{п.н.}$, стремящейся уменьшить площадь поверхности пленки. Сила поверхностного натяжения направлена по касательной к поверхности жидкости и прямо пропорциональна длине стороны рамки l :

$$F = 2\alpha l,$$

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

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

При увеличении площади поверхности жидкости внешними силами должна быть совершена работа

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

где ΔS — изменение площади двух поверхностей пленки. Отсюда

$$\alpha = \frac{A}{\Delta S},$$

т. е. коэффициент поверхностного натяжения численно равен работе, которую надо совершить, чтобы увеличить площадь поверхности жидкости на единицу. Коэффициент поверхностного натяжения выражается в ньютонах на метр (Н/м).

На поверхности твердого тела форма капли может быть разной. Капля может растекаться по поверхности твердого тела (рис. 196). Это означает, что сила взаимодействия между молекулами жидкости меньше, чем между молекулами жидкости и твердого тела. В этом случае

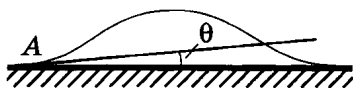


Рис. 196



Рис. 197

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

может собираться на поверхности твердого тела (рис. 197). В этом случае силы взаимодействия между молекулами жидкости больше, чем между молекулами жидкости и твер-

дого тела ($\theta > \frac{\pi}{2}$), т. е. жидкость не смачивает поверхность

твердого тела. Если $\theta = 0$, то наблюдается полное (идеальное) смачивание; если $\theta = \pi$ — полное несмачивание.

Наличие поверхностного натяжения объясняет форму поверхности жидкости в тонких трубках — капиллярах. Если капилляр радиусом r_0 опустить в жидкость, смачивающую поверхность капиллярной трубки, то поверхность жидкости будет иметь форму вогнутого мениска и жидкость будет подниматься по капилляру. Высоту подъема жидкости можно оценить из условия равновесия столбика жидкости (рис. 198). На столбик жидкости действуют сила тяжести и сила поверхностного натяжения. На каждый элемент контура С действует сила, равная $\Delta F = \alpha \Delta l$ и направленная по касательной к поверхности жидкости. В силу симметрии очевидно, что суммарная сила поверхностного натяжения равна

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

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

Из условия равновесия имеем

$$\alpha 2\pi r_0 \cos \theta = \rho h \pi r_0^2 g.$$

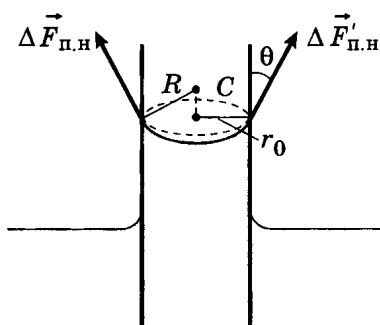


Рис. 198

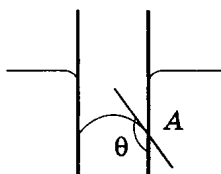


Рис. 199

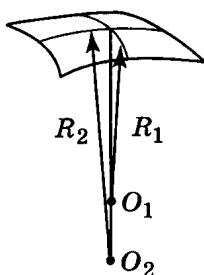


Рис. 200

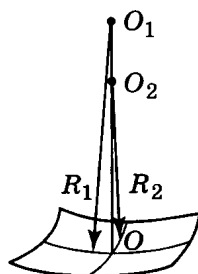


Рис. 201

Отсюда

$$h = \frac{2\alpha \cos \theta}{\rho g r_0}. \quad (9)$$

Если капилляр опустить в жидкость, не смачивающую поверхность капилляра, то жидкость опускается в капилляре, поскольку сила поверхностного натяжения будет направлена вниз (рис. 199). Высота, на которую опустится жидкость в капилляре, также может быть рассчитана по формуле (9).

Очевидно, что давление под искривленной поверхностью жидкости отличается от давления под горизонтальной поверхностью. Так, под выпуклой поверхностью давление больше, а под вогнутой меньше, чем под горизонтальной поверхностью.

Суммарное добавочное давление равно

$$\Delta p = \Delta p_1 + \Delta p_2 = \alpha \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \text{ — формула Лапласа.}$$

Радиус кривизны считается положительным, если центр кривизны находится в жидкости. На рисунке 200 $R_1 > 0$ и $R_2 > 0$. Радиус кривизны считается отрицательным, если центр кривизны находится вне жидкости (рис. 201), $R_1 < 0$ и $R_2 < 0$.

ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

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

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

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

где r — радиус маленькой капли. Для увеличения площади поверхности должна быть совершена работа

$$A = \alpha 4\pi(r^2 n - R^2). \quad (10)$$

Эта работа равна увеличению потенциальной энергии поверхностного слоя жидкости за счет уменьшения потенциальной энергии капли, обусловленной силой тяжести:

$$-\Delta W_{\text{п}} = mgh.$$

Масса капли равна $m = \rho \frac{4}{3} \pi R^3$. Объем жидкости сохраняется, поэтому

$$\frac{4}{3} \pi R^3 = n \frac{4}{3} \pi r^3, \text{ откуда } r = \frac{R}{\sqrt[3]{n}}.$$

Подставим эти выражения в равенство (10):

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

2. Левое колено U-образной трубки имеет радиус 0,5 мм, а правое — 1 мм (рис. 202). Чему равна разность уровней воды в этой трубке? Коэффициент поверхностного натяжения воды равен 0,073 Н/м, крайний угол $\theta = 0^\circ$, $g = 10 \text{ м/с}^2$.

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

$$\Delta p_1 = \frac{2\alpha}{r_1} \cos\theta \text{ и } \Delta p_2 = \frac{2\alpha}{r_2} \cos\theta$$

($\cos\theta = 1$) определит разность уровней воды в коленах капиллярной трубки:

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

$$\Delta h = 2 \cdot 0,073 \cdot \left(\frac{1}{0,5 \cdot 10^{-3}} - \frac{1}{1 \cdot 10^{-3}} \right) \frac{1}{10^3 \cdot 10} = 0,0146 \text{ (м)} \approx 0,015 \text{ (м)}.$$

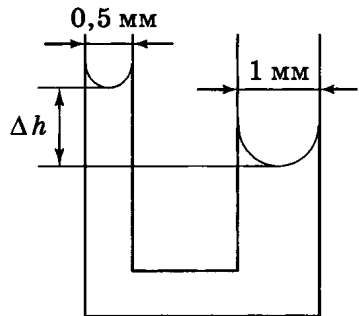


Рис. 202

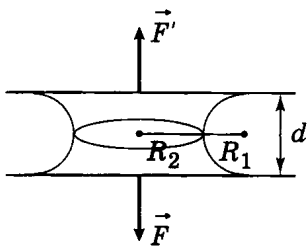


Рис. 203

3. Определите силу, приложив которую можно разъединить два стекла, между которыми попала капля воды массой m (рис. 203). Расстояние между стеклами d , коэффициент поверхностного натяжения воды α , плотность воды ρ . Вода полностью смачивает поверхность стекол.

Решение. Благодаря искривлению поверхности давление в жидкости меньше атмосферного и стекла

прижаты друг к другу. Радиусы кривизны поверхности

жидкости $R_1 = \frac{d}{2} < 0$, $R_2 > 0$. Объем капли $V = \pi R_2^2 d$ (пре-

небрегаем тем, что образующая цилиндра — вогнутая кривая, и считаем объем капли равным объему цилиндра).

Объем капли можно выразить иначе: $V = \frac{m}{\rho}$, откуда

$R_2 = \sqrt{\frac{m}{\pi \rho d}}$. Поскольку $R_2 > |R_1|$ (расстояние между стеклами мало), то $\Delta p = \alpha \left(\frac{1}{R_2} - \frac{1}{R_1} \right) < 0$.

Искомая сила равна

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

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

Решение. Для того чтобы определить форму нижнего мениска, найдем, на какую высоту h_0 поднимается вода в капилляре диаметром d_0 , опущенном в воду (рис. 204).

По формуле (9) $h_0 = \frac{2\alpha}{\rho g r_0}$ ($\theta = 0^\circ$, $\cos \theta = 1$);

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

Мы видим, что $h_1 < h_0 < h_2$.

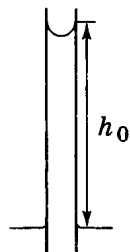


Рис. 204

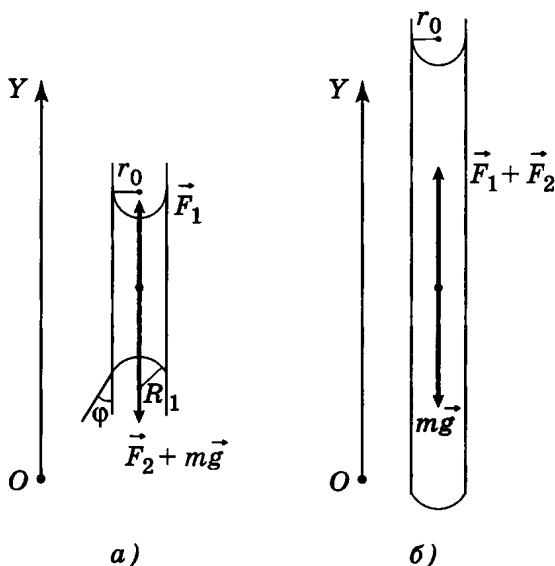


Рис. 205

Следовательно, в первом капилляре нижний мениск вогнутый (рис. 205, а), а во втором — выпуклый (рис. 205, б).

Запишем условие равновесия столбика воды в капилляре:

$$\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + m\vec{g} = 0. \quad (11)$$

В случае а \vec{F}_1 и \vec{F}_2 направлены в противоположные стороны. Тогда в проекции на ось OY уравнение (11) примет вид

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

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

Из рисунка 205, а очевидно, что $\frac{r_0}{R_1} = \cos \varphi$. Тогда

$$F_2 = \alpha \pi d_0 \frac{r_0}{R_1} = \frac{\alpha \pi d_0^2}{2R_1}.$$

Масса столбика воды $m = \frac{\pi d_0^2}{4} h_1 \rho$. Подставляя F_1 и F_2 в формулу (11), имеем

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

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

Аналогично в случае б $F_1 + F_2 - mg = 0$ (см. рис. 205, б).

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

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

Окончательно имеем

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

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

ЗАДАЧИ

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

Определите расстояние между пластинами, если известно, что стекло смазано и вода его не смачивает. Масса каждой капли 1 г. Коэффициент поверхностного натяжения воды 0,073 Н/м.

Тепловое расширение жидких и твердых тел

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

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

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

$$l = l_0 (1 + \alpha t), \quad (12)$$

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

$$l_2 = l_1 (1 + \alpha \Delta t), \quad (13)$$

где l_1 — размер тела при t_1 , $\Delta t = t_2 - t_1$.

Оценим ошибку при расчете по формуле (13). Если известен размер тела l_1 при температуре t_1 , то из формулы (12) можно определить длину при 0°C :

$$l_0 = \frac{l_1}{1 + \alpha t_1}. \quad (14)$$

Тогда из формулы (13), считая, что $t_1 = 0^\circ\text{C}$, $\Delta t = t_2$, $l_1 = l_0$, определим l_2 : $l_2 = l_0 (1 + \alpha t_2)$. Подставляя l_0 из формулы (14) в это выражение, получаем

$$l_2 = l_0 (1 + \alpha t_2) = \frac{l_1 (1 + \alpha t_2)}{(1 + \alpha t_1)}, \quad (15)$$

где αt — маленькая величина, поэтому, пренебрегая числами $(\alpha t)^2$, можно считать, что

$$\frac{1}{1 + \alpha t_1} \approx 1 - \alpha t_1.$$

Тогда с точностью до членов того же порядка можно преобразовать выражение (15) для l_2 :

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

Заметим, что изменения температуры, измеренной по шкалам Цельсия и Кельвина, совпадают, поэтому можно записать

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

При нагревании объем тела изменяется также по линейному закону:

$$V = V_0(1 + \beta t), \quad (16)$$

$$\text{или } V = \beta V_0 \Delta T,$$

где V_0 — объем тела при 0°C (273 К), β — коэффициент объемного расширения, $\Delta T = T - 273$ К.

Заметим, что не имеет смысла говорить о линейном расширении жидкости, так как жидкость принимает форму сосуда, в который она налита. Имеет смысл говорить только о ее объемном расширении. Формула (16) справедлива для расчетов изменения объема твердых и жидких тел.

Найдем связь между коэффициентами линейного и объемного расширения. Пусть длина ребра кубика при 0°C равна l_0 , тогда его объем при температуре t равен

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

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

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

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

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

Подставив в эту формулу значение объема из формулы (16), получим

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

где ρ_0 — плотность при 0°C .

ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

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

Решение. При нагревании на Δt длина каждого стержня увеличивается:

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

Длина нового стержня

$$l = (l_{10} + l_{20})(1 + \alpha t), \text{ где } \alpha \text{ — искомый коэффициент.}$$

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

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

откуда

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

2. На сколько изменится вес тела, помещенного в керосин, если керосин нагреть на 50°C ? Тело представляет собой медный шарик радиусом $r = 2$ см. Коэффициент линейного расширения меди $\alpha_m = 1,7 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$, плотность керосина $\rho_k = 0,8 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ при $t = 20^\circ\text{C}$.

Решение. Изменение веса обусловлено изменением выталкивающей силы при нагревании:

$$\Delta P = \Delta F_{\text{выт}}.$$

Выталкивающая сила при 20°C равна

$$F_{\text{выт1}} = \rho_{k1} V_1 g,$$

а при 50°C равна

$$F_{\text{выт2}} = \rho_{k2} V_2 g.$$

Объем шарика равен

$$V_1 = \frac{4}{3} \pi r^3, \quad V_2 = V_1(1 + \beta_m \Delta t),$$

поскольку $\beta_m = 3\alpha_m$, $V_2 = V_1(1 + 3\alpha_m \Delta t)$.

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

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

Следовательно,

$$\Delta P = \left[\frac{\rho_{к1}}{1 + \beta_{к}\Delta t} V_1(1 + 3\alpha_{м}\Delta t) - \rho_{к1}V_1 \right] g = \rho_{к1} \left(\frac{1 + 3\alpha_{м}\Delta t}{1 + \beta_{к}\Delta t} - 1 \right) g \frac{4}{3} \pi r^3;$$

$$\Delta P = 0,8 \cdot 10^3 \frac{4}{3} \cdot 3,14 \cdot 8 \cdot 10^{-6} \cdot 9,8 \cdot \left(\frac{1 + 3 \cdot 1,7 \cdot 10^{-5} \cdot 50}{1 + 0,001 \cdot 50} - 1 \right) =$$

$$= 0,251 \text{ (Н)}.$$

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

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

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

Изменение объема бензина равно

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

Изменение объема бака равно

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

Объем вытекшего бензина равен

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

Коэффициент объемного расширения стали равен

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

Тогда

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

$$\Delta V \approx 2 \text{ л}.$$

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

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

$$\frac{\Delta l}{l} = \frac{1}{E} \sigma, \quad (17)$$

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

$$l_2 = l_1(1 + \alpha\Delta t), \quad (18)$$

$$\text{то } \Delta l = l_1\alpha\Delta t.$$

Выразив Δl из формулы (17) и подставив в выражение (18), получим

$$\alpha\Delta t = \frac{\sigma}{E},$$

откуда $\sigma = E\alpha\Delta t$. Тогда искомая сила

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

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

ЗАДАЧИ

918. Длина алюминиевой проволоки при температуре 0°C равна 430 см, а длина стальной проволоки при этой же температуре равна 433 см. При какой температуре длины этих проволок одинаковы? Коэффициенты линейного расширения алюминия и стали равны соответственно $2,4 \cdot 10^{-5}$ и $1,2 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$.
919. На сколько градусов нужно нагреть тонкое стальное кольцо, чтобы через него проходил шарик радиусом 4 см? Радиус кольца до нагревания 3,98 см. Коэффициент линейного расширения стали $1,1 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$.
920. На сколько градусов необходимо нагреть алюминиевую проволоку сечением 6 мм^2 , чтобы у нее была та же длина, что и под действием растягивающей силы 508 Н? Коэффициент линейного расширения алюминия $2,4 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$, модуль Юнга $7 \cdot 10^{10} \text{ Н/м}^2$.
921. При температуре 0°C радиус колес вагона равен 1 м. На сколько будет отличаться число оборотов колес вагона летом ($t_1 = 25^\circ\text{C}$) от числа оборотов этих колес зимой ($t_2 = -25^\circ\text{C}$) на длине пути 60 км? Коэффициент линейного расширения материала колеса $1,2 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$.
922. Покажите, что изменение площади однородной прямоугольной пластинки длиной a и шириной b при нагревании на ΔT равно $2\alpha ab\Delta T$. Коэффициент линейного расширения α , величинами порядка $(\alpha\Delta T)^2$ можно пренебречь.
923. На сколько изменится площадь поверхности медного шарика диаметром 10 см при нагревании его на 800°C ? Коэффициент линейного расширения меди $1,7 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$.
924. Медный лист площадью 1 м^2 нагрели от 20 до 600°C . Определите изменение площади.
925. Железные линейку и стержень нагревают на 20°C , причем начальная температура линейки 0°C , стерж-

ня 10°C , а их длины при этих температурах одинаковы и равны 58 см. На сколько увеличиваются при нагревании длины линейки и стержня?

926. Стальная струна длиной 3 м натянута над окном между двумя стенами. Как изменяются сила натяжения и потенциальная энергия струны при охлаждении ее на 30°C ? Площадь поперечного сечения 1 мм^2 . Считайте, что до охлаждения деформацией струны можно пренебречь.

Относительная диэлектрическая проницаемость

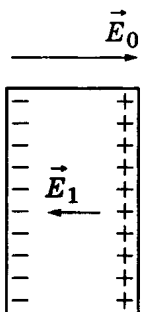


Рис. 206

В диэлектриках поле ослабляется.

Поместим пластину из диэлектрика в однородное электрическое поле (рис. 206). Так как разноименные заряды притягиваются, то на поверхности пластины появляются связанные электрические заряды, причем левая сторона пластины будет заряжена отрицательно, а правая положительно. Диэлектрик поляризуется. Напряженности \vec{E}_0 и \vec{E}_1 направлены в разные стороны, поэтому суммарная напряженность поля в диэлектрике $E = E_0 - E_1$.

Одной из характеристик диэлектрика является относительная диэлектрическая проницаемость, показывающая, во сколько раз модуль напряженности электрического поля в диэлектрике меньше модуля напряженности электрического поля в вакууме:

$$\varepsilon = \frac{E_0}{E}.$$

Значения ε даны в таблице 10.

Если внутри диэлектрика находятся точечные заряды, то сила взаимодействия определяется по формуле

$$F = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{|q_1||q_2|}{\varepsilon r^2},$$

где ε_0 — электрическая постоянная, q_1 и q_2 — модули зарядов, r — расстояние между ними.

В СИ $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м.

Заметим, что k в законе Кулона (см. § 89 учебника «Физика, 10») равно $\frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \approx 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2}$.

Произведение $\varepsilon_0\varepsilon$ называется абсолютной диэлектрической проницаемостью.

ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

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

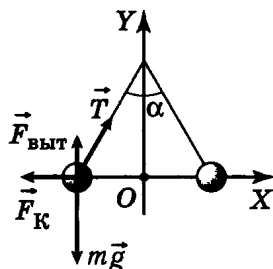


Рис. 207

Решение. На каждый из шариков действуют четыре силы: тяжести $m\vec{g}$, натяжения \vec{T} , Архимеда $\vec{F}_{\text{выт}}$ и Кулона \vec{F}_K (рис. 207).

Условие равновесия шарика имеет вид

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

В проекциях на ось OX

$$T \sin \frac{\alpha}{2} - F_K = 0, \quad (19)$$

на ось OY

$$T \cos \frac{\alpha}{2} + F_{\text{выт}} - mg = 0. \quad (20)$$

Сила Кулона равна $F_K = k \frac{q^2}{\epsilon R^2}$, где R — расстояние между шариками; сила Архимеда (выталкивающая сила) равна $F_{\text{выт}} = \rho \frac{4}{3} \pi r^3 g$. Из формул (19) и (20) найдем

$$F_K = (mg - F_{\text{выт}}) \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}. \quad (21)$$

Подставив в формулу (21) выражения для сил и учтя, что $R = 2l \sin \frac{\alpha}{2}$, получим $\frac{q^2}{16\pi\epsilon_0 \epsilon l^2 \sin^2 \frac{\alpha}{2}} = \left(m - \rho \frac{4}{3} \pi r^3\right) g \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}$,

и окончательно $\epsilon = \frac{q^2}{16\pi\epsilon_0 l^2 \sin^2 \frac{\alpha}{2} \left(m - \rho \frac{4}{3} \pi r^3\right) g \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}}$;

$$\epsilon = \frac{(4 \cdot 10^{-6})^2}{16 \cdot 3,14 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} (0,5)^2 (0,016 - 800 \frac{4}{3} \cdot 3,14 \cdot 10^{-6}) 9,8 \cdot 0,577} = 2.$$

2. Точечный заряд $q = 10^{-7}$ Кл окружен сферической диэлектрической оболочкой, внутренний радиус которой $R_1 = 0,5$ м, а внешний $R_2 = 1$ м. Относительная диэлектрическая проницаемость оболочки $\epsilon = 3$. Определите напряженности электрического поля в точках, удаленных от заряда на расстояния, равные $r_1 = 0,25$ м, $r_2 = 0,75$ м, $r_3 = 2$ м. Не делая вычислений, постройте качественную зависимость $E(r)$.

Решение. Под действием поля, создаваемого зарядом q , диэлектрик поляризуется. Напряженность поля точечного заряда в воздухе ($\epsilon = 1$) равна

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

Напряженность поля изменяется только внутри диэлектрика (рис. 208, а): $E_{\text{диэл}} = k \frac{q}{\epsilon r^2}$.

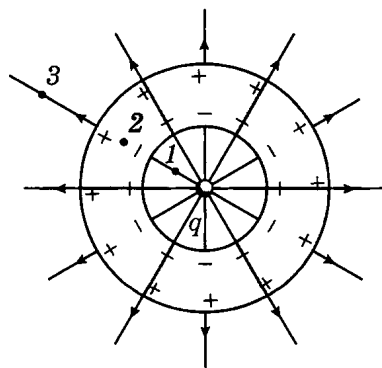
Таким образом,

$$E_1 = 144 \text{ В/м}; E_2 = 5,3 \text{ В/м}; E_3 = 2,25 \text{ В/м}.$$

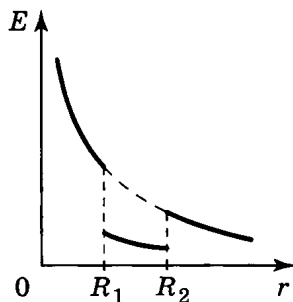
На рисунке 208, б приведена кривая качественной зависимости напряженности поля от расстояния.

Напряженность поля по мере удаления от заряда уменьшается по закону $E = \frac{A}{r^2}$, где $A = 100 \text{ В} \cdot \text{м}$. При $r = 0,5$ м напряженность уменьшается скачком в 3 раза и до расстояния $r = 1$ м изменяется по закону $E = \frac{A}{\epsilon r^2}$.

При $r = 1$ м напряженность поля скачком увеличивается и затем уменьшается по закону $E = \frac{A}{r^2}$.



а)



б)

ЗАДАЧИ

927. В однородном электрическом поле, напряженность которого равна 24 В/м, находятся две пластины, относительные диэлектрические проницаемости которых равны 4 и 6 (рис. 209). Определите напряженность электрического поля внутри пластин и начертите график зависимости $E(x)$.

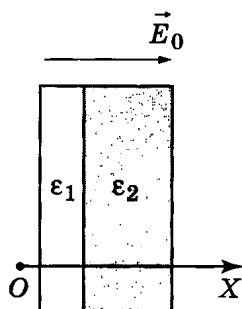


Рис. 209

928. Определите силу давления шарика на дно сосуда, заполненного керосином, если сосуд находится в электрическом поле, напряженность которого направлена вверх и равна $E = 20$ В/м. Масса шарика 50 г, его радиус 4 см, заряд 9 мКл.

929. Точечный заряд $q = 3 \cdot 10^{-7}$ Кл окружен сферической диэлектрической оболочкой (рис. 210), относительная диэлектрическая проницаемость которой равна 3. Определите заряд и поверхностную плотность заряда на внешней и внутренней поверхностях оболочки, если $R_1 = 10$ см, $R_2 = 30$ см.

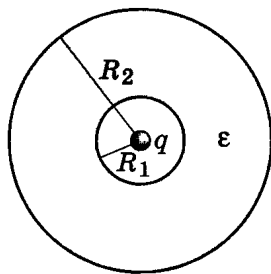


Рис. 210

930. Проводящая сфера радиусом 4 см находится в жидком диэлектрике с относительной диэлектрической проницаемостью, равной 2. Заряд сферы $1/9 \cdot 10^{-9}$ Кл. Начертите график зависимости напряженности электрического поля от расстояния от центра сферы.

931. Два одинаково заряженных шарика массой 200 г и радиусом 2 см каждый висят на двух одинаковых нитях, угол между которыми равен 120° . Систему шариков помещают в жидкий диэлектрик, относительная диэлектрическая проницаемость которого равна 3. При этом угол между нитями становится равным 90° . Определите плотность диэлектрика.

Потенциал поля точечного заряда

Рассмотрим неоднородное поле точечного заряда q (рис. 211). Пусть заряд q_0 перемещается из точки A в точку B . На заряд действует сила

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_0 q}{r^2}.$$

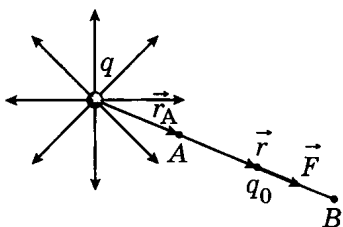


Рис. 211

По аналогии с полем тяготения (см. с. 113) выражение для работы электростатической силы при перенесении заряда из точки A в точку B имеет вид

$$A = \frac{q_0 q}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right).$$

Если заряд перемещается из точки A поля в бесконечность, то работа электростатической силы равна

$$A = \frac{q_0 q}{4\pi\epsilon_0 r}. \quad (22)$$

Если q_0 и q — заряды одного знака, то работа кулоновской силы положительна; если заряды q_0 и q имеют разные знаки, то работа отрицательна (угол между силой и перемещением равен 180°). Электростатическая сила является консервативной силой, поэтому вводятся новые характеристики электрического поля: **потенциал** и **разность потенциалов**.

Потенциал и разность потенциалов являются энергетическими характеристиками поля. Разность потенциалов двух точек поля определяется отношением работы электростатических сил по перемещению положительного заряда q_0 из одной точки поля в другую к модулю этого заряда:

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \frac{A_{1-2}}{q_0}. \quad (23)$$

Из этого определения следует, что можно говорить только о разности потенциалов. Однако можно определить и потенциал данной точки поля, но при этом в качестве второй точки мы должны взять бесконечно удаленную точку поля, потенциал которой принимается равным нулю. Потенциал на бесконечности можно считать равным нулю, если заряд, создающий поле, не бесконечно большой. Таким образом, **потенциалом** в данной точке поля называется отношение работы электростатической силы по перемещению положительного заряда из данной точки в бесконечность к модулю этого заряда:

$$\varphi = \frac{A}{q_0}. \quad (24)$$

Работа консервативной силы равна изменению потенциальной энергии, взятому с обратным знаком:

$$A = -\Delta W_{\text{п}}. \quad (25)$$

Из формулы (23) следует, что

$$q_0(\varphi_1 - \varphi_{\infty}) = -(W_{\text{п}\infty} - W_{\text{п}1}).$$

Потенциал и потенциальная энергия в бесконечно удаленной точке равны нулю (нулевой уровень отсчета). Тогда

$$q_0\varphi_1 = W_{\text{п}},$$

где $W_{\text{п}}$ — потенциальная энергия заряда q_0 в точке 1.

Потенциал в данной точке поля равен отношению потенциальной энергии, которой обладает положительный заряд, помещенный в эту точку поля, к этому заряду:

$$\varphi = \frac{W_{\text{п}}}{q_0}. \quad (26)$$

Из формулы (22) следует, что потенциал поля точечного заряда равен

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

Из формул (23—26) следует, что, зная распределение потенциала в пространстве, можно определить работу по перемещению заряда из одной точки поля в другую и потенциальную энергию заряда в любой точке поля. И еще один важный вывод: если заряд находится только в поле консервативных сил, в том числе и электростатической силы, то суммарная энергия заряда сохраняется:

$$W_{\text{п}} + W_{\text{к}} = \text{const},$$

при этом $W_{\text{п}}$ может складываться из потенциальных энергий поля тяготения, электростатического поля и т. д.

Поверхность проводника всегда является эквипотенциальной поверхностью. Потенциал во всех точках внутри проводника остается постоянным. Если бы это было не так, то разность потенциалов должна была бы вызвать перемещение зарядов и работа по перемещению была бы отличной от нуля. Так как в проводнике напряженность поля равна нулю, то и работа равна нулю, т. е. потенциал во всех точках внутри проводника постоянен и равен потенциалу поверхности.

Из определения потенциала следует, что потенциал поля заряженной проводящей сферы равен

$$\varphi = \begin{cases} \frac{q}{4\pi\epsilon_0 R}, & r \leq R, \\ \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r}, & r > R. \end{cases}$$

Если поле создается несколькими зарядами q_1, q_2, \dots , то потенциал в данной точке определяется алгебраической суммой потенциалов полей, создаваемых в данной точке каждым зарядом в отдельности, т. е. $\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 + \dots$ (принцип суперпозиции для потенциала):

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

где r_1, r_2, \dots — расстояния от зарядов до данной точки поля.

ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

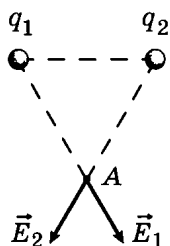


Рис. 212

1. Одинаковые одноименные точечные заряды $4 \cdot 10^{-7}$ Кл расположены в двух вершинах равностороннего треугольника со стороной $a = 1$ м. Определите значения напряженности и потенциала поля в третьей вершине A треугольника (рис. 212).

Решение. Согласно принципу суперпозиции

$$\vec{E}_A = \vec{E}_1 + \vec{E}_2, \quad \varphi_A = \varphi_1 + \varphi_2,$$

где \vec{E}_1 и \vec{E}_2 — напряженности полей, созданных в точке A зарядами q_1 и q_2 , а φ_1 и φ_2 — потенциалы этих полей в точке A . Определим значения этих величин:

$$E_1 = E_2 = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 a^2}, \quad \varphi_1 = \varphi_2 = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 a}.$$

Результирующий вектор \vec{E}_A является диагональю ромба со стороной $E_1 = E_2$ и острым углом 60° :

$$E_A = E_1 \cos 30^\circ + E_2 \cos 30^\circ = 2E_1 \cos 30^\circ = \sqrt{3} \frac{q}{4\pi\epsilon_0 a^2}.$$

Так как потенциалы полей, создаваемых в точке A зарядами q_1 и q_2 , равны, то

$$\varphi = 2 \frac{q}{4\pi\epsilon_0 a} = \frac{q}{2\pi\epsilon_0 a};$$

$$E_A = \sqrt{3} \frac{4 \cdot 10^{-7}}{4 \cdot 3,14 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 1^2} = 6,1 \cdot 10^3 \text{ (Н/Кл)},$$

$$\varphi = \frac{4 \cdot 10^{-7}}{2 \cdot 3,14 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 1} = 7200 \text{ (В)}.$$

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

Решение. Поверхность проводника является эквипотенциальной поверхностью, т. е. во всех точках внутри проводника потенциал постоянен и равен потенциалу поверхности. Потенциал шарика равен сумме потенциала φ_1 поля самого шарика, потенциала φ_2 поля точечного заряда в центре шарика и потенциала φ_3 поля индуцированного заряда.

$$\text{Итак, } \varphi = \varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3.$$

Очевидно, что $\varphi_3 = 0$, так как суммарный индуцированный заряд равен нулю.

$$\varphi_1 = \frac{q_1}{4\pi\epsilon_0 r}, \quad \varphi_2 = \frac{q_2}{4\pi\epsilon_0(r+l)}.$$

$$\text{Окончательно } \varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{q_1}{r} + \frac{q_2}{(r+l)} \right);$$

$$\varphi = \frac{1}{4 \cdot 3,14 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12}} \left(\frac{4 \cdot 10^{-9}}{0,1} + \frac{8 \cdot 10^{-9}}{0,5} \right) =$$

$$= 9 \cdot 10^9 \cdot 4 \cdot 10^{-9} (10 + 4) = 504 \text{ (В)} \approx 500 \text{ (В)}.$$

3. Определите значения напряженности и потенциала поля в точке A , находящейся на расстоянии $l = 20$ см от поверхности заряженной проводящей сферы радиусом $R = 10$ см, если потенциал сферы равен $\varphi_0 = 240$ В (рис. 213).

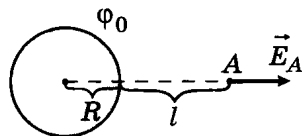


Рис. 213

Решение. Напряженность поля сферы в точке A

$$E_A = \frac{q_0}{4\pi\epsilon_0(R+l)^2}, \quad (27)$$

где q_0 — заряд сферы, а потенциал сферы и потенциал поля в точке A равны соответственно

$$\varphi_0 = \frac{q_1}{4\pi\epsilon_0 R}, \quad (28)$$

$$\varphi_A = \frac{q_0}{4\pi\epsilon_0(R+l)}. \quad (29)$$

Выражая из формулы (28) заряд сферы q_0 и подставляя полученное выражение в формулы (27) и (29), получаем для E_A и φ_A :

$$E_A = \frac{\varphi_0 R}{(R+l)^2}, \quad \varphi_A = \frac{\varphi_0 R}{R+l};$$

$$E_A = 267 \text{ Н/Кл} \approx 270 \text{ Н/Кл}, \quad \varphi_A = 80 \text{ В}.$$

4. В центр металлической сферической оболочки с внутренним радиусом R_1 и внешним R_2 помещают заряд q . Определите напряженность и потенциал поля как функции расстояния от центра сферы.

Решение. Если поместить заряд в центр, то на внутренней поверхности оболочки индуцируется заряд противоположного знака, а на внешней — того же знака, что и заряд q (рис. 214). При этом сумма индуцированных зарядов равна нулю (закон сохранения заряда).

Силовые линии поля начинаются на заряде q и заканчиваются на внутренней поверхности оболочки, а затем опять начинаются на внешней поверхности. Напряженность электрического поля внутри проводника равна нулю. Картина силовых линий поля данной системы аналогична картине силовых линий поля точечного заряда за исключением оболочки. Здесь силовые линии разрываются.

Итак,

$$E = \begin{cases} \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2} & \text{при } r \leq R_1, \quad r \geq R_2, \\ 0 & \text{при } R_1 < r < R_2. \end{cases}$$

На рисунке 215 изображена зависимость $E(r)$.

Потенциал складывается из потенциала поля заряда q , потенциала проводящей сферы радиусом R_1 с зарядом $-q$ и потенциала проводящей сферы радиусом R_2 с зарядом $+q$.

При $r < R_1$

$$\varphi = k\frac{q}{r} - k\frac{q}{R_1} + k\frac{q}{R_2} = kq\left(\frac{1}{r} - \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right).$$

При $R_1 < r < R_2$

$$\varphi = k\frac{q}{r} - k\frac{q}{r} + k\frac{q}{R_2} = k\frac{q}{R_2}.$$

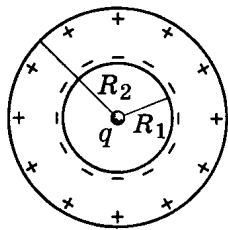


Рис. 214

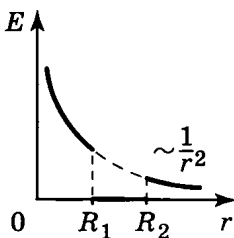


Рис. 215

Потенциалы во всех точках проводника равны.

При $r > R_2$

$$\varphi = k\frac{q}{r} - k\frac{q}{r} + k\frac{q}{r} = k\frac{q}{r}.$$

На рисунке 216 показана зависимость $\varphi(r)$. Пунктиром изображена зависимость $\varphi(r)$ в вакууме. Потенциал поля при $r < R_1$ меньше, чем потенциал поля точечного заряда. Потенциал определяется работой, которую совершает кулоновская сила при переносе положительного заряда из данной точки поля в бесконечность. Если заряд окружен проводящей оболочкой, то работа при перенесении заряда внутри оболочки равна нулю ($E = 0$), поэтому полная работа меньше и соответственно меньше потенциал.

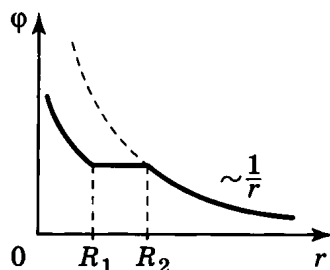


Рис. 216

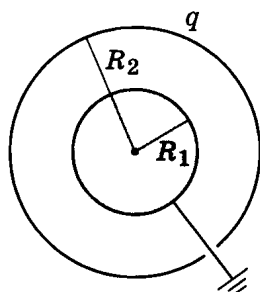


Рис. 217

5. Проводящую сферу радиусом $R_1 = 20$ см окружили тонкой сферической оболочкой радиусом $R_2 = 40$ см и с зарядом $q = 2 \cdot 10^{-6}$ Кл (рис. 217). Сферу заземлили. Определите заряд сферы и потенциал оболочки после заземления.

Решение. Перераспределение заряда происходит до тех пор, пока потенциал сферы не станет равным нулю. Потенциал сферы равен

$$\varphi = k\frac{q_x}{R_1} + k\frac{q}{R_2} = 0,$$

где q_x — заряд сферы. Тогда $q_x = -q\frac{R_1}{R_2}$.

Таким образом, потенциал оболочки после заземления

$$\varphi_{об} = k\frac{q}{R_2} + k\frac{q_x}{R_2} = \frac{k}{R_2}q\left(1 - \frac{R_1}{R_2}\right) = \frac{kq(R_2 - R_1)}{R_2^2};$$

$$q_x = -10^{-6} \text{ Кл},$$

$$\varphi_{об} = \frac{9 \cdot 10^9 \cdot 2 \cdot 10^{-6} \cdot 0,2}{0,16} = 2,25 \cdot 10^4 \text{ (В)}.$$

6. Два одинаковых шарика, несущие одинаковые одноименные заряды, соединены пружиной, жесткость которой $k = 20$ Н/м,

а длина $l_0 = 4$ см. Шарики колеблются так, что расстояние между ними меняется от 3 до 6 см. Определите заряд шариков.

Решение. Сила упругости и кулоновская сила — консервативные силы, и, следовательно, суммарная энергия системы шарики — пружина, обусловленная силами Кулона и упругости, в моменты времени, когда шарики останавливаются, остается постоянной. Энергия системы при максимальном сближении шариков на l_1 равна

$$W_1 = \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 l_1} + \frac{k(l_1 - l_0)^2}{2}.$$

Энергия системы при максимальном удалении шариков друг от друга на l_2

$$W_2 = \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 l_2} + \frac{k(l_2 - l_0)^2}{2}.$$

Поскольку $W_1 = W_2$, имеем

$$\frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 l_1} + \frac{k(l_1 - l_0)^2}{2} = \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 l_2} + \frac{k(l_2 - l_0)^2}{2},$$

откуда

$$q = \sqrt{2\pi\epsilon_0 k \cdot [(l_2 - l_0)^2 - (l_1 - l_0)^2] \cdot \frac{l_1 \cdot l_2}{l_2 - l_1}};$$

$$q = \sqrt{2 \cdot 3,14 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 20 \cdot (4 \cdot 10^{-4} - 1 \cdot 10^{-4}) \cdot \frac{3 \cdot 6 \cdot 10^{-4}}{(6 - 3) \cdot 10^{-2}}} = 1,4 \cdot 10^{-7} \text{ (Кл)}.$$

7. Протон с начальной скоростью v_0 летит прямо на первоначально покоящееся ядро гелия. Определите скорость частиц в тот момент, когда расстояние между ними минимально. Считайте, что масса ядра гелия равна учетверенной массе протона.

Решение. Расстояние между протоном и ядром станет минимальным в тот момент, когда они движутся с одинаковыми по модулю скоростями (относительная скорость равна нулю). Запишем законы сохранения импульса и энергии для двух состояний — начального и такого, при котором расстояние между частицами минимально:

$$m_p v_0 = (m_p + m_\alpha)u, \quad (30)$$

$$\frac{m_p v_0^2}{2} = \frac{(m_p + m_\alpha)u^2}{2} + k \frac{q_p q_\alpha}{r_{\min}}. \quad (31)$$

Из формулы (30) следует:

$$u = \frac{m_p v_0}{m_p + m_n} = \frac{v_0}{5}.$$

Подставив u в формулу (31), получим

$$\frac{m_p v_0^2}{2} = \frac{5m_p v_0^2}{2 \cdot 25} + k \frac{2q_p^2}{r_{\min}}.$$

Окончательно

$$r_{\min} = \frac{5kq_p^2}{m_p v_0^2}.$$

8. Два небольших проводящих заряженных шара радиусом r каждый расположены на расстоянии l друг от друга ($l \gg 2r$). Шары поочередно на некоторое время заземляют. Определите потенциал первого шара после первых двух последовательных заземлений. Первоначально каждый шар имел заряд q .

Решение. При заземлении потенциал проводника всегда становится равным нулю, но это не означает, что его заряд также обращается в нуль, так как потенциал шара в данном случае складывается из потенциала самого шара, потенциалов полей, создаваемых зарядом q второго шара и индуцированным на нем зарядом. Потенциалом последнего можно пренебречь, так как по условию $l \gg 2r$. Потенциал первого шара после заземления равен

$$\varphi_1 = \frac{q'}{4\pi\epsilon_0 r} + \frac{q}{4\pi\epsilon_0 l} = 0.$$

Таким образом, на первом шаре возникает заряд

$$q' = -\frac{qr}{l}.$$

Потенциал второго шара после заземления

$$\varphi_2 = \frac{q'}{4\pi\epsilon_0 l} + \frac{q^*}{4\pi\epsilon_0 r} = 0,$$

откуда заряд второго шара после заземления равен

$$q^* = -\frac{q'r}{l} = +q \cdot \left(\frac{r}{l}\right)^2.$$

Окончательно после двух последовательных заземлений обоих шаров потенциал первого шара равен

$$\varphi_{1x} = -\frac{q}{4\pi\epsilon_0 l} \left[1 - \left(\frac{r}{l}\right)^2 \right].$$

9. N одинаковых сферических капелек ртути заряжены до одного и того же потенциала φ_0 . Каким будет потенциал большой капли, если все капли сольются в одну? При каких значениях зарядов капель это может произойти?

Решение. Потенциал капли $\varphi_0 = k \frac{q_0}{r_0}$, где q_0 , r_0 — заряд и радиус маленькой капли (ртуть — проводник), откуда $q_0 = \frac{r_0 \varphi_0}{k}$.

Заряд большой капли

$$q = Nq_0 = \frac{Nr_0\varphi_0}{k}.$$

Потенциал большой капли

$$\varphi = k \frac{q}{R},$$

где R — радиус большой капли. Объем ртути не изменится, поэтому

$$\frac{4}{3}\pi R^3 = \frac{4}{3}\pi r_0^3 N,$$

откуда $R = r_0 \sqrt[3]{N}$. Окончательно имеем

$$\varphi = k \frac{Nr_0\varphi_0}{kr_0\sqrt[3]{N}} = N^{\frac{2}{3}}\varphi_0.$$

Ответим на второй вопрос задачи. Для этого оценим изменение потенциальной энергии системы.

При слиянии капель изменяется потенциальная энергия, обусловленная силами поверхностного натяжения. Ее изменение равно

$$\Delta W_{\text{пот.п.н}} = \alpha(4\pi R^2 - N4\pi r_0^2) = \alpha 4\pi R^2(1 - N^{\frac{1}{3}}) < 0,$$

где α — коэффициент поверхностного натяжения.

Потенциальная энергия, обусловленная силами поверхностного натяжения, убывает. Потенциальная энергия заряженной большой капли равна

$$W_{\text{пот.эл2}} = \frac{q_2^2}{8\pi\epsilon_0 R} = \frac{N^2 q_0^2}{8\pi\epsilon_0 R}.$$

Потенциальная энергия N маленьких заряженных капель, находящихся на больших расстояниях друг от друга, равна

$$W_{\text{пот.эл1}} = N \cdot \frac{q_0}{8\pi\epsilon_0 r_0} = \frac{q_0^2 N^{\frac{4}{3}}}{8\pi\epsilon_0 R}.$$

Изменение потенциальной энергии, обусловленной кулоновскими силами, определится выражением

$$\Delta W_{\text{пот.эл}} = W_{\text{пот.эл2}} - W_{\text{пот.эл1}} = \frac{Nq_0^2}{8\pi\epsilon_0 R} (N - N^{\frac{1}{3}}) > 0.$$

Всякая система, как мы знаем, стремится к минимуму потенциальной энергии. Поэтому слияние капель может произойти, если общее изменение потенциальной энергии будет отрицательным (энергия убывает) $\Delta W_{\text{пот}} < 0$:

$$\Delta W_{\text{пот}} = \Delta W_{\text{пот.п.н}} + \Delta W_{\text{пот.эл}} = \alpha \cdot 4\pi R^2 (1 - N^{\frac{1}{3}}) + \frac{q_0^2 N^{\frac{4}{3}}}{8\pi\epsilon_0 R} \cdot (N^{\frac{2}{3}} - 1) < 0.$$

Отсюда ясно, что заряд должен удовлетворять соотношению

$$q_0 < \frac{4\pi R}{N^{\frac{2}{3}}} \sqrt{\frac{2\epsilon_0 R \alpha (N^{\frac{1}{3}} - 1)}{N^{\frac{2}{3}} - 1}}.$$

Отметим, что данная оценка произведена недостаточно строго, так как потенциальная энергия системы капель рассчитывалась в предположении, что они находятся на достаточно большом расстоянии друг от друга, однако для остатка порядка величин данное решение вполне подходит.

ЗАДАЧИ

932. Определите потенциал на середине отрезка, соединяющего две точки поля точечного заряда, если потенциалы в этих точках равны 1 и 4 В.
933. Проводящий шар радиусом 10 см заряжен до потенциала 900 В. Определите работу поля при перемещении заряда $q = -1 \cdot 10^{-7}$ Кл из точки, находящейся на расстоянии 90 см от поверхности шара, к точке вблизи его поверхности.
934. Капли ртути, заряженные соответственно до $4 \cdot 10^{-12}$ и $5 \cdot 10^{-13}$ Кл и имеющие радиусы 2 и 3,82 мм, сливаются в одну каплю. Определите потенциал большой капли.
935. Два незаряженных неподвижных металлических шарика одинаковых размеров поочередно соединяют тонкой проволокой с третьим шариком тех же размеров, заряд которого q_0 . Определите заряды этих

- трех шариков. Расстояния между шариками одинаковые.
936. Мыльному пузырю сообщают заряд, вследствие чего его радиус увеличивается втрое. Определите изменение энергии заряда, находящегося на пузыре, при увеличении его радиуса.
937. На расстоянии 40 см от центра равномерно заряженной сферы радиусом 11 см напряженность электрического поля равна 77 В/м. Определите потенциал сферы и поверхностную плотность заряда на сфере.
938. В трех вершинах квадрата со стороной 10 см находятся три положительных точечных заряда по 1 нКл каждый. Определите напряженность и потенциал электрического поля в четвертой вершине квадрата.
939. На расстоянии 20 см от центра незаряженного металлического шара радиусом 10 см находится точечный положительный заряд 100 нКл. Определите потенциал шара. Какой заряд приобретет шар, если его заземлить?
940. Маленький шарик массой 1 г и зарядом 0,15 мкКл движется к закрепленной сфере из точки, удаленной на большое расстояние от сферы. Заряд сферы 30 мкКл, ее радиус 5 см. При какой минимальной скорости шарик достигнет поверхности сферы?
941. Три небольших одинаковых металлических шарика, находящиеся в вакууме, помещены в вершинах равностороннего треугольника. Шарика поочередно соединяют с удаленным проводником, потенциал которого поддерживают постоянным. В результате заряд первого шарика оказался равным 4 нКл, а второго — 2 мКл. Определите заряд третьего шарика.

Электрическая емкость. Соединения конденсаторов

Если уединенному проводнику сообщить заряд Δq , то его потенциал увеличится на $\Delta\phi$. При любом значении заряда Δq , сообщаемого проводнику, отношение $\frac{\Delta q}{\Delta\phi}$ остается постоянным:

$$C = \frac{\Delta q}{\Delta\phi}. \quad (32)$$

Величина C называется **электрической емкостью проводника**. Она численно равна заряду, который надо сообщить проводнику, чтобы повысить его потенциал на единицу (на 1 В).

Электрическая емкость проводников зависит от их размеров, диэлектрических свойств среды, в которую они помещены, и расположения окружающих тел, но не зависит от материала проводника. Потенциал изолированной заряженной сферы радиусом r , помещенной в однородный безграничный диэлектрик, равен $\varphi = \frac{q}{4\pi\epsilon_0\epsilon r}$. Тогда из формулы (32)

следует, что электрическая емкость сферы $C = 4\pi\epsilon_0\epsilon r$.

Конденсатор представляет собой систему двух проводников (обкладок), не соединенных друг с другом. При сообщении этим проводникам одинаковых по модулю, но разноименных зарядов поле, создаваемое этими проводниками, практически полностью локализовано в пространстве между ними (проводники ограничивают область электрического поля); краевыми эффектами, как правило, пренебрегают (рис. 218). Конденсаторы являются накопителями электрических зарядов. Отношение заряда на обкладках конденсатора (заряды по модулю равны) к разности потенциалов между ними — постоянная величина, равная электроемкости конденсатора C :

$$\frac{q}{\varphi_1 - \varphi_2} = C. \quad (33)$$

Плоский конденсатор состоит из двух пластин площадью S , расположенных на небольшом расстоянии d друг от друга (расстояние между пластинами d много меньше их линейных размеров), заряды на пластинах $+q$ и $-q$. Часто между пластинами помещают диэлектрик. Определим электроемкость плоского конденсатора. В общем случае если пространство между пластинами заполнено диэлектриком с диэлектрической проницаемостью ϵ , то напряженность электростатического поля между пластинами равна сумме напряженностей полей, создаваемых каждой из пластин:

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

где σ — поверхностная плотность заряда, равная q/S .

(Считаем поле внутри конденсатора однородным, краевыми эффектами пренебрегаем.) Используя связь разности потенциалов с напряженностью электрического поля, получаем

$$|\Delta\varphi| = Ed = \frac{\sigma d}{\epsilon_0\epsilon} = \frac{qd}{\epsilon_0\epsilon S}$$

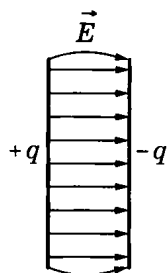


Рис. 218

($q = \sigma S$), откуда, согласно формуле (32), для электроемкости плоского конденсатора получаем формулу

$$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon S}{d}. \quad (34)$$

Из формулы (34) следует, что электроемкость конденсатора зависит от площади пластин, расстояния между ними и диэлектрической проницаемости вещества, заполняющего пространство между пластинами конденсатора, и не зависит от заряда и разности потенциалов, приложенных к пластинам.

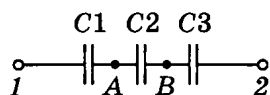


Рис. 219

Последовательное и параллельное соединение конденсаторов. На практике конденсаторы часто соединяют различными способами. На рисунке 219 представлено последовательное соединение трех конденсаторов. Если

точки 1 и 2 подключить к источнику напряжения, то на левую пластину конденсатора C1 перейдет заряд $+q$, на правую пластину конденсатора C3 — заряд $-q$. Вследствие электростатической индукции правая пластина конденсатора C1 будет иметь заряд $-q$, а так как пластины конденсаторов C1 и C2 соединены и до подключения напряжения были электронейтральны, то по закону сохранения заряда на левой пластине конденсатора C2 появится заряд $+q$ и т. д. На всех пластинах конденсаторов при таком соединении будет одинаковый по модулю заряд.

Определить эквивалентную электроемкость — это значит определить электроемкость такого конденсатора, который при той же разности потенциалов будет накапливать тот же заряд q , что и система конденсаторов. Разность потенциалов $\varphi_1 - \varphi_2$ складывается из суммы разностей потенциалов между пластинами каждого из конденсаторов:

$$\varphi_1 - \varphi_2 = (\varphi_1 - \varphi_A) + (\varphi_A - \varphi_B) + (\varphi_B - \varphi_2).$$

Воспользовавшись формулой (33), запишем:

$$\frac{q}{C_{\text{эkv}}} = \frac{q}{C_1} + \frac{q}{C_2} + \frac{q}{C_3},$$

откуда $\frac{1}{C_{\text{эkv}}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$, и в общем случае

$$\frac{1}{C_{\text{эkv}}} = \sum_i \frac{1}{C_i}.$$

На рисунке 220 представлена схема параллельно соединенных конденсаторов. Разность потенциалов между пластинами всех конденсаторов одинакова и равна $\varphi_1 - \varphi_2$. Заряды на пластинах конденсаторов

$$q_1 = C_1(\varphi_1 - \varphi_2), \quad q_2 = C_2(\varphi_1 - \varphi_2),$$

$$q_3 = C_3(\varphi_1 - \varphi_2).$$

На эквивалентном конденсаторе емкостью $C_{\text{экв}}$ заряд на пластинах при той же разности потенциалов равен

$$q = q_1 + q_2 + q_3.$$

Согласно формуле (33),

$$C_{\text{экв}}(\varphi_1 - \varphi_2) = C_1(\varphi_1 - \varphi_2) + C_2(\varphi_1 - \varphi_2) + C_3(\varphi_1 - \varphi_2),$$

следовательно, $C_{\text{экв}} = C_1 + C_2 + C_3$, и в общем случае

$$C_{\text{экв}} = \sum_i C_i.$$

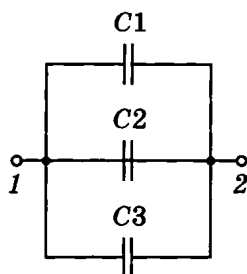


Рис. 220

ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

1. Четыре конденсатора электроемкостями $C_1 = 1$ мкФ, $C_2 = 1$ мкФ, $C_3 = 3$ мкФ, $C_4 = 2$ мкФ соединены, как показано на рисунке 221. К точкам A и B подводится напряжение $U = 140$ В. Определите заряд и напряжение на каждом из конденсаторов.

Решение. Для определения заряда и напряжения прежде всего найдем электроемкость батареи конденсаторов. Эквивалентная электроемкость второго и третьего конденсаторов равна $C_{2,3} = C_2 + C_3$, а эквивалентная электроемкость всей батареи конденсаторов, представляющей собой три последовательно соединенных конденсатора электроемкостями $C_1, C_{2,3}, C_4$, равна

$$\frac{1}{C_{\text{экв}}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_{2,3}} + \frac{1}{C_4}.$$

Заряды на этих конденсаторах одинаковы (последовательное соединение):

$$q_1 = q_{2,3} = q_4 = C_{\text{экв}} U.$$

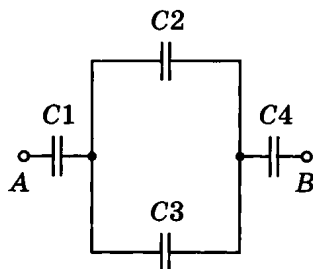


Рис. 221

Для упрощения вычислений определим сначала $C_{\text{экв}}$:

$$\frac{1}{C_{\text{экв}}} = \left[\frac{1}{1 \cdot 10^{-6}} + \frac{1}{(1+3) \cdot 10^{-6}} + \frac{1}{2 \cdot 10^{-6}} \right] = \frac{7}{4 \cdot 10^{-6}} \left(\frac{1}{\Phi} \right),$$

откуда $C_{\text{экв}} = \frac{4}{7} \cdot 10^{-6} \Phi$.

Для заряда имеем

$$q_1 = q_{2,3} = q_4 = \frac{4}{7} \cdot 10^{-6} \cdot 140 = 8 \cdot 10^{-5} \text{ (Кл)}.$$

Следовательно, заряд первого конденсатора равен $q_1 = 8 \cdot 10^{-5}$ Кл, а разность потенциалов между его обкладками, или напряжение, равна

$$U_1 = \frac{q_1}{C_1} = \frac{8 \cdot 10^{-5}}{1 \cdot 10^{-6}} = 80 \text{ (В)}.$$

Для четвертого конденсатора аналогично имеем

$$q_4 = 8 \cdot 10^{-5} \text{ Кл}, \quad U_4 = \frac{q_4}{C_4} = \frac{8 \cdot 10^{-5}}{2 \cdot 10^{-6}} = 40 \text{ (В)}.$$

Найдем напряжение на втором и третьем конденсаторах:

$$U_2 = U_3 = \frac{q_{2,3}}{C_{2,3}} = \frac{8 \cdot 10^{-5}}{4 \cdot 10^{-6}} = 20 \text{ (В)}.$$

Таким образом, на втором конденсаторе заряд равен

$$q_2 = C_2 U_2 = 1 \cdot 10^{-6} \cdot 20 = 2 \cdot 10^{-5} \text{ (Кл)},$$

а на третьем конденсаторе

$$q_3 = C_3 U_3 = 3 \cdot 10^{-6} \cdot 20 = 6 \cdot 10^{-5} \text{ (Кл)}.$$

Отметим, что $q_{2,3} = q_2 + q_3$.

2. Определите эквивалентную электрическую емкость цепи, изображенной на рисунке 222.

Решение. Часто при решении задач, в которых требуется определить эквивалентную электрическую емкость, соединение конденсаторов не очевидно. В этом случае, если удастся определить точки цепи, в которых потенциалы равны, можно соединить эти точки или исключить конденсаторы, соединенные с этими точками, так как они не могут накапливать заряд ($\Delta\phi = 0$) и, следовательно, не играют роли при распределении зарядов.

В приведенной на рисунке 222 схеме нет очевидного параллельного или последовательного соединения конденсаторов, так как в общем случае $\varphi_A \neq \varphi_B$ и к конденсаторам C_1 и C_2 приложены разные напряжения. Однако заметим, что в силу симметрии и равенства электроемкостей соответствующих конденсаторов потенциалы точек A и B равны. Следовательно, можно, например, соединить точки A и B . Тогда схема преобразуется к виду, изображенному на рисунке 223, а, где конденсаторы с электроемкостью C_1 , а также конденсаторы с электроемкостью C_2 соединены параллельно, а в цепи эти две группы соединены последовательно. Тогда $C_{\text{эkv}}$ определится по формуле

$$\frac{1}{C_{\text{эkv}}} = \frac{1}{2C_1} + \frac{1}{2C_2},$$

откуда

$$C_{\text{эkv}} = \frac{2C_1C_2}{C_1 + C_2}.$$

Мы не учитывали присутствие в схеме конденсатора C_3 , так как заряд на нем равен нулю.

Эквивалентную схему можно представить и в виде, изображенном на рисунке 223, б. Конденсаторы C_1 и C_2 соединены последовательно, следовательно,

$$C'_{\text{эkv}} = \frac{C_1C_2}{C_1 + C_2}.$$

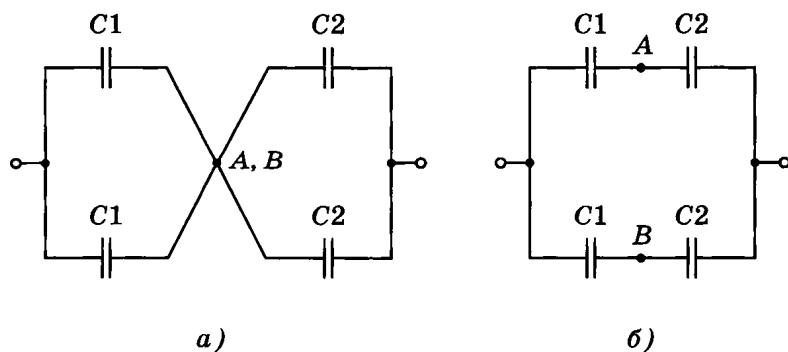


Рис. 223

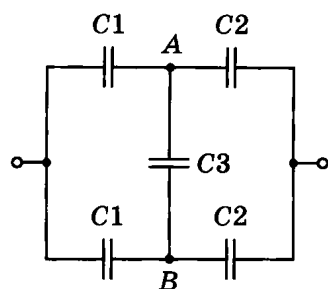


Рис. 222

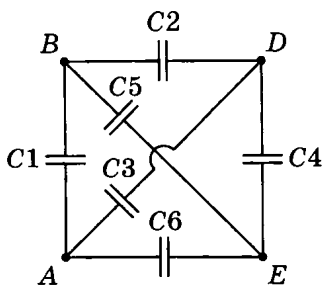


Рис. 224

Системы конденсаторов с $C'_{\text{экв}}$ соединены параллельно, так что окончательно получаем тот же ответ:

$$C_{\text{экв}} = 2C'_{\text{экв}} = \frac{2C_1C_2}{C_1 + C_2}.$$

3. Определите электроемкость системы одинаковых конденсаторов, изображенной на рисунке 224, если разность потенциалов подводится к точкам: а) A, D ; б) A, E . Электроемкость каждого конденсатора C .

Решение. а) В данной системе находим точки с равными потенциалами. В силу симметрии очевидно, что это будут точки B и E :

$$\varphi_B = \varphi_E.$$

Тогда эквивалентная схема примет вид, показанный на рисунке 225. Конденсатор C_5 можно исключить из схемы, $q_5 = 0$, конденсаторы C_1 и C_2 , C_6 и C_4 попарно соединены последовательно, и их эквивалентная электроемкость равна $C'_{\text{экв}} = C''_{\text{экв}} = \frac{C}{2}$. Два конденсатора электроемкостями $\frac{C}{2}$ и конденсатор C_3 соединены параллельно, поэтому окончательно имеем

$$C_{\text{экв1}} = \frac{C}{2} + \frac{C}{2} + C = 2C.$$

б) В этом случае точки B и D находятся под одним потенциалом, так как они через одинаковые конденсаторы присоединены к точкам с потенциалами φ_A и φ_E . Эквивалентная схема совпадает со схемой, изображенной на рисунке 225, с учетом того, что из схемы исключается конденсатор C_2 . Эквивалентная емкость и в этом случае равна

$$C_{\text{экв2}} = 2C.$$

4. Определите электроемкость системы конденсаторов, изображенной на рисунке 226, если

$$C_1 = C_2 = C_3 = C_4 = C_5 = C, C_6 = C_7 = \frac{C}{2}.$$

Решение. В схеме прежде всего находим очевидные соединения конденсаторов — параллельные или последовательные. Из рисунка видно, что конденсаторы C_6 и C_7

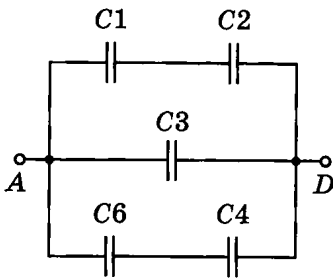


Рис. 225

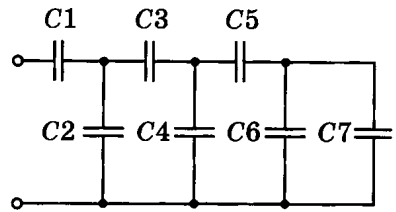


Рис. 226

соединены параллельно и их эквивалентная электроемкость

$$C_{6,7} = \frac{C}{2} + \frac{C}{2} = C.$$

Конденсатор электроемкостью $C_{6,7}$ соединен последовательно с конденсатором $C5$.

Эквивалентная электроемкость конденсаторов $C5—C7$ равна

$$\frac{1}{C_{5,6,7}} = \frac{1}{C_{6,7}} + \frac{1}{C} = \frac{2}{C}, \quad C_{5,6,7} = \frac{C}{2}.$$

Система конденсаторов $C5—C7$ соединена с конденсатором $C4$ параллельно, и эквивалентная электроемкость

$$C_{4,5,6,7} = \frac{C}{2} + C = \frac{3}{2}C.$$

Дальнейшие аналогичные вычисления дают

$$C_{\text{эkv}} = \frac{8}{13}C.$$

5. Определите электроемкость воздушного сферического конденсатора. Радиусы сфер R_1, R_2 .

Решение. Предположим, что заряд внутренней сферы радиусом R_1 равен q , внешней сферы радиусом R_2 равен $-|q|$ (рис. 227). Тогда потенциал внутренней сферы равен

$$\Phi_1 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{q}{R_1} - \frac{q}{R_2} \right),$$

потенциал внешней сферы

$$\Phi_2 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{q}{R_2} - \frac{q}{R_2} \right) = 0.$$

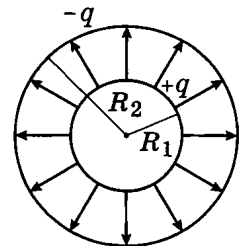


Рис. 227

Разность потенциалов $\varphi_1 - \varphi_2$ определится формулой

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right).$$

Отсюда

$$C = \frac{4\pi\epsilon_0 R_1 R_2}{R_2 - R_1}.$$

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

- 1) соединяются обкладки, имеющие одноименные заряды;
- 2) соединяются обкладки, имеющие разноименные заряды.

Решение. 1) При параллельном соединении конденсаторов общая емкость батареи конденсаторов определяется по формуле $C_{\text{экв}} = C_1 + C_2$, а общий заряд равен $q = q_1 + q_2 = C_1 U_1 + C_2 U_2$, где q_1 — заряд первого конденсатора до соединения, q_2 — заряд второго конденсатора до соединения. Разность потенциалов после соединения на обкладках каждого из конденсаторов

$$U'_0 = \frac{q}{C_{\text{экв}}} = \frac{C_1 U_1 + C_2 U_2}{C_{\text{экв}}},$$

а заряд каждого конденсатора после соединения

$$q'_1 = C_1 U'_0 \text{ и } q'_2 = C_2 U'_0.$$

Окончательно имеем

$$U'_0 = \frac{1 \cdot 10^{-6} \cdot 100 + 3 \cdot 10^{-6} \cdot 60}{1 \cdot 10^{-6} + 3 \cdot 10^{-6}} = 70 \text{ (В)},$$

$$q'_1 = 1 \cdot 10^{-6} \cdot 70 = 7 \cdot 10^{-5} \text{ (Кл)},$$

$$q'_2 = 3 \cdot 10^{-6} \cdot 70 = 21 \cdot 10^{-5} \text{ (Кл)}.$$

2) В данном случае при соединении обкладок, имеющих разноименные заряды, общий заряд $q = |q_1 - q_2| = |C_1 U_1 - C_2 U_2|$. Разность потенциалов на обкладках каждого из конденсаторов будет равна

$$U''_0 = \frac{|C_1 U_1 - C_2 U_2|}{C_1 + C_2},$$

$$U''_0 = \frac{|1 \cdot 10^{-6} \cdot 100 - 3 \cdot 10^{-6} \cdot 60|}{1 \cdot 10^{-6} + 3 \cdot 10^{-6}} = 20 \text{ (В)}.$$

Заряд каждого из конденсаторов после соединения будет равен

$$q_1'' = C_1 U_0''; \quad q_1'' = 1 \cdot 10^{-6} \cdot 20 = 2 \cdot 10^{-5} \text{ (Кл)},$$

$$q_2'' = C_2 U_0''; \quad q_2'' = 3 \cdot 10^{-6} \cdot 20 = 6 \cdot 10^{-5} \text{ (Кл)}.$$

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

- 1) конденсатор отключен от источника питания;
- 2) конденсатор подключен к источнику питания.

Решение. 1) Определим энергию конденсатора после его заполнения диэлектриком в первом случае по формуле

$$W_2 = \frac{q_0^2}{2C_2},$$

где q_0 — заряд конденсатора, который не изменился при его заполнении диэлектриком.

Емкость конденсатора с диэлектриком

$$C_2 = \frac{\epsilon_0 \epsilon S}{d} = \epsilon C_1,$$

где $C_1 = \frac{\epsilon_0 S}{d}$ — емкость воздушного конденсатора.

Тогда

$$W_2 = \frac{q_0^2}{2\epsilon C_1} = \frac{W_1}{\epsilon};$$

$$W_2 = \frac{2 \cdot 10^{-7}}{2} = 10^{-7} \text{ (Дж)}.$$

2) Так как конденсатор подключен к источнику питания, энергию после его заполнения диэлектриком определим по формуле

$$W_2 = \frac{C_2 U_0^2}{2},$$

где U_0 — напряжение на конденсаторе, которое остается неизменным. Поскольку $C_2 = \epsilon C_1$, то

$$W_2 = \frac{\epsilon C_1 U_0^2}{2} = \epsilon W_1.$$

Окончательно имеем

$$W_2 = 2 \cdot 2 \cdot 10^{-7} = 4 \cdot 10^{-7} \text{ (Дж)}.$$

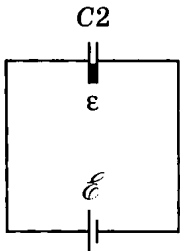


Рис. 228

8. Пластины плоского конденсатора подключены к источнику с $\mathcal{E} = 2$ В. Определите изменение электроемкости и энергии электрического поля конденсатора, если конденсатор наполовину заполнить диэлектриком с диэлектрической проницаемостью $\epsilon = 2$. Расстояние между пластинами $d = 1$ см, площадь пластин $S = 50$ см².

Решение. Для того чтобы определить емкость конденсатора, заполненного диэлектриком, так, как показано на рисунке 228, можно представить его как два параллельно

соединенных конденсатора с площадью пластин $S' = \frac{S}{2}$, один из которых заполнен диэлектриком. Емкость первого конденсатора $C_1 = \frac{\epsilon_0 S'}{d} = \frac{\epsilon_0 S}{2d}$, емкость второго $C_2 = \frac{\epsilon \epsilon_0 S'}{2d}$.

Суммарная емкость наполовину заполненного диэлектриком конденсатора равна

$$C = C_1 + C_2 = \frac{\epsilon_0 S}{2d} (\epsilon + 1).$$

Изменение электроемкости

$$\Delta C = C - C_0 = \frac{\epsilon_0 S}{2d} (\epsilon + 1) - \frac{\epsilon_0 S}{2d} = \frac{\epsilon_0 S}{2d} (\epsilon - 1),$$

где $C_0 = \frac{\epsilon_0 S'}{d}$. Так как $\epsilon > 1$, то $\Delta C > 0$, т. е. емкость конденсатора увеличивается. Изменение энергии равно

$$\Delta W = \frac{C \mathcal{E}^2}{2} - \frac{C_0 \mathcal{E}^2}{2} = \frac{\Delta C \mathcal{E}^2}{2},$$

$$\Delta W = \frac{\epsilon_0 S}{2d} \frac{(\epsilon - 1) \mathcal{E}^2}{2} = \frac{\epsilon_0 (\epsilon - 1) S \mathcal{E}^2}{4d}.$$

Энергия электрического поля конденсатора увеличилась. При внесении диэлектрика в электрическое поле конденсатора происходит поляризация диэлектрика, поле ослабляется, однако благодаря источнику заряд на пластинах увеличивается и соответственно напряжение остается прежним. Увеличение энергии электрического поля происходит за счет работы источника:

$$\Delta C = \frac{8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 1 \cdot 5 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 0,01} = 2,21 \cdot 10^{-12} \text{ (Ф)},$$

$$\Delta W = \frac{8,85 \cdot 10^{-12} \cdot (2 - 1) \cdot 5 \cdot 10^{-3} \cdot 4}{4 \cdot 0,01} = 4,42 \cdot 10^{-12} \text{ (Дж)}.$$

9. В плоский воздушный конденсатор вставляется металлическая пластина толщиной d_0 . Заряд на обкладках конденсатора q . Конденсатор отключен от источника. Расстояние между пластинами d , площадь пластин S (рис. 229, а). Определите изменение емкости конденсатора и энергии его электрического поля.

Решение. На металлической пластине индуцируется заряд, причем внутри пластины поле отсутствует. Конденсатор с вставленной пластиной можно представить как два последовательно соединенных конденсатора емкостями

$$C_1 = \frac{\epsilon_0 S}{l_1}, \quad C_2 = \frac{\epsilon_0 S}{l_2},$$

где l_1 и l_2 — расстояния от обкладок до металлической пластины (рис. 229, б). Эквивалентная емкость равна

$$\frac{1}{C_{\text{экв}}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} = \frac{l_1}{\epsilon_0 S} + \frac{l_2}{\epsilon_0 S} = \frac{l_1 + l_2}{\epsilon_0 S},$$

$$l_1 + l_2 = d - d_0,$$

$$C_{\text{экв}} = \frac{\epsilon_0 S}{d - d_0}.$$

Изменение емкости

$$\Delta C = C_{\text{экв}} - C_0 = \frac{\epsilon_0 S}{d - d_0} - \frac{\epsilon_0 S}{d} = \frac{\epsilon_0 S d_0}{(d - d_0)d} > 0.$$

Емкость конденсатора не зависит от локализации пластины. Изменение энергии электрического поля

$$\Delta W = W_2 - W_1,$$

$$\Delta W = \frac{q^2}{2C_{\text{экв}}} - \frac{q^2}{2C_0} = \frac{q^2}{2} \left(\frac{d - d_0}{\epsilon_0 S} - \frac{d}{\epsilon_0 S} \right) = \frac{-q^2 d_0}{2\epsilon_0 S} < 0.$$

Энергия электрического поля уменьшается, так как уменьшается объем, в котором создается поле, напряженность же поля в пространстве между пластинами остается постоянной.

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

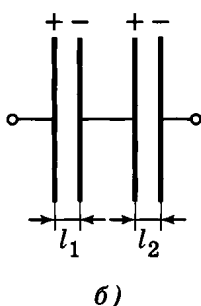
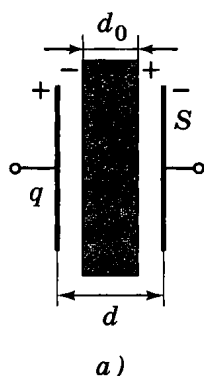


Рис. 229

Решение. Энергия уединенной проводящей сферы определяется выражением

$$W_3 = \frac{C\varphi^2}{2},$$

где C — емкость сферы, равная $4\pi\epsilon_0\epsilon r$.

Изменение энергии сферы равно

$$\Delta W_3 = W_{32} - W_{31} = \frac{C}{2}(\varphi_2^2 - \varphi_1^2).$$

Отсюда

$$\varphi_2 = \sqrt{\frac{2\Delta W_3}{C} + \varphi_1^2} = \sqrt{\frac{\Delta W_3}{2\pi\epsilon_0\epsilon r} + \varphi_1^2}.$$

Изменение заряда определяется по формуле

$$\Delta q = C(\varphi_2 - \varphi_1) = 4\pi\epsilon_0 r \left(\sqrt{\frac{\Delta W_3}{2\pi\epsilon_0 r} + \varphi_1^2} - \varphi_1 \right).$$

Подставляя числовые значения для Δq , получаем

$$\begin{aligned} \Delta q &= 4 \cdot 3,14 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 0,1 \times \\ &\times \left(\sqrt{\frac{1,5 \cdot 10^{-4}}{2 \cdot 3,14 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 0,1}} + 10^8 - 10^4 \right) = 1,67 \cdot 10^{-8} \text{ (Кл)}. \end{aligned}$$

ЗАДАЧИ

942. Два конденсатора емкостями C_1 и C_2 соединены последовательно и подключены к источнику постоянного напряжения U (рис. 230). На сколько изменится заряд на конденсаторах, если конденсатор емкостью C_2 заполнить диэлектриком с диэлектрической проницаемостью ϵ ?
943. Определите эквивалентную емкость схем $a - z$ (рис. 231). Емкости всех конденсаторов равны C .
944. Определите, какое количество теплоты выделится в проводнике, если через него разрядить плоский конденсатор, заряженный до разности потенциалов 2 кВ. Площадь пластин $0,2 \text{ м}^2$, расстояние между ними 1 мм, диэлектрическая проницаемость вещества, заполняющего пространство между пластинами, равна 10.

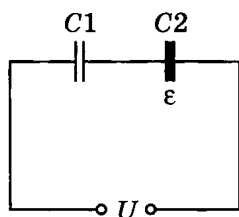


Рис. 230

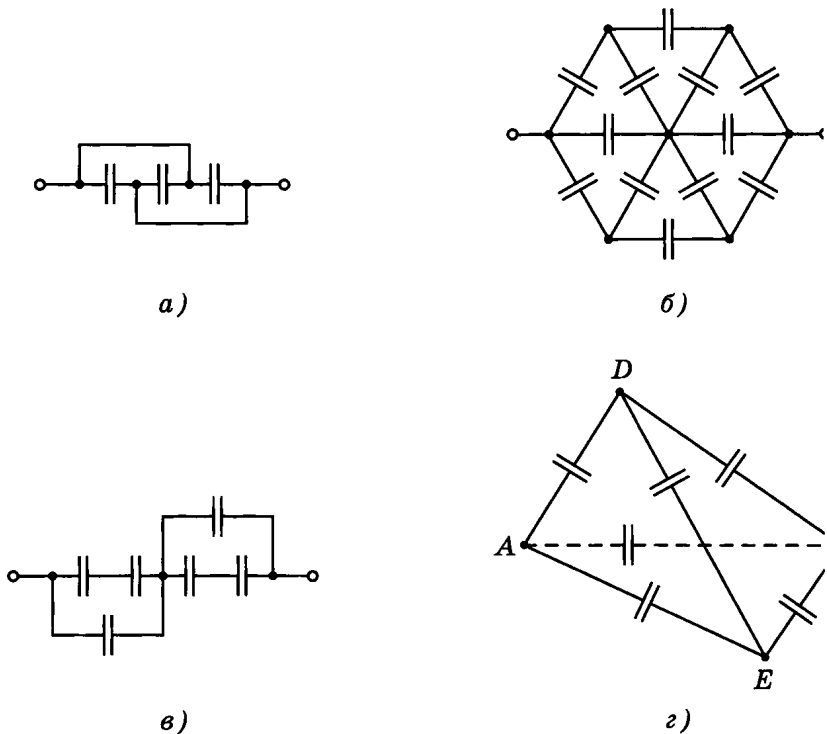


Рис. 231

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

946. Какое количество теплоты выделится в цепи при переводе ключа из положения 1 в положение 2 (рис. 232)? Электроемкость конденсатора C , подаваемое напряжение U .

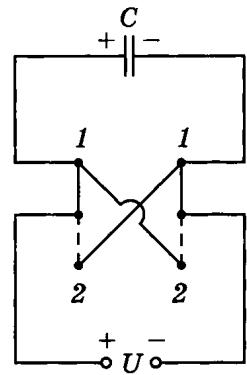


Рис. 232

947. Три конденсатора, емкости которых равны C_1 , C_2 , C_3 , соединены в схему, как показано на рисунке 233. Разность потенциалов между точками A и B равна U . Определите разность потенциалов между точками A и D .

948. Определите заряд, который пройдет по проводам, соединяющим обкладки плоского воздушного конденсатора и источник тока с ЭДС, равной 8 В, при погружении конденсатора в диэлектрик с $\epsilon = 2$. Площадь пластин конденсатора 200 см^2 , расстояние между пластинами 2 мм.

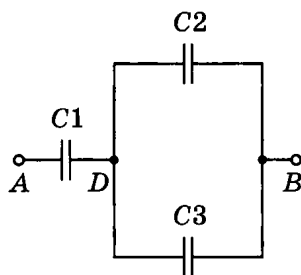


Рис. 233

949. Конденсатор емкостью 3 мкФ и напряжением на обкладках 100 В соединяют параллельно с конденсатором емкостью 4 мкФ и напряжением на обкладках 50 В разноименно заряженными обкладками. Определите заряды конденсаторов после соединения и изменение энергии электрического поля.

950. Определите емкость батареи конденсаторов и заряд каждого конденсатора в схеме, показанной на рисунке 234. Напряжение между точками A и B равно 10 В, $C_1 = C_2 = C_3 = C_4 = C_5 = C_6 = 10 \text{ мкФ}$.

951. Два одинаковых конденсатора, в один из которых помещена диэлектрическая пластина с относительной диэлектрической проницаемостью ϵ , соединены и заряжены до напряжения U (рис. 235). Определите работу, которую надо совершить, чтобы вытащить диэлектрическую пластину из конденсатора. Электроемкость воздушного конденсатора равна C .

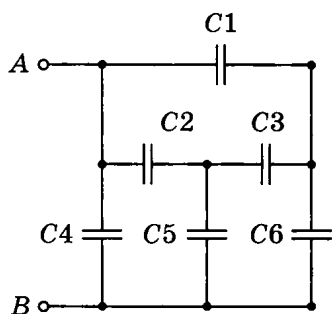


Рис. 234

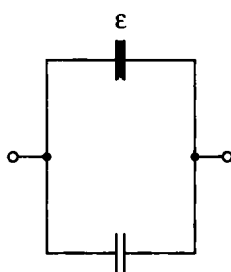


Рис. 235

Приложение

Физические величины и их значения, необходимые для решения задач

Таблица 1

Основные физические постоянные

Физическая постоянная	Обозначение	Числовое значение
Атомная единица массы (1/12 массы нуклида углерода ^{12}C)	а. е. м.	$1,661 \cdot 10^{-27} \text{ кг} =$ $= 931,5 \text{ МэВ}/c^2$
Гравитационная постоянная	G	$6,672 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3/(\text{кг} \cdot \text{с}^2)$
Магнитная постоянная	μ_0	$1,26 \cdot 10^{-6} \text{ Гн} \cdot \text{м}^{-1}$
Масса покоя нейтрона	m_n	$1,675 \cdot 10^{-27} \text{ кг} =$ $= 1,008665 \text{ а. е. м.}$
Масса покоя протона	m_p	$1,673 \cdot 10^{-27} \text{ кг} =$ $= 1,007276 \text{ а. е. м.}$
Масса покоя электрона	m_e	$9,110 \cdot 10^{-31} \text{ кг} =$ $= 5,486 \cdot 10^{-4} \text{ а. е. м.}$
Постоянная Авогадро	N_A	$6,022 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$
Постоянная Больцмана	$k=R/N_A$	$1,381 \cdot 10^{-23} \text{ Дж} \cdot \text{К}^{-1}$
Постоянная Планка	h	$6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$
	$\hbar = \frac{h}{2\pi}$	$1,055 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$
Постоянная Ридберга	R	$1,097 \cdot 10^{-7} \text{ м}^{-1}$
Постоянная Фарадея	$F=N_A e$	$9,65 \cdot 10^4 \text{ Кл} \cdot \text{моль}^{-1}$
Скорость света в вакууме	c	$2,998 \cdot 10^8 \text{ м}/\text{с}$
Удельный заряд электрона	e/m_e	$1,759 \cdot 10^{11} \text{ Кл} \cdot \text{кг}^{-1}$

Физическая постоянная	Обозначение	Числовое значение
Универсальная газовая постоянная	R	$8,314 \text{ Дж} \cdot \text{моль}^{-1} \cdot \text{К}^{-1}$
Электрическая постоянная	ϵ_0	$8,854 \cdot 10^{-12} \text{ Ф} \cdot \text{м}^{-1}$
Элементарный заряд (заряд электрона)	e, q_e	$1,602 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$

Таблица 2

Плотности веществ (ρ)

Твердое вещество	$\rho, 10^3 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$	Жидкость	$\rho, 10^3 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$	Газ (нормальные условия)	$\rho, \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$
Алюминий	2,7	Ацетон	0,79	Азот	1,25
Железо	7,8	Вода	1,00	Водород	0,09
Золото	19,3	Глицерин	1,26	Воздух	1,29
Лед	0,9	Масло касторовое	0,9	Кислород	1,43
Никель	8,9	Керосин	0,8	Углекислый газ	1,98
Медь	8,9	Ртуть	13,6	Хлор	3,21
Свинец	11,3				
Серебро	10,5				
Сталь	7,8				

Таблица 3

Модули упругости (E)

Материал	$E, \text{ ГПа}$	Материал	$E, \text{ ГПа}$
Алюминий	70	Свинец	16
Железо	200	Сталь	210
Медь	130	Стекло	60

Таблица 4

Кoeffициенты теплового расширения

Твердое вещество	Кoeffициент линейного расширения α , 10^{-5} K^{-1}	Жидкость	Кoeffициент объемного расширения β , 10^{-4} K^{-1}
Алюминий	2,4	Глицерин	5
Железо	1,2	Керосин, бензин	10
Медь	1,7	Ртуть	1,8
Сталь	1,1	Спирт	1,1
Стекло	0,9	Вода	2,1

Таблица 5

Давление насыщенного пара воды ($p_{\text{н.п}}$) при различных температурах (t)

t , °C	$p_{\text{н.п}}$, кПа	t , °C	$p_{\text{н.п}}$, кПа	t , °C	$p_{\text{н.п}}$, кПа
1	0,653	11	1,31	21	2,49
2	0,706	12	1,39	22	2,64
3	0,759	13	1,49	23	2,81
4	0,813	14	1,59	24	2,98
5	0,880	15	1,71	25	3,17
6	0,933	16	1,81	26	3,36
7	0,999	17	1,93	27	3,56
8	1,07	18	2,07	28	3,78
9	1,15	19	2,19	29	3,99
10	1,23	20	2,33	30	4,24

Таблица 6

Удельные теплоемкости (c)

Вещество	$c, 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$	Вещество	$c, 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$
Алюминий	0,90	Свинец	0,13
Вода	4,19	Серебро	0,23
Железо	0,46	Серная кислота	1,59
Керосин	2,14	Спирт	2,43
Лед	2,1	Сталь	0,46
Медь	0,38	Стекло	0,83
Олово	0,28		

Таблица 7

Удельная теплота плавления (λ)
и температура плавления ($t_{\text{пл}}$)

Вещество	$\lambda, 10^3 \text{ Дж} \cdot \text{кг}^{-1}$	$t_{\text{пл}}, ^\circ\text{C}$
Лед	333	0
Медь	175	1083
Свинец	25	327
Олово	59	232

Таблица 8

Удельная теплота парообразования (r)
и температура кипения (t) при нормальном давлении

Вещество	$r, 10^6 \text{ Дж} \cdot \text{кг}^{-1}$	$t, ^\circ\text{C}$
Вода	2,26	100
Вольфрам	4,80	5900
Кислород	0,21	-183
Ртуть	0,28	357
Серебро	2,30	558
Спирт	0,85	78

Таблица 9

Удельная теплота сгорания (q)

Вещество	$q, 10^6 \text{ Дж} \cdot \text{кг}^{-1}$	Вещество	$q, 10^6 \text{ Дж} \cdot \text{кг}^{-1}$
Бензин	46,0	Нефть	46,0
Газ	46,0	Порох	3,8
Дерево	1,3	Спирт	29,0
Дизельное топливо	42,0	Каменный уголь	29,0

Таблица 10

Относительная диэлектрическая проницаемость (ϵ)

Вещество	ϵ	Вещество	ϵ
Вода	81,0	Слюда	7,0
Кварц	4,5	Спирт	26,0
Керосин	2,0	Стекло	7,0
Масло	2,0	Фарфор	6,0
Парафин	2,0	Эбонит	2,7

Таблица 11

Удельное сопротивление (ρ) и температурный коэффициент (α)

Вещество	$\rho, 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$	$\alpha, 10^{-3} \text{ К}^{-1}$
Алюминий	2,5	4,5
Вольфрам	5,3	4,6
Железо	8,7	6,2
Медь	1,7	4,3
Нихром	100,0	0,4
Свинец	21,0	4,2
Серебро	1,5	4,1
Сталь	15,0	6,0
Уголь	400,0	0,8

Таблица 12

Показатель преломления среды (n)

Вещество	n	Вещество	n
Алмаз	2,42	Масло	1,52
Вода	1,33	Спирт	1,36
Кварц	1,54	Стекло	1,54

Таблица 13

Работа выхода электрона из металла ($A_{\text{вых}}$)

Металл	$A_{\text{вых}}$, эВ	Металл	$A_{\text{вых}}$, эВ
Вольфрам	4,50	Натрий	2,27
Калий	2,15	Платина	5,29
Литий	2,39	Цезий	1,89
Медь	4,47	Цинк	3,74

Таблица 14

Массы изотопов*

Изотоп	Масса изотопа, а. е. м.	Изотоп	Масса изотопа, а. е. м.
¹ H (водород)	1,00783	¹⁰ B (бор)	10,01294
² H, D (дейтерий)	2,01410	¹³ N (азот)	13,005739
³ H, T (тритий)	3,01605	¹² C (углерод)	12,00000
³ He (гелий—3)	3,01602	¹³ C (углерод)	13,003355
⁴ He (гелий—4)	4,00260	¹⁴ N (азот)	14,00301
⁶ Li (литий)	6,01513	¹⁶ O (кислород)	15,99491
⁷ Li (литий)	7,01601	¹⁷ O (кислород)	16,99913
⁸ Be (бериллий)	8,00531	²¹ Al (алюминий)	25,98146
⁹ Be (бериллий)	9,01218	²¹⁰ Po (полоний)	209,98297

* Для нахождения массы ядра данного изотопа необходимо вычесть суммарную массу электронов из массы изотопа.

Таблица 15

Периоды полураспадов радиоактивных элементов ($T_{1/2}$)

Зарядовое число	Изотоп	Тип распада	T
27	Co (кобальт)	β	5,2 года
38	Sr (стронций)	β	28 лет
84	Po (полоний)	α	138 сут.
86	Rn (радон)	α	3,8 сут.
88	Ra (радий)	α	1620 лет
92	U (уран)	α	$4,5 \cdot 10^9$ лет

Астрономические величины

Космическое тело	Средний радиус, м	Масса, кг	Средняя плотность, 10^3 кг/м^3	Период обращения вокруг оси, сут.
Солнце	$6,96 \cdot 10^8$	$1,99 \cdot 10^{30}$	1,41	25,4 (средн.)
Земля	$6,37 \cdot 10^6$	$5,96 \cdot 10^{24}$	5,52	1,0
Луна	$1,74 \cdot 10^6$	$7,35 \cdot 10^{22}$	3,30	27,3

Параметры орбиты

Планета	Среднее расстояние от Солнца, 10^6 км	Период обращения вокруг Солнца, годы
Меркурий	59,8	0,24
Венера	104,7	0,62
Земля	149,6	1,00
Марс	224,4	1,88
Юпитер	777,9	11,86
Сатурн	1421,2	29,46
Уран	2871,0	84,01
Нептун	4497,0	164,79

Множители и приставки для обозначения десятичных кратных и дольных единиц

Множитель	Приставка	Обозначение	Пример
10^{12}	тера	Т	терагерц, ТГц
10^9	гига	Г	гигаватт, ГВт
10^6	мега	М	мегаом, МОм
10^3	кило	к	километр, км
10^2	гекто*	г	гектолитр, гл
10^1	дека*	да	декалитр, дал
10^{-1}	деци*	д	дециметр, дм
10^{-2}	санти*	с	сантиметр, см
10^{-3}	милли	м	милливольт, мВ
10^{-6}	микро	мк	микроампер, мкА
10^{-9}	нано	н	наносекунда, нс
10^{-12}	пико	п	пикофарад, пФ

* Звездочкой отмечены приставки, которые допускается применять только для единиц, получивших широкое распространение, например: дециметр, сантиметр, декалитр, гектолитр.

Физические величины и их единицы измерения

Величина		Единица		
Наименование	Обозначение	Наименование	Обозначение	Размерность
Время	t	секунда (минута, час, сутки)	с (мин, ч, сут.)	
Давление	p, P	паскаль (атмосфера, миллиметр ртутного столба)	Па (атм, мм рт. ст.)	$\text{кг}/(\text{м} \cdot \text{с}^2)$
Длина	l	метр	м	
Длина волны	λ	метр	м	
Емкость электрическая	C	фарад	Ф	$\text{А} \cdot \text{с}^4/(\text{кг} \cdot \text{м}^2)$
Заряд	q, Q	кулон	Кл	$\text{А} \cdot \text{с}$
электрический, количество				
электричества				
Индуктивность	L	генри	Гн	$\text{кг} \cdot \text{м}^2/(\text{А}^2 \cdot \text{с}^2)$
Индукция магнитная	B	тесла	Тл	$\text{кг}/(\text{А} \cdot \text{с}^2)$
Количество вещества	ν	моль	моль	

Коэффициент линейного расширения	α	кельвин в минус первой степени (градус Цельсия в минус первой степени)	K^{-1} ($^{\circ}C^{-1}$)	
Коэффициент объемного расширения	β	кельвин в минус первой степени (градус Цельсия в минус первой степени)	K^{-1} ($^{\circ}C^{-1}$)	
Коэффициент поверхностного натяжения	σ	ньютон на метр	Н/м	$кг/с^2$
Масса	m	килограмм, атомная единица массы	кг, а. е. м. кг/моль	
Масса молярная	M	килограмм на моль	Па	$кг/(м \cdot с^2)$
Модуль упругости	E	паскаль		$кг \cdot м^2/с^2$
Момент силы	M	ньютон-метр (дина-сантиметр)	Н · м (дин · см)	$кг \cdot м^2/с^3$
Мощность	P, N	ватт	Вт	$кг \cdot м^2/(A^2 \cdot с^3)$
Напряжение электрическое	U	вольт	В	
Напряженность магнитного поля	H	ампер на метр	А/м	

Величина		Единица		
Наименование	Обозначение	Наименование	Обозначение	Размерность
Напряженность электрического поля	E	вольт на метр (ньютон на кулон)	В/м (Н/Кул)	$\text{кг} \cdot \text{м}(\text{А} \cdot \text{с}^3)$
Объем	V	кубический метр (литр)	м^3 (л)	
Период	T	секунда	с	
Период полураспада радионуклона	$T_{1/2}$	секунда (минута, час, сутки)	с (мин, ч, сут.)	
Плотность	ρ	килограмм на кубический метр	кг/м^3	
Плотность электрического заряда объемная	ρ	кулон на кубический метр	Кул/м^3	$\text{А} \cdot \text{с/м}^3$
Плотность электрического заряда поверхностная	σ	кулон на квадратный метр	Кул/м^2	$\text{А} \cdot \text{с/м}^2$
Площадь	S, s	квадратный метр	м^2	

Поток магнитный	Φ	вебер	Вб	$\text{кг} \cdot \text{м}^2 / (\text{А}^2 \cdot \text{с}^2)$
Работа	A	джоуль (киловатт-час)	Дж (кВт · ч)	$\text{кг} \cdot \text{м}^2 / \text{с}^2$
Разность потенциалов	$\varphi_1 - \varphi_2, \Delta\varphi$	вольт	В	$\text{кг} \cdot \text{м}^2 / (\text{А} \cdot \text{с}^3)$
Сила	F	ньютон	Н	$\text{кг} \cdot \text{м} / \text{с}^2$
Сила оптическая линзы	D	метр в минус первой степени (диоптрия)	м^{-1} (дптр)	
Сила электрического тока	I	ампер	А	
Сила электро-движущая	\mathcal{E}	вольт	В	$\text{кг} \cdot \text{м}^2 / (\text{А} \cdot \text{с}^3)$
Скорость линейная	v	метр в секунду (километр в час)	м/с (км/ч)	
Скорость угловая	ω	радиан в секунду	рад/с	
Сопротивление электрическое	R, r	ом	Ом	$\text{кг} \cdot \text{м} / (\text{А}^2 \cdot \text{с}^3)$
Сопротивление электрическое удельное	ρ	ом-метр	Ом · м	$\text{кг} \cdot \text{м}^2 / (\text{А}^2 \cdot \text{с}^3)$

Величина		Единица		
Наименование	Обозначение	Наименование	Обозначение	Размерность
Температура	T, t	кельвин (градус Цельсия)	К (°С)	
Теплоемкость удельная	c	джоуль на килограмм- кельвин	Дж/(кг · К)	$\text{м}^2/(\text{К} \cdot \text{с}^2)$
Теплота	Q	джоуль	Дж	$\text{кг} \cdot \text{м}^2/\text{с}^2$
Теплота парообразования удельная	r	джоуль на килограмм	Дж/кг	$\text{м}^2/\text{с}^2$
Теплота плавления удельная	λ	джоуль на килограмм	Дж/кг	$\text{м}^2/\text{с}^2$
Теплота сгорания топлива удельная	q	джоуль на килограмм	Дж/кг	$\text{м}^2/\text{с}^2$
Угол плоский	α, β, γ	радиан (градус)	рад (°)	
Угол телесный	ω, Ω	стерадиан	ср	
Ускорение	a	метр на секунду в квадрате	$\text{м}/\text{с}^2$	

Частота	ν	герц			
Частота вращения	n	секунда в минус первой степени			Гц с^{-1}
Энергия	W, E	джоуль (электрон-вольт)			Дж (эВ) $\text{кг} \cdot \text{м}^2 / \text{с}^2$
Энергия внутренняя	U	джоуль			Дж $\text{кг} \cdot \text{м}^2 / \text{с}^2$

П р и м е ч а н и е. 1 атм = 760 мм рт. ст. = $1,013 \cdot 10^5$ Па;
 1 а. е. м. = $1,6606 \cdot 10^{-27}$ кг = 931,5 МэВ/ с^2 ;
 1 кВт \cdot ч = $3,6 \cdot 10^6$ Дж;
 1 эВ = $1,6 \cdot 10^{-19}$ Дж = $1,6 \cdot 10^{-19}$ кг \cdot м²/ с^2 .

Периодическая таблица химических элементов Д. И. Менделеева

периоды	I	II	III	IV	V	
1	{H}					
2	Li ³ 6,941 литий	Be ⁴ 9,01218 бериллий	5 10,811	B ⁶ 12,011 бор	C ⁷ 14,0067 углерод	N ⁷ азот
3	Na ¹¹ 22,9898 натрий	Mg ¹² 24,305 магний	13 26,9815 алюминий	Al ¹⁴ 28,086 кремний	Si ¹⁵ 30,9738 фосфор	P ¹⁵ фосфор
4	K ¹⁹ 39,0983 калий	Ca ²⁰ 40,078 кальций	Sc ²¹ 44,956 скандий	Ti ²² 47,88 титан	V ²³ 50,942 ванадий	
	29 63,546 Cu медь	30 65,39 Zn цинк	31 69,723 Ga галлий	32 72,61 Ge германий	33 74,9216 As мышьяк	
5	Rb ³⁷ 85,47 рубидий	Sr ³⁸ 87,62 стронций	Y ³⁹ 88,906 иттрий	Zr ⁴⁰ 91,224 цирконий	Nb ⁴¹ 92,906 ниобий	
	47 107,868 Ag серебро	48 112,41 Cd кадмий	49 114,82 In индий	50 118,710 Sn олово	51 121,75 Sb сурьма	
6	Cs ⁵⁵ 132,9054 цезий	Ba ⁵⁶ 137,33 барий	La* ⁵⁷ 138,9055 лантан	Hf ⁷² 178,49 гафний	Ta ⁷³ 180,948 тантал	
	79 196,967 Au золото	80 200,59 Hg ртуть	81 204,383 Tl таллий	82 207,2 Pb свинец	83 208,9804 Bi висмут	
7	Fr ⁸⁷ [223] франций	Ra ⁸⁸ [226] радий	Ac** ⁸⁹ [227] актиний	Rf ¹⁰⁴ [261] резерфордий	Db ¹⁰⁵ [262] дубний	

* ЛАНТАНОИДЫ

Ce ⁵⁸ 140,12 церий	Pr ⁵⁹ 140,9077 празеодим	Nd ⁶⁰ 144,24 неодим	Pm ⁶¹ [145] прометий	Sm ⁶² 150,36 самарий	Eu ⁶³ 151,96 европий	Gd ⁶⁴ 157,25 гадолиний
Tb ⁶⁵ 158,925 тербий	Dy ⁶⁶ 162,50 диспрозий	Ho ⁶⁷ 164,930 гольмий	Er ⁶⁸ 167,26 эрбий	Tm ⁶⁹ 168,934 тулий	Yb ⁷⁰ 173,04 иттербий	Lu ⁷¹ 174,97 лютеций

VI		VII		VIII	
	1 1,0079 H водород	2 4,0026 He гелий	Атомный номер ↓ Обозначение элемента → Li 3 литий 6,939 ↑ Относительная атомная масса		
8 15,9994 O кислород	9 18,9984 F фтор	10 20,179 Ne неон	16 32,066 S сера	17 35,453 Cl хлор	18 39,948 Ar аргон
Cr 24 хром 51,996	Mn 25 марганец 54,9380	Fe 26 железо 55,847	Co 27 кобальт 58,933	Ni 28 никель 58,69	
34 78,96 Se селен	35 79,904 Br бром	36 83,80 Kr криптон			
Mo 42 молибден 95,94	Tc 43 технеций [98]	Ru 44 рутений 101,07	Rh 45 родий 102,906	Pd 46 палладий 106,4	
52 127,60 Te теллур	53 126,9045 I иод	54 131,30 Xe ксенон			
W 74 вольфрам 183,84	Re 75 рений 186,2	Os 76 осмий 190,2	Ir 77 иридий 192,22	Pt 78 платина 195,08	
84 [209] Po полоний	85 [210] At астат	86 222 Rn радон			
Sg 106 сиборгий [266]	Bh 107 борий [267]	Hs 108 хассий [269]	Mt 109 мейтнерий [268]	110	

** АКТИНОИДЫ

Th 90 торий 232,038	Pa 91 протактиний [231]	U 92 уран 238,03	Np 93 нептуний [237]	Pu 94 плутоний [244]	Am 95 америчий [243]	Cm 96 кюрий [247]
Bk 97 берклий [247]	Cf 98 калифорний [251]	Es 99 эйнштейний [252]	Fm 100 фермий [257]	Md 101 менделевий [258]	No 102 нобелий [259]	Lr 103 лоуренсий [260]

Ответы

1. $\approx 2,6$ м; 1,5 м. 2. $\approx 4,3$ м. 3. 4 м; 6 м; 30° . 4. $\approx 1,4$ м; 45° . 5. $\approx 6,12$ м; вектор \vec{r}_B составляет угол 45° с осью OX . 6. -2 м; -6 м. 7. 6 м; 60° . 8. 5 м; $\approx 4,12$ м; $\approx 4,47$ м. 9. $\approx 4,2$ м; 3 м; -3 м; -45° . 10. $a_x \approx 3,46$ м; $a_y = 2$ м; 1) $b_x = -2,5$ м, $b_y \approx 4,3$ м; 2) $b_x = 2,5$ м, $b_y = -4,3$ м. 11. Составляющими вектора \vec{a} по двум неколлинеарным направлениям являются векторы \vec{b} и \vec{c} , причем $\vec{a} = \vec{b} + \vec{c}$. Проекциями вектора являются числа, равные произведениям модуля вектора на косинус угла между вектором и заданными направлениями. 13. Нет. Модуль перемещения $|\Delta\vec{r}| \leq l$, где l — длина пути. 14. 1,41 см. 15. 5 м. 16. 5 км; 3 км. 17. $|\Delta\vec{r}| = l \approx 26$ см; $|\Delta\vec{r}_B| \approx 77,6$ см; $l_B \approx 78,5$ см. 18. $\approx 3,9$ см; $\approx 82,4$ см. 19. $l_A = 4,71$ м; $l_B \approx 15,7$ м; $l_C \approx 18,8$ м; $l_O \approx 22$ м; $|\Delta\vec{r}_A| = 3$ м; $|\Delta\vec{r}_B| = 4$ м; $|\Delta\vec{r}_C| \approx 2,83$ м; $|\Delta\vec{r}_O| = 0$. 20. 7 км; 5 км. 21. $|\Delta\vec{r}| = 20\text{tg}30^\circ \approx 11,5$ м; $l = 20\left(1 + \frac{1}{\cos 30^\circ}\right) \approx 43,1$ м. 22. $x = 1 + 2t$ (м); $\vec{r}(t) = \vec{r}_0 + \vec{v}t$,

- где $|\vec{r}_0| = 1$ м; $|\vec{v}| = 2$ м/с. 23. -3 м/с. 24. 0,1 ч; 0,9 км. 26. $v_1 = 1,25$ м/с; $v_2 = 5$ м/с. 28. 1) $x = 20 - 4t$; 3) 5 с. 29. 1) 1 м/с; 3 м/с; 2) $x_1 = t$ (м); $x_2 = 3(t - 20)$ (м); 3) через 10 с с момента начала движения второго тела. 30. 54 км. 31. 0—4 с — движение равномерное со скоростью $v_x = 0,5$ м/с; 4—6 с — движение равномерное со скоростью $v_x = 2$ м/с; 6—12 с — движение равномерное со скоростью $v_x = -1$ м/с. 33. $v_{Cx} = v$, $v_{Cy} = 0$; $v_{Dx} = 0$, $v_{Dy} = -v$. 34. При прямолинейном движении. 35. 1) 90° ; 2) 180° . 36. 35 м/с; 35 м/с. 37. 10 с. 38. 25 м/с. 39. $10\text{tg}60^\circ \approx 17$ м/с. 40. 1) Лодочник должен направить лодку под углом 60° к берегу. $t_1 = 58$ с; 2) Скорость лодки должна быть перпендикулярна берегу реки. $t_2 = 50$ с. Лодка сместится на 50 м вниз по течению реки. 41. $v_{\text{отн}} = \sqrt{v_c^2 + v_b^2 + \sqrt{2}v_b v_c}$; $\sin\beta = \frac{v_b\sqrt{2}}{2v_{\text{отн}}}$. 42. $\text{tg}\alpha = \frac{v_{\text{отн}}}{v_0}$. 43. $\approx 9,2$ м/с. 44. 4 м/с; $\approx 4,2$ мин.

45. Указание. Представьте, что вы находитесь на одной из галактик и определяете скорость остальных галактик, движущихся относительно вас. 46. 18 км/ч; ≈ 65 км/ч. 47. $v = v_1 \frac{D}{\sqrt{h^2 - D^2}}$. Указание. Для того чтобы зонт задер-

- живал максимальный поток, скорость капель должна быть перпендикулярна его поверхности. Считайте, что зонт плоский и верхний край зонта почти касается головы человека. 48. $\alpha_1 \leq \alpha \leq \alpha_2$, где $\sin \alpha_1 = \frac{2}{3}$, $\sin \alpha_2 = 180^\circ - \alpha_1$. 49. 2 м/с^2 . 50. $\approx 3,5 \text{ м/с}^2$; $2,5 \text{ м/с}^2$; 0. 51. 5 м/с^2 . 52. $1,25 \text{ м/с}^2$; $\frac{10}{3} \text{ м/с}^2$. 53. $v_x = 2 - 4t$ (м/с). 54. 1) $v_1 = 0$, $a_{1x} = 1 \text{ м/с}^2$; 2) $v_2 = 2 \text{ м/с}$, $a_{2x} = 1 \text{ м/с}^2$; 3) $v_3 = 2 \text{ м/с}$, $a_{3x} = -1 \text{ м/с}^2$. 56. $a = 5 \text{ м/с}^2$; $\text{tg} \alpha = \frac{3}{4}$ ($\alpha \approx 37^\circ$). 57. 5 м/с . 58. 1) $v_x = 5 \cos 60^\circ + 4 \cos 45^\circ t$, $v_y = 5 \sin 60^\circ + 4 \sin 45^\circ t$; 2) $v \approx 25 \text{ м/с}$. 59. $x = -2t + 2t^2$ (м); 4 м ; 6 м/с . 60. 64 м . 61. $x(1) = 14 \text{ м}$, $x(2) = 20 \text{ м}$, $x(3) = 22 \text{ м}$, $x(4) = 20 \text{ м}$, $x(5) = 14 \text{ м}$, $x(6) = 4 \text{ м}$; $|\Delta \vec{r}| = 0$; $l = 44 \text{ м}$. 62. $22,5 \text{ м}$; 40 м . 63. $x = 2 + 1,5t^2$ (м); $v_x = 3t$ (м/с). 65. $|\Delta \vec{r}_1| = 40 \text{ м}$; $|\Delta \vec{r}_2| = 70 \text{ м}$; $|\Delta \vec{r}_3| = 80 \text{ м}$; $|\Delta \vec{r}_4| = 40 \text{ м}$. 66. $t_1 = 5 \text{ с}$, $t_2 = 10 \text{ с}$. 67. $x(t) = 10 + 10t - t^2$ (м); $v_x(t) = 10 - 2t$ (м/с). 68. 10 м/с^2 ; $l = 40 \text{ м}$. 69. $7,5 \text{ м/мин}^2$. 71. $\frac{5}{3} \text{ м/с}$; $\frac{10}{3} \text{ м/с}^2$. 72. $\frac{a_2}{a_1} = \frac{v_2^2}{v_1^2} = 2,25$. 73. 2. 74. 5 с. 75. $y = 2t + 4t^2$; $v_y = 2 + 8t$. 76. 1 с; 10 м/с . 77. $\approx 27 \text{ м}$. 78. $0,6 \text{ м}$. 79. 2 с; $\approx 1,4 \text{ с}$; $0,6 \text{ с}$. 80. $4,9 \text{ м}$; $\approx 24 \text{ м}$. 81. 13 м . 82. $\approx 26 \text{ м/с}$. 83. $\approx 300 \text{ м}$. 84. $\approx 11 \text{ м/с}$. 85. 8. 86. 20 м/с ; 36 м/с . 87. $\approx 32 \text{ м}$; $\approx 59 \text{ м}$. 88. 15 м/с ; 48 м . 89. Приблизительно на 2 м . 90. $\text{tg} \alpha = 2$, $\alpha = 63^\circ$. 91. Указание. Запишите уравнения движения тела по горизонтальной и вертикальной осям и исключите время. В результате получите зависимость y от x . По виду этой зависимости вы можете определить тип кривой. 92. $\approx 870 \text{ м}$. 93. 13 м ; $\approx 15 \text{ м/с}$. 94. $v_{\min} = \frac{l}{\cos \alpha} \sqrt{\frac{g}{2(\text{tg} \alpha + h)}}$. 95. 1200 м . 96. $\approx 10 \text{ м/с}$. 97. $\approx 3 \text{ м}$. 98. $\approx 7,6 \text{ м/с}$; $\approx 5,1 \text{ м}$. 99. $37,5^\circ$. 100. 2 раза. 101. $\frac{R_A}{R_B} = 4$. 102. Равномерно по окружности. Замедленное движение по окружности. 103. 2; 2. 104. $12,56 \text{ рад/с}$; $\approx 3,8 \text{ м/с}$; $\approx 47 \text{ м/с}^2$. 105. $\approx 8,64 \cdot 10^{-4} \text{ рад/с}$; $\approx 7 \cdot 10^3 \text{ м/с}$. 106. 8 м/с^2 . 107. $\approx 18 \text{ м/с}^2$. 108. $v_A = 4 \text{ м/с}$; $v_B = 5 \text{ м/с}$. 109. 1 м/с ; 2 м/с . 110. $\approx 1,74 \cdot 10^{-3} \text{ рад/с}$; $\approx 2,6 \cdot 10^{-3} \text{ см/с}$.

111. $\omega = \frac{3v_1}{4R}$; $v_0 = \frac{v_1 - v_2}{2}$. 112. 1 рад/с. 113. 0,15 м/с².

114. $\approx 3,46$ м/с. 115. $\sqrt{v_1^2 + \frac{(v_2 - v_1 \cos \alpha)^2}{\sin^2 \alpha}}$, $\operatorname{tg} \gamma = \frac{v_1 - v_2 \cos \alpha}{v_2 \sin \alpha}$, где

γ — угол между векторами скоростей \vec{v} и \vec{v}_2 . **Указание.**

Проекции скорости машины на оси, направленные вдоль канатов, равны скоростям канатов. 116. 3 кН. 117. 2 Н.

118. 20 м/с². 119. 2,2 м/с², направлено вверх.

120. $\approx 0,91$ м/с². 121. 0,1 Н. 122. 20 Н. 123. ≈ 52 кН.

125. $\approx 3,1$ Н. 126. 52 кН $\geq T \geq 46$ кН. 127. 30 кг.

128. 2,5 м/с². 129. $\approx 1,8$ м/с. 130. 4,8 Н. 131. 2,5 м/с²;

1,25 м/с²; 22,5 Н; 45 Н. 132. ≈ 82 м. 133. $\approx 4,6$ рад/с.

134. 1 Н. 135. $\approx 8,2$ рад/с. 136. 189 Н; 1560 Н.

137. $l_2 = \frac{m_1 g}{m_2 \omega^2}$. 138. $\omega_0 = \sqrt{\frac{g}{(l-R)(R+l+2r)}}$. 139. $v \geq \sqrt{\frac{gR}{\mu}}$.

140. $6 \cdot 10^{24}$ кг. 141. $(\sqrt{2} - 1)R_3 \approx 0,4R_3$. 142. $v_2 = \frac{v_1}{\sqrt{2}}$.

143. $r = \sqrt[3]{\frac{gR^2 T^2}{4\pi^2}}$. 144. ≈ 110 кг/м³. 145. 4,8 ч.

146. $\approx 6,5$ км/с. 147. 1,7 км/с. 148. На 14 Н. 149. 4,9 м/с².

150. $\sqrt{3}g$. 151. 180 км/ч; на 690 Н. 152. ≈ 220 кг/м³.

153. $\frac{2\pi(R+h)}{\sqrt{gR \left[\left(\frac{R+h}{R} \right)^2 - 1 \right]}}$. 154. ≈ 12 ч. 155. Увеличится на 60 Н.

156. 4 кН/м. 157. 1 м/с². 158. 1) 0; 2) $\frac{ma}{k}$.

159. $\Delta x = \frac{ma}{k}$. 160. 1 мм. 161. 1,8 см; 2,4 см;

1,2 см; 1,6 см. 162. $\approx 2,8$ м/с. 163. 20 м/с.

164. 1. 165. 6 м/с². 166. ≈ 78 м. 167. 1) $mg \cos \alpha$;

2) $m \sqrt{(g \sin \alpha - a)^2 + g^2 \cos^2 \alpha}$. 168. 5 м/с². 169. 3 м/с²; 6 мм.

170. 0,22. 171. $\approx 0,18$ м/с². 172. Через 1,5 с. 173. ≈ 570 Н.

174. ≈ 2 м/с²; $\approx 1,3$ Н. 175. ≈ 1 м. 176. ≈ 8 м/с²; $\approx 2,3$ м/с².

177. 2,5 м/с. 178. 0,1 м/с. 179. 1,5 кг/с. 180. 6 кг. 181. 0,4.

182. 37,5 Н. 183. 0,19. 184. 5 Н. 185. 13 с. 186. 3 кг · м/с.

187. ≈ 450 кг · м/с. 188. 16 Н · с; 1 м/с. 189. 10 м/с.

190. 2 м/с. 191. 1,5 м/с. 192. 1) 2,4 м/с; 2) 4,4 м/с.

193. $\frac{1}{5}v_0$. 194. 0,8 м. 195. $\sqrt{\frac{gL M}{m+M}}$. 196. $\sqrt{p_1^2 + p_2^2 + 2p_1 p_2 \cos \alpha}$.

197. 52 м. 198. ≈ 6 м. 199. 1) Первым должен прыгнуть человек с большей массой; 2) ≈ 3 м/с. 200. $\frac{1}{3}$ м/с. 201. $\approx 2,8 \cdot 10^3$ м/с. 202. $3,6 \cdot 10^4$ Н. 203. 99,96%. Указание. Оцените значение силы взаимодействия F пули и шара по изменению импульса пули, вычисляя время взаимодействия по формуле $\Delta t = \frac{2d}{v_1 + v_0}$. Затем найдите отношение $\frac{F - F_{\text{тр}}}{F} \cdot 100\%$, где $F_{\text{тр}}$ — сила трения шара о поверхность, на которой он лежит. 204. -15 Дж; -15 Дж. 205. $A_{\text{т}} = 0$; $A_{\text{N}} = 0$; $A_{\text{нат}} \approx 2,2 \cdot 10^4$ Дж; $A_{\text{тр}} \approx -800$ Дж. 206. $2,2 \cdot 10^4$ Дж; $-2 \cdot 10^4$ Дж. 207. -1710 Дж; 1960 Дж. 208. $A_{\text{т}} \approx -5880$ Дж; $A_{\text{N}} = 0$; $A_{\text{тр}} \approx -1180$ Дж; $A_{\text{нат}} \approx 7200$ Дж. 209. Работы равны. 210. 25 Вт. 211. 74 кВт. 212. ≈ 470 Вт. 213. ≈ 900 кг. 214. 1) 140 кВт; 2) 190 кВт. 215. 35 Дж; 0,097 Вт. 216. 150 Дж. 217. $\sqrt{2gh(1 - \mu \text{ctg} \alpha)}$. 218. ≈ 7 м/с. 219. В 4 раза. 220. 625 Н. 221. $\sqrt{\frac{2(2mgh - A)}{m}}$. 222. ≈ -1 Дж. 223. 1,1. 224. 10 м. 225. -4 Дж; 0 ; -8 Дж. 226. 1) $-mgh$; 2) 0 ; 3) $\sqrt{2gh}$. 227. $v = \sqrt{\frac{2 \left[gh \left(\frac{4}{3} \rho \pi r^3 - m \right) - Fh \right]}{m}}$. 228. 2,5 м. 229. ≈ 3 м/с. 230. 1 Дж; $-0,5$ Дж; $A_{\text{т}} \geq |A_{\text{упр}}|$. 231. 1) 10^3 Н/м; 2) $-1,8$ Дж. 232. 1,8 см. 233. 0,1 Дж. 234. 0,5 м/с. 235. -20 Дж; 20 Дж. 236. $\frac{k \Delta l_1^2}{8}$. 237. 7000 Дж; -2100 Дж. 238. 1,2 м. 239. $\sqrt{2gh}$. 240. 1) ≈ 3 м/с; 2) $\approx 3,8$ м/с; 3) $\approx 4,4$ м/с. 241. $\approx 8,5$ см; $\approx 8,5$ см; потенциальная энергия шарика в поле силы тяжести существенно меньше потенциальной энергии деформированной пружины. 242. 1) 2 м/с; 2) 2 м/с. 243. $\approx 2,6$ м/с. 244. $\approx 40^\circ$. 245. 600 м/с. 246. $\approx 4,3$ м/с. 247. $\frac{5}{2} R$. 248. $\sqrt{\frac{2m_2 E}{m_1(m_1 + m_2)}}$; $\sqrt{\frac{2m_1 E}{m_2(m_1 + m_2)}}$. 249. На $6mg$. 250. Ниже на ≈ 78 см. 251. $2 \sqrt{\frac{(M + m)h(H - h)}{M}}$. 252. 3; $3/4$. 253. $\approx 3,1$ м/с. 254. $v > v_0 \sqrt{\frac{m + M}{M}}$. 255. $\frac{2\mu g(m + m_0)}{m_0} \sqrt{\frac{2(m + m_0)}{k}}$. 256. 0,6.

257. $\frac{mgl(\mu_1 + \mu_2)}{2}$. 258. Оборвется, так как сила натяжения будет равна 14 Н. 259. $\mu = \operatorname{tg} 30^\circ \approx 0,58$. 260. ≈ 380 Н. 261. ≈ 63 Н; 162° . 262. ≈ 2260 Н; ≈ 1130 Н. 263. $420 \leq T \leq 970$ Н. 264. $\frac{mg}{2}(\sin\alpha - \mu\cos\alpha)$. 265. $\frac{mg}{2(\mu\cos\alpha - \sin\alpha)}$.
266. На $\frac{m\rho V}{2(m+m_0)(m+m_0-\rho V)}$. 267. 1/3. 268. $\frac{mgD}{2h}$.
269. ≈ 5300 Н; ≈ 6200 Н. 270. 130 кг. 271. На $\frac{1}{4}$ л.
272. 1,34 м. 273. $\frac{mg\sqrt{h(2R-h)}}{R+r-h}$. 274. 2/3. 275. $\frac{mg}{2\cos\alpha}$.
276. 10^{-7} мм. 277. Между молекулами есть промежутки. Молекулы одного вещества заполняют промежутки между молекулами другого вещества. 278. $5,3 \cdot 10^{-26}$ кг. 279. $3,3 \cdot 10^{25}$. 280. 28,8 кг; 900 моль. 281. 5,6 кг. 282. $6,7 \cdot 10^{24}$. 283. 1030. 284. $3,01 \cdot 10^{24}$. 285. 1,2. 286. 44. 287. $3,73 \cdot 10^{-20}$ см³; 22,4 л. 288. $\approx 2,3 \cdot 10^{-10}$ м. 289. $6,11 \cdot 10^{21}$ атомов золота; $4,46 \cdot 10^{22}$ атомов серебра. 290. $8 \cdot 10^{27}$ м⁻³. 291. $4,25 \cdot 10^{-23}$ Н · с. 292. ≈ 109 Па. 293. 1) $3,3 \cdot 10^5$ Па; 2) $3,6 \cdot 10^5$ Па. 294. $6,31 \cdot 10^{27}$. 295. $9 \cdot 10^{-10}$ м/с. 296. 24 м/с. 297. 0,12 кг/м³. 298. $2,3 \times 10^{25}$ 1/м³. 299. ≈ 480 м/с. 300. Уменьшилось бы в $\frac{4}{3}$ раза. 301. ≈ 710 м/с. 302. В 4 раза. 303. $5 \cdot 10^{22}$. 304. $\approx 1,1 \times 10^{24}$. 305. Указание. Рассмотрите изменение импульса молекулы, летящей к стенке под некоторым углом, и примените второй закон Ньютона. 306. Нет. 307. $6,2 \times 10^{-21}$ Дж. 308. Увеличилось на 8%. 309. Уменьшится на 4%. 310. Увеличится в 6 раз. 311. Нет. 312. Увеличится на 69%. 313. $1,9 \cdot 10^{21}$ молекул. 314. $2,4 \cdot 10^{25}$ м⁻³. 315. $\approx 1,28 \cdot 10^{25}$. 316. ≈ 1500 м/с. 317. На $2 \cdot 10^{-21}$ Дж (изменение энергии движения молекулы атомного газа не зависит от того, какой это газ). 318. 0,83 м³. 319. $2,4 \cdot 10^{26}$.
320. $\frac{P_2}{P_1} = 0,96$. 321. 1020 м/с. 322. 4,2 мм. 323. $\approx 5,1$ г. 324. $\approx 0,78$ атм. 325. 3,1 г. 326. Масса газа уменьшилась. 327. $5 \cdot 10^{24}$ молекул. 328. ≈ 25 г. 329. 18 л; 370 °С. 330. $3P_1 \frac{T_2}{T_1}$. 331. $\approx 21,4$ м³. 332. 0,5 кг/м³. 333. ≈ 290 К.

334. Понизилось в 4 раза. 335. $\approx 0,059$ кг/моль. 336. 960 кг.
 337. $\approx 10^5$ Н/м. 338. На ≈ 21 см. 339. 30 г. 340. $3 \cdot 10^5$ Па.
 341. 5,5 л. 342. Повысилась, точка 2 принадлежит изо-
 терме, находящейся выше изотермы, которой принад-
 лежит точка 1. 343. 35 м. 344. 3,5 см. 345. ≈ 23 см.
 346. 8,8 л. 347. ≈ 15 см. 348. 950 л. 349. $\frac{\rho_{рт}gh(l_1 + l_2)}{l_2 - l_1}$.
 350. Увеличилось. 351. 35 °С. 352. 6 л. 353. В $\frac{10}{7} \approx$
 $\approx 1,43$ раза. 354. Увеличить на 75 °С; на 75 К. 355. $\approx 3,1$ м³.
 356. Уменьшается. 357. 280 К. 358. $2 \cdot 10^5$ Па. 359. На
 40%. 360. В 4 раза. 361. На 140 К. 362. На $\approx 3 \cdot 10^4$ Па.
 363. Выдержат. Указание. Сосуд взрывается при усло-
 вии, что давление внутри сосуда превышает наружное
 давление на 2 МПа. 364. $1,1 \cdot 10^5$ Па. 365. $\approx 2,9$ л.
 367. На ≈ 27 К. 370. 2. 371. 346 К. 373. Сначала на дне
 появляются пузырьки, образование которых сопровожда-
 ется щелчком. Более резкий звук вызывается тем, что пу-
 зырьки лопаются, переходя в менее нагретые слои воды.
 При дальнейшем нагревании пузырьки достигают поверх-
 ности воды и разрываются, вода кипит, и возникает звук
 плещущейся воды. 374. Над жидкостью образуется пар, и
 процесс испарения происходит менее интенсивно. Сдувая
 пар, вы ускоряете процесс испарения жидкости, что при-
 водит к ее охлаждению. 375. Нет, так как давление и
 плотность насыщенного пара зависят только от температу-
 ры. 377. $\approx 1,72$ кг. 378. $\approx 15\%$; 100%. 379. $0,103 \leq m \leq$
 $\leq 0,206$ кг. 380. $1,013 \cdot 10^5$ Па. 381. 34%. 382. 0,46 кг.
 383. 0,5 кг. 384. Влажность станет равной 100%, следо-
 вательно, в $4/3$ раза. 385. На 14 г/м³. 386. Выпала.
 387. 3,1 г. 388. ≈ 8 кДж; ≈ 13 кДж. 389. В 2 раза.
 390. 150 Дж; нет, не изменится. 391. 300 Дж. 392. 600 Дж;
 3 кДж; 3,6 кДж. 393. 1200 Дж; 1200 Дж. 394. $2,97 \cdot 10^4$ Дж;
 0,15 м³; $7,42 \cdot 10^4$ Дж; $10,4 \cdot 10^4$ Дж. 395. 4,16 кДж;
 1,66 кДж; 2,49 кДж. 396. $R \frac{T_2 - T_1}{2}$. 397. 40 Дж; 60 Дж.
 398. $4RT_1$. 399. 300 кДж. 400. 6 м³. 401. $3,32 \cdot 10^4$ Дж.
 402. $R(T_3 + T_1 - 2\sqrt{T_1T_3})$. 403. $\frac{3}{4}$. 404. 588 Дж.
 405. ≈ 770 Дж. 406. 235 Дж. 407. 3. 408. На $\approx 0,15$ °С.
 409. На $\approx 0,25$ °С. 410. ≈ 110 г. 411. ≈ 90 мин. 412. ≈ 11 .

413. 0,87. 414. 91 °С. 415. 1,15 кг. 416. 12 °С. 417. 0 °С.
 418. 1,56 кг. 419. 30 °С. 420. 5 м/с. 421. ≈ 3 мин. 422.
 На 370 км. 423. 32 кВт. 424. 1) $A_p > A_T > A_{ад}$; 2) $Q_p > Q_T >$
 $> Q_{ад} = 0$. 425. 150 Дж. 426. 150 Дж; 0; 150 Дж; $\Delta T = 0$.
 427. 208 Дж. 428. Кислород. 429. $V \approx 10$ раз. 430. 306 К.
 431. На ≈ 2 °С. 432. 13/11. 433. 15 кДж. 434. $\approx 31\%$.
 435. 60%; 28 кДж. 436. 25%. 437. 10,4%. 438. $\approx 20\%$.
 439. $\approx 21\%$. 440. $\approx 1,2 \cdot 10^9$ Дж. 441. $\approx 20\%$; 30%.
 442. 10 кВт. 443. $\approx 13\%$. 444. 600 Дж. 445. $Q = P\tau + c_{л}mt_1 +$
 $+ m\lambda$; $k = \frac{c_{л}mt_1 + m\lambda}{P\tau}$. 446. Нет, мотор и радиатор холодиль-
 ника выделяют тепла больше, чем его поглощает выхо-
 дящий из холодильника воздух. 447. $V 1,24 \cdot 10^{36}$ раз.
 448. Притягиваются друг к другу. 449. $-q$; не изменится,
 суммарный заряд пластинки останется равным нулю.
 450. 10^{15} ; нет, так как в природе не существует заряд,
 равный $0,9 \cdot 10^{-19}$ Кл. 451. $2,9 \cdot 10^{-15}$ Кл. 452. Между дву-
 мя проводящими шарами, так как вследствие отталкива-
 ния одноименных зарядов заряды на шарах будут на боль-
 шем расстоянии. 453. Нет, не могут. 454. $\frac{1}{9}$. 455. $q_2 =$
 $= 2,8 \cdot 10^{-8}$ Кл, если его поместить под шариком, и $q_2 =$
 $= -2,8 \cdot 10^{-8}$ Кл, если поместить над шариком.
 456. $-\frac{q(1+2\sqrt{2})}{4}$; равновесие неустойчивое. 457. $1,3 \cdot 10^{-3}$ кг.
 458. На расстоянии 80 см от меньшего заряда.
 459. 1,8 Н/м. 460. $\approx 0,11$ Н. 461. $4 \cdot 10^{-6}$ В/м; $\approx 1,8 \times$
 $\times 10^{-15}$ Кл. 462. $2,5 \cdot 10^5$ В/м. 463. $3,6 \cdot 10^4$ В/м. 464. $\sqrt{\frac{kq}{E}}$.
 465. ≈ 40 В/м. 466. 30°. 467. $8 \cdot 10^{-28}$ Н · м. 468. $l =$
 $= \frac{mv_0^2 \cos \alpha}{2qE} \sqrt{1 - 3\sin^2 \alpha}$. 469. $\operatorname{tg} \alpha = 2\operatorname{tg} 60^\circ$, $\alpha \approx 74^\circ$. 470. 3.
 471. 0; $9 \cdot 10^4$ В/м. 472. Напряженности одинаковы для
 шара и сферы и равны: 0; $2,25 \cdot 10^4$ В/м; $5,62 \cdot 10^3$ В/м.
 474. $E_A = 9 \cdot 10^3$ В/м; $E_B = 0$; $E_C = 10^3$ В/м. 475. $E_A = 0$;
 $E_B = 1,1 \cdot 10^5$ В/м; $E_C = 9 \cdot 10^3$ В/м; $E_D = 2,25 \cdot 10^4$ В/м.
 476. $E_A = 0$; $E_B = 1,44 \cdot 10^6$ В/м; $E_C = E_D = 0$. 477. 25 мН.
 479. $7 \cdot 10^{-6}$ Н. 480. ≈ 800 кг/м³. 481. У второй; $\frac{q_{св2}}{q_{св1}} = \frac{12}{7}$.
 482. 0,4 пкДж. 483. Наибольшая работа совершается в слу-

чае *b*. В случаях *a* и *b* работы будут равны. 484. Уменьшается. 485. 1) 10^{-6} Дж; 2) -10^{-6} Дж; при $q_2 < 0$ потенциальная энергия увеличивается. 486. 8,5 В. 487. -8×10^{-16} Дж; $4,2 \cdot 10^7$ м/с. 488. $E = 0$ в точке, находящейся на середине отрезка, соединяющего заряды; $\phi \rightarrow 0$ на бесконечно большом расстоянии. 489. 24 В. 490. 24 В. 491. 10^{-15} Дж; -10^{-15} Дж. 492. $1,9 \cdot 10^6$ м/с. 493. 160 В/м. 494. На $4 \frac{m_0}{m} l_1$. 495. Параллельные линии, на равных расстояниях друг от друга. Поле однородное. 496. $\phi = Ex$; $\phi = 1x$ (В). 497. $E_A > E_B > E_C$. 498. Нет, так как работа электростатических сил по замкнутому контуру всегда должна быть равна нулю. Указание. Начертите замкнутый контур и рассчитайте работу электростатических сил при перемещении заряда по этому контуру. 499. 20 мкФ. 500. Увеличилась в $\frac{4}{3}$ раза. 501. Электроемкость увеличилась в 2 раза. Разность потенциалов уменьшилась на 5 В. 502. 40 мкКл; площадь перекрытия пластин должна быть равна $\frac{3}{4} S$. 503. $4 \cdot 10^{-8}$ Кл. 504. $1,7 \cdot 10^{-23}$ Н · с. 505. На 45° . 506. Увеличатся на 0,5 мДж; 10 Кл. 507. Увеличатся на 400 В; 0,16 Дж. 508. Уменьшается на $5 \cdot 10^{-3}$ Дж; увеличится на 10^{-2} Дж. 509. 0,2 А. 510. $5,7 \cdot 10^{-12}$ кг. 511. $5,7 \cdot 10^{-11}$ кг · м/с. 512. 1,2 мкКл. 513. $6,25 \cdot 10^{28}$ м⁻³. 514. $\approx 1,39 \cdot 10^5$ м/с; $\approx 6,9 \cdot 10^5$ м/с. 515. $\approx 1,6 \cdot 10^{-16}$ Н. 516. 200 Ом. 517. 8 В. 518. Увеличится в 6 раз. 519. 2 мА. 520. 0,4. 521. $\approx 4,33 \cdot 10^{-2}$ Ом. 522. $\approx 0,11$ мм². 523. 30 Ом. 524. 10 В; 20 В; 30 В; 60 В. 525. 3 : 1. 526. 10 Ом. 527. 6 А; 4 А; 10 А. 528. 1,5 Ом; 1 Ом. 529. $1,5 \cdot 10^{-3}$ Ом; $2,7 \cdot 10^{-3}$ Ом. 530. $\approx 0,585$ Ом. 531. 0,5 А. 532. 1 р. 34 к. 533. 2/9. 534. 31 А. 535. 1) 10 мин; 2) 40 мин. 536. Во втором в 9 раз больше, чем в первом. 537. 75%. 538. 20 Ом. 539. 0,4 А; 4 В. 540. $\approx 1,9$ А; $\approx 0,6$ А; $\approx 1,3$ А. 541. 6×10^{-5} Кл. 542. Может, если включить только первый элемент. 543. $3,5 \cdot 10^{-6}$ Кл. 544. 62 А. 545. 4 Ом. 546. 0,375 А; 1,25 В. 547. 1,8 А; 3,1 В; 3,3 В. 548. 1 Ом. 549. ≈ 52 Вт; 37,5 Вт. 550. $P_{\max} = 2$ Вт при $R = 2$ Ом. 551. 17 Ом. 552. 6 В. 553. 10 Ом; 0,4 Ом. 554. 0,5 А; 0,333 А; 0,167 А. 555. 2,14 т. 556. 4 Ом. 557. $\approx 92\%$; $\approx 97\%$; 1) параллельно; 2) последовательно. 558. $\frac{100}{3}\%$. 559. $1,17 \cdot 10^5$ м/с.

560. $v = E/(nq_0\rho)$. 561. 1) 3,6 см/с; 2) $1,15 \cdot 10^5$ м/с.
 562. $\approx 10^{-5}$ Ом; нет, так как изменение сопротивления незначительно. 563. 2025 °С. 564. На 11 °С. 565. 10^{-12} .
 566. *n*-типа; *p*-типа. 567. Электронный, подвижность электронов больше, чем дырок. 568. $4,2 \cdot 10^{-13}$. 569. 1 кОм.
 570. 100 Ом; 10^8 Ом. 571. 1) ≈ 9 Ом; 2) ≈ 3 Ом. 572. 8×10^{-9} с. 573. 2,5 мм. 574. Прямую, наклоненную к горизонтали под углом α , $\operatorname{tg} \alpha = \frac{k_2}{k_1}$. 575. Движение пятна по окружности. 576. 3,3 Ом. 577. 1,5 ч. 578. 0,35 кг.
 579. 20 Вт. 580. ≈ 140 кДж. 581. 440 г. 582. 160 мкм. 583. 32 пм/с. 584. 80 нА. 585. $R_D < R_C < R_A < R_B$.
 586. $6,25 \cdot 10^{15} \text{ м}^{-3} \cdot \text{с}^{-1}$. 587. 1) $I_1 = I_2$, снизу вверх; 2) $I_1 = I_2$, сверху вниз. 590. Справа полюс *S*, слева полюс *N*.
 591. 30°. 592. 50 мА. 593. 1,28 кг. 594. $4 \cdot 10^{-6}$ Н · м. 595. 60°. 596. $\approx 1,2$ А. 597. 1) $8 \cdot 10^{-2}$ Н; 2) $\approx 6,92 \cdot 10^{-2}$ Н; 3) $4 \cdot 10^{-2}$ Н; 4) 0. 598. 8 А. 599. 1) ≈ 89 А; 2) $\approx 3,6$ А.
 600. 0,628 с. 601. $5 \cdot 10^3$ Кл/кг. 602. $2,58 \cdot 10^{-3}$ Тл. 603. 1 : 4. 604. $B = \frac{2m_0v}{Lq_e}$. 605. 10^{-7} м; $3,6 \cdot 10^{-7}$ м.
 606. 129 об. 607. $3,7 \cdot 10^{-3}$ Тл. 608. $\approx 2,72$ Вб; нет. 609. $\approx 5,4 \cdot 10^{-4}$ Вб; $\approx 5,4 \cdot 10^{-4}$ Вб. 610. Против часовой стрелки, если наблюдатель находится справа; по часовой стрелке во втором случае. В обоих случаях сила направлена против направления перемещения. 611. 3,14 мкА.
 612. $3,14 \cdot 10^{-9}$ Кл. 613. 0,6 А; 0,4 А. 614. $\frac{kabv}{R}$.
 615. $\approx 62,8$ мкВ. 616. $\approx 0,15$ А. 617. $5 \cdot 10^{-5}$ Кл; 0.
 618. $\frac{BIS}{8\pi r}$. 619. $\frac{BIS}{8\pi r}$. 620. 10^{-4} Вб. 621. 0,2 Гн. 622. $2,5 \times 10^{-5}$ Кл. 623. 0,2 Гн; 0,2 Вб. 624. 0,2 А. 625. 0,4 Дж.
 626. $4 \cdot 10^{-2}$ м; 2 с; 45°, или $\frac{\pi}{4}$. 627. ≈ 5 Гц; $\approx 0,2$ с.
 628. 2 рад/с; 3,14 с. 629. 2,4 см. 630. Увеличить в 4 раза. 631. $\approx 4,1$ м. 632. 1,5 с. 633. 1 с; 2 с. 634. $x = 0,01 \sin(4t + \pi)$ (м). 635. $\approx 0,31$ с. 636. $3 \cdot 10^{-3}$ Дж.
 637. 0,02 м. 638. $\frac{A_2}{A_1} = \frac{\omega_2}{\omega_1} = 0,9$, где A_1 и A_2 ; ω_1 и ω_2 — амплитуды и частоты колебаний до и после падения плас-

- тилина. 639. $\frac{m_0^2 v_0^2 \cos^2 \alpha}{2m}$; $x = \frac{v_0 m_0 \cos \alpha}{\sqrt{mk}} \sin \sqrt{\frac{k}{m}} t$. 640. $\approx 0,9$ с.
641. $\frac{3}{4}g$ (направлено вниз); $3g$ (направлено вверх). 642. Если период уменьшается, то $q = 4,3$ мКл; если увеличивается, то $q = 3$ мКл. 643. Период математического маятника на Марсе в $\approx 1,6$ раза больше; период пружинного маятника такой же. 644. $10 \leq L \leq 16$ мГн. 645. $0,21$ мкФ. 646. Увеличить в 4 раза. 647. $\approx 3,5$ мм. 648. 5 с.
649. $0,02$ А. 650. $I = 10^{-4} \pi \cos(100\pi t + \frac{\pi}{2})$; $0,02$ с. 651. 1 мА.
652. $2,5 \cdot 10^{-7}$ Дж. 653. $1,9 \cdot 10^{-4}$ с. 654. $15,7$ В. 655. $15,8$ А.
656. $\frac{T}{3}$. 657. 50 Вт. 658. $6,6 \cdot 10^3$ Дж. 659. $q = 2,2 \times 10^{-3} \cos 100\pi t$ (Кл); $i = 0,69 \cos(100\pi t + \frac{\pi}{2})$ (А). 660. Уменьшится на 80 Ом. 661. 1,4 А. 662. 0,25 Гн. 663. 0.
664. 0,22 Гн. 665. 20 А. 666. 100 мкФ. 667. ≈ 160 Гц.
668. 10. 669. 300. 670. 100. 671. 2520; $\frac{1}{3}$. 672. 0,5 А.
673. 10; 91%. 674. 320 Вб. 675. 1000. 676. 15 м/с.
677. 2 Гц; 0,5 с. 678. 0,3 м/с. 679. 100 Гц; нет, не изменится. 680. 110 м. 681. $\approx 2,7$ с. 682. $s = 0,05 \sin 10\pi (t - \frac{x}{200})$ (м). 683. 20 см; 0,1 с; 30 м; $s = 0,2 \sin \pi (20t - 1)$.
684. $0,4\pi$. 685. $s = 0,1 \sin 5\pi (t - \frac{x}{100})$; 0; $-1,6$ м/с; 0.
686. 165 м. 687. ≈ 442 м. 688. 1638 м. 689. $\approx 1,65$ км.
690. Увеличивается приблизительно в 14 раз. 691. От ≈ 20 м до $\approx 1,7$ см. 692. На 0,6 мм. 693. На восток. 694. 1), 2) На противоположное; 3) не изменится. 695. Да, может.
696. На расстоянии, равном 1 км. 697. $4,5 \cdot 10^{-6}$ Дж/м³.
698. $5 \cdot 10^6$ м; $\approx 2,4 \cdot 10^5$ м. 699. От $3 \cdot 10^6$ до $3 \cdot 10^7$ Гц.
700. Антенны ориентированы так, чтобы наилучшим образом воспринимать электромагнитные волны, излучаемые с телебашни. 701. От 3 до 9 м. 702. От ≈ 290 до ≈ 530 м. 703. От 3 мм до 3 м. 704. $7,5 \cdot 10^3$; 30 км.
705. 2h. 706. $\approx 4,2$ м. 707. 0,95 м; да. 708. 2 м/с; 1,6 м. 709. $2v$. 710. $6,9 \cdot 10^8$ м. 711. 2ω . 712. 5.
713. $\approx 63^\circ$. 714. $\approx 1,4$. 715. 0,4 см; 0,19 см. 716. 1,4.
717. Луч DE отразится от границы раздела двух сред.

718. $\approx 0,99$ м. 719. $\approx 1,53$ м. 720. ≈ 4 м. 721. $\approx 1,3$ км.
 722. Нет. 723. Нет, так как лучи на границе сред алмаз—воздух будут испытывать полное отражение. 724. $\approx 42^\circ$.
 725. 5° . 726. 50° . 727. $\alpha \geq \arcsin \frac{n_2}{n_1}$. 728. $\approx 1,15$. 729. 18 см.
 730. $\approx 0,4$ м. 732. $1,5^\circ$. 733. $\sqrt{3} \approx 1,73$. 734. 45° . 740. $\frac{1}{3}$.
 741. Между источниками на расстоянии 18 и 6 см от них.
 742. $6F$, если линза собирающая; $4F$, если линза рассеивающая. 743. 60 см; 180 см. 744. $4F$. 745. 30° . 746. 10 см.
 747. 0,5 м/мин, если жук ползет к линзе, то экран надо отодвигать; если от линзы, то приближать к линзе.
 748. $\operatorname{tg} \frac{\beta}{2} = 2 \frac{D}{d} - \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}$. 749. 8. 750. 15 см. 751. На 5 см.
 752. $F \frac{d(n-1)}{Fn-d(n-1)}$. 753. $\frac{3}{2}F$. 754. 6 см. 755. ≈ 14 см. 756. На расстоянии 0,5 м от середины. 757. $\lambda_1 = 120$ см, $\lambda_2 = 60$ см.
 758. Услышит. 759. 1) 1; 2) 0. 760. 3,75 мм. 761. 100 нм.
 762. Обеспечивает. 763. 150 нм. 764. 500 нм. 765. Темное пятно. 766. Интерференционный минимум. 767. 167 нм.
 768. 100 нм. 769. Явление дифракции наблюдается, но так как размеры линзы существенно больше длины волны, то оно выражено слабо. 770. Это связано с тем, что длина механических волн велика по сравнению с длиной волн света. 771. 7,7 мкм. 772. 500 нм. 773. 7,2 см.
 774. 3. 775. $\approx 1,4^\circ$. 776. 0,8 м. 777. 1) Не изменится; 2) уменьшится в $\frac{5}{3}$ раза. 778. $\approx 0,2c$. 779. 0,6с. 780. В движущейся системе отсчета промежуток времени больше, чем соответствующий промежуток времени, измеренный часами, связанными с движущимся телом. 781. 5,9 м; 6,25 м.
 782. 3,2 мкс. 783. $2,8 \cdot 10^8$ м/с. 784. В 1,25 раза. 785. 0,7 с.
 786. $\approx 0,88c$. 787. $\approx 0,6c$. 788. В 1,25 раза. 789. $1,35 \times 10^{10}$ кг · м/с. 790. В 1,5 раза. 791. $4 \cdot 10^{-17}$ кг · м/с.
 792. $\approx 13\%$. 793. На 1 Н · с, неодинаково. 794. $8,19 \times 10^{-14}$ Дж. 795. 0,6с. 796. $3 \cdot 10^{-24}$ кг. 797. За $\approx 7,1 \times 10^{12}$ лет. 798. На $7,4 \cdot 10^{-12}$ кг. 799. 0,42с. 800. $v = \frac{Fct}{\sqrt{m^2c^2 + F^2t^2}}$. 801. Да, $h\nu > A_{\text{вых}}$. 802. 3,76 В. 803. $\approx 0,56$ В.
 804. 548 нм. 805. $3,3 \cdot 10^{-7}$ м. 806. 540 нм. 807. $6,7 \times$

- $\times 10^{-34}$ Дж · с. 808. $\approx 3,2$ эВ. 809. $\approx 2,77 \cdot 10^5$ м/с. 810. $\approx 5 \times 10^{-9}$ м. 811. Вольфрам. 812. $\approx 1,5 \cdot 10^{-6}$ м. 813. $2,84 \times 10^{-19}$ Дж. 814. ≈ 58 кВт. 815. 2. 816. $1/4$. 817. $\approx 1,5 \times 10^{-8}$ м. 818. $\approx 3,6 \cdot 10^{17}$. 819. $\approx 7 \cdot 10^{19}$. 820. ≈ 122 мкКл. 821. $\approx 3,9 \cdot 10^{-25}$ Н · с. 822. $\approx 3,9 \cdot 10^{-11}$ м. 823. Отношение λ_{\min} к длине волны де Бройля λ_B равно 6000. 824. $10,2$ эВ. 825. $\approx 4,6 \cdot 10^{14}$ Гц. 826. $1,1 \cdot 10^6$ м/с. 827. Нет. 828. $\lambda = 6,6 \times 10^{-8}$ м, не увидим. 829. Если электрон занимает удаленную от ядра орбиту, то он может перейти на орбиты, более близкие к ядру, и при этом излучаются фотоны, которым соответствуют разные длины волн. 830. Нет, не определяет, частоту излучения определяют переходы электрона с одной орбиты на другую. 831. $\approx 3,3 \cdot 10^{15}$ Гц. 832. $\approx 5,29 \cdot 10^{-11}$ м. 833. $4,3 \cdot 10^{-40}$. 834. $1,89$ В. 835. 10^6 . 836. ${}_{90}^{228}\text{Th}$. 837. ${}^2_1\text{H}$. 838. ${}_{86}^{222}\text{Rn}$. 839. ${}_{84}^{216}\text{Po}$. 840. Восемь α -и шесть β -превращений. 841. ${}^{12}_6\text{C}$. 842. $1,7 \cdot 10^{22}$. 843. $7,5 \times 10^8$. 844. $3 \cdot 10^4$ ядер. 845. При возбуждении ядра. 846. $4,064 \cdot 10^{-29}$ кг; $27,3$ МэВ. 847. $0,09894$ а. е. м.; $27,3$ МэВ. 848. $E_{\text{св}} = 1,026$ МэВ; $E_{\text{св.эл}} = 27$ эВ. 849. $0,008557$ а. е. м.; $7,97$ МэВ. 850. $3,3 \cdot 10^{25}$ МэВ. 851. $30,45$ МэВ; $5,075$ МэВ. 852. ${}^{13}_7\text{N} \rightarrow {}^{13}_6\text{C} + {}^0_1e$. 853. $9,15 \times 10^{-13}$ Дж. 854. $4,043$ МэВ. 855. $3,27$ МэВ; $17,59$ МэВ. 856. $\approx 2,5 \cdot 10^{14}$ Дж; ≈ 5400 т. 857. Не может. 858. $k \geq 1$; $k = 1$. 859. Неопасна, так как доза облучения, полученная сотрудником за год, равна $0,0084$ Гр. 860. В $2,5$ раза. 861. $-1,25 \cdot 10^8$ Дж. 862. $mgR_3/2$. 863. $5,6$ км/с. 864. $5,3$ км/с. 865. $v_I = 7,9 < v < v_{II} = 11,2$ (км/с). 866. $A = GmM_3 (1/R_3 - \frac{1}{2}r)$. 867. $1,8 \cdot 10^9$ Дж. 868. $1,6\%$. 869. 42 км/с. 871. 1) $5,5$ м/с; $1,5$ м/с; 2) $0,5$ м/с; $3,5$ м/с. 872. $7/3$. 873. 1) 1 ; 2) $\frac{m_1}{m_2} \rightarrow \infty$. 874. $\frac{1}{3} < \frac{m_1}{m_2} < 3$. 875. $\frac{m_1v_1^2 + m_2v_2^2}{2}$; $\frac{m_1m_2(v_1 - v_2)^2}{2(m_1 + m_2)}$. 876. $\frac{2m_e^2v^2}{m_a}$. 877. $2/3$ м. 878. $\cos\alpha_{\max} = 17/18$; $\alpha_{\max} \approx 19^\circ$. 879. $m_1/m_2 = 1/3$. 880. $1,62$ м. 881. В $5/3$ раза. 882. $0,64v$. 883. $\frac{v_1v_2 \cos\alpha}{u_1u_2}$. 885. $1,82 \cdot 10^4$ Па. 886. $\approx 1,11 \cdot 10^5$ Па. 887. $2,5 \cdot 10^3$ кг/м³. 888. 15 Н. 889. $3 \cdot 10^3$ кг/м³. 890. $\approx 0,24$ кг. 891. $h \frac{\rho - \rho_1}{\rho_2 - \rho_1}$.

892. $\approx 0,74$. 893. $2 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3$; $4/5$. 894. $7,5 \text{ см}$. 895. На 4 м .
 896. 95% железа и 5% никеля. 897. $\approx 6,7 \text{ кДж}$. 898. Тепло при любом значении ускорения будет погружено на половину объема. 899. $\approx 0,3 \text{ Н}$. 900. $\approx 8 \text{ Дж}$. 901. a/g .
 902. $k \frac{p_2}{p_1} h$. 903. В 50 раз. 904. На 18 см . 905. $1,006$.
 906. $2,5 \cdot 10^{-3} \text{ кг/м}^3$. 907. $28\% \text{ O}_2$; $72\% \text{ N}_2$. 908. $\approx 10^4 \text{ Па}$.
 909. $1,5 \text{ м}^3$. 910. В 80 раз. 911. $\approx 0,01 \text{ Дж}$. 912. $1,22 \times 10^{-4} \text{ Дж}$. 913. $\frac{4\alpha}{\rho g r}$. 914. $1,282 \cdot 10^5 \text{ Па}$. 915. $\approx 9,9 \text{ мм}$.
 916. На 80 Па . 917. $0,3 \text{ мм}$. 918. $580 \text{ }^\circ\text{C}$. 919. На 456° .
 920. На 50° . 921. На 6 оборотов. 923. На 34 см^2 .
 924. $\approx 197 \text{ см}^2$. 925. На $7,2 \text{ мм}$. 926. 70 Н ; $3,5 \text{ Дж}$.
 927. 6 В/м ; 4 В/м . 928. $\approx 0,2 \text{ Н}$. 929. $\pm 2 \cdot 10^{-7} \text{ Кл}$; $0,18 \times 10^{-4} \text{ Кл/м}^2$; $1,6 \cdot 10^{-4} \text{ Кл/м}^2$. 931. 800 кг/м^3 . 932. $1,6 \text{ В}$.
 933. $8 \cdot 10^5 \text{ Дж}$. 934. $10,1 \text{ В}$. 935. $q_0/2$; $q_0/4$; $q_0/4$.
 936. Уменьшается в 3 раза. 937. 112 В ; $\approx 9 \cdot 10^{-9} \text{ Кл/м}^2$.
 938. $\approx 1700 \text{ В/м}$; 244 В . 939. $4,5 \text{ кВ}$; 50 нКл . 940. $\approx 40 \text{ м/с}$.
 941. 1 мКл . 942. На $\frac{C_1^2 C_2 (\varepsilon - 1) U}{(C_1 + \varepsilon C_2)(C_1 + C_2)}$. 943. а) $3C$; б) $\frac{5}{4} C$;
 в) $\frac{3}{4} C$; г) $2C$. 944. $35,4 \text{ мДж}$. 945. $\frac{3}{5} q$. 946. CU^2 .
 947. $\frac{C_2 + C_3}{C_1 + C_2 + C_3} U$. 948. $0,7 \text{ мКл}$. 949. $\frac{3}{7} \cdot 10^{-4} \text{ Кл}$; $\frac{4}{7} \times 10^{-4} \text{ Кл}$; $\approx 19 \text{ мДж}$. 950. 20 мкФ ; $q_4 = 10^{-4} \text{ Кл}$; $q_1 = q_2 = q_5 = q_6 = 5 \cdot 10^{-5} \text{ Кл}$; $q_3 = 0$. 951. $\frac{CU^2(\varepsilon^2 - 1)}{4}$.

Содержание

Предисловие	3
Часть 1	4
10 класс	—
Механика	—
Кинематика	—
Кинематика точки	—
Кинематика твердого тела	17
Динамика	18
Законы механики Ньютона	—
Силы в механике	21
Законы сохранения в механике	27
Закон сохранения импульса	—
Закон сохранения энергии	30
Статика	38
Равновесие абсолютно твердых тел	—
Молекулярная физика. Тепловые явления	41
Основы молекулярно-кинетической теории	—
Температура. Энергия теплового движения молекул	44
Уравнение состояния идеального газа. Газовые законы	45
Взаимные превращения жидкостей и газов	51
Основы термодинамики	53
Основы электродинамики	61
Электростатика	—
Законы постоянного тока	70
Электрический ток в различных средах	76
11 класс	80
Основы электродинамики (продолжение)	—
Магнитное поле	—
Электромагнитная индукция	84
Колебания и волны	87
Механические колебания	—
Электромагнитные колебания	90
Производство, передача и использование электрической энергии	93

Механические волны	94
Электромагнитные волны	96
Оптика	97
Световые волны	—
Элементы теории относительности	105
Квантовая физика	107
Световые кванты	—
Атомная физика	109
Физика атомного ядра	110
Часть 2	113
Приложение	175
Ответы	192

Учебное издание

Серия «Классический курс»

Парфентьева Наталия Андреевна

**Сборник задач по физике
10—11 классы**

Пособие для учащихся общеобразовательных учреждений

Базовый и профильный уровни

ЦЕНТР ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ

Руководитель Центра *В. И. Егудин*

Зам. руководителя Центра *Е. К. Липкина*

Редактор *Г. Н. Федина*

Младший редактор *Т. И. Данилова*

Художественный редактор *Т. В. Глушкова*

Художники *С. А. Сорока, С. А. Минаева*

Компьютерная верстка

и техническое редактирование *О. В. Храбровой*

Корректоры *И. Б. Окунева, Н. А. Смирнова, Н. Д. Цухай*

Налоговая льгота — Общероссийский классификатор продукции ОК 005-93—953000. Изд. лиц. Серия ИД № 05824 от 12.09.01. Подписано в печать 08.09.10. Формат 60 × 90¹/₁₆. Бумага офсетная. Гарнитура SchoolBookCSanPin. Печать офсетная. Уч.-изд. л. 11,23. Тираж 7000 экз. Заказ № 30534.

Открытое акционерное общество «Издательство «Просвещение». 127521, Москва, 3-й проезд Марьиной рощи, 41.

Отпечатано в ОАО «Саратовский полиграфкомбинат». 410004, г. Саратов, ул. Чернышевского, 59. www.sarpk.ru