

С.И. Кашина, Ю.И. Сезонов

Сборник задач по физике

*Издание четвертое,
переработанное и дополненное*

*Допущено
Научно-методическим Советом по физике
Министерства образования и науки
Российской Федерации в качестве учебного пособия
для студентов высших учебных заведений,
обучающихся по техническим направлениям подготовки
и специальностям*



Москва «Высшая школа» 2010

УДК 53
ББК 22.3
К 31

Рецензенты:

кафедра физики Московского инженерно-физического института (зав. кафедрой доцент *В.В. Грушин*); д-р физ.-мат. наук, проф. *П.А. Эминов* (Московский государственный университет приборостроения и информатики)

Кашина С.И.

К 31 Сборник задач по физике: Учеб. пособие для вузов/С.И. Кашина, Ю.И. Сезонов. — 4-е изд., перераб. и доп. — М.: Высш. шк., 2010. — 264 с.: ил.

ISBN 978-5-06-005567-2

Пособие представляет собой сборник вопросов и задач, составленный в соответствии с программой по физике для студентов высших учебных заведений, обучающихся по техническим направлениям подготовки и специальностям. Задачи по каждой теме расположены в порядке возрастания степени их трудности, что позволяет использовать пособие для самостоятельных занятий. В сборник включены задачи, которые предлагались в течение ряда лет слушателям подготовительного отделения, абитуриентам и студентам Московского государственного института электроники и математики.

Для студентов высших учебных заведений, обучающихся по техническим направлениям подготовки и специальностям, преподавателей физики средних школ и учащихся при индивидуальной подготовке к решению задач ЕГЭ по физике.

УДК 53
ББК 22.3

Учебное издание

Кашина Светлана Ивановна, Сезонов Юрий Иванович

СБОРНИК ЗАДАЧ ПО ФИЗИКЕ

Релактор *М.А. Рожкова*. Внешнее оформление *К.И. Мандель*. Технический редактор *Л.А. Маркова*.
Корректоры *В.В. Кожуткина, Г.Н. Петрова*. Компьютерная верстка *Е.М. Есаковой*.

Изд. № РЕНТ-410. Подп. в печать 07.07.09. Формат 60 × 88/16. Бум. офсетная. Гарнитура «Ньютон».
Печать офсетная. Объем 16,17 усл. печ. л. 16,66 усл. кр.-отт. Тираж 2000 экз. Заказ № 1431.

ОАО «Издательство «Высшая школа», 127994, Москва, Неглинная ул., 29/14, стр. 1.
Тел.: (495) 694-04-56 <http://www.vshkola.ru>. E-mail: info_vshkola@mail.ru

Отдел реализации: (495) 694-07-69, 694-31-47, факс: (495) 694-34-86 E-mail: sales_vshkola@mail.ru

Отпечатано в ООО «Великолукская городская типография».
182100, Пековская область, г. Великие Луки, ул. Полиграфистов, 78/12
Тел./факс: (811-53) 3-62-95. E-mail: kazak@veltip.ru

ISBN 978-5-06-005567-2

©ОАО «Издательство «Высшая школа», 2010

Оригинал-макет данного издания является собственностью издательства «Высшая школа», и его репродуцирование (воспроизведение) любым способом без согласия издательства запрещается.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Пособие представляет собой сборник вопросов и задач, составленный в соответствии с программой по физике для студентов высших учебных заведений, обучающихся по техническим направлениям подготовки и специальностям. Его можно рекомендовать также преподавателям физики средних школ и учащимся при индивидуальной подготовке к решению задач разделов *B* и *C* ЕГЭ по физике.

Сборник содержит по каждой теме большое число тренировочных задач одинакового типа, расположенных по возрастающей степени трудности, что позволяет использовать его как пособие для индивидуальных занятий при работе в аудитории и дома. Основная цель заданий этой группы — привить необходимые навыки решения задач и закрепить материал темы. Также в конце каждого раздела даны дополнительные задачи средней и повышенной степени трудности, которые позволят повторить и углубить знания по разделам курса.

В сборник вошли задачи, которые предлагались в течение ряда лет слушателям подготовительного отделения, абитуриентам и студентам Московского государственного института электроники и математики. В сравнении с прошлым изданием добавлено около ста новых задач и вопросов качественного характера. Они будут хорошим подспорьем при самостоятельной подготовке и для самоконтроля.

Сборник содержит ответы практически ко всем задачам (в отличие от предыдущих изданий). В помещенных в конце книги Приложениях содержатся справочный материал, необходимый для решения задач, указания по приближенным вычислениям, сведения по тригонометрическим функциям, таблицы значений различных физических величин. Исходные данные и ответы даны с учетом точности измерения соответствующих величин и правил действий над приближенными числами.

Авторы выражают искреннюю благодарность сотрудникам кафедры физики МИФИ, а также проф. П.А. Эминову за нелегкий и кропотливый труд по рецензированию этой книги. Их ценные замечания позволили авторам внести ряд исправлений в рукопись.

Авторы

ВВЕДЕНИЕ

ВЕКТОРНЫЕ И СКАЛЯРНЫЕ ВЕЛИЧИНЫ

1. Даны два вектора \mathbf{a} и \mathbf{b} (рис. 1). Найдите их сумму. Модули векторов равны: $|\mathbf{a}| = 5,0$; $|\mathbf{b}| = 4,0$.

2. Два вектора $3\mathbf{a}$ и $2\mathbf{a}$ расположены в одном направлении на одной прямой. Определите: 1) их сумму; 2) разность между 1-м и 2-м векторами; 3) разность между 2-м и 1-м векторами.

3. Вдоль прямой AB навстречу друг другу направлены два равных по модулю вектора. Определите сумму и разность этих векторов.

4. Сложите два вектора с модулем a так, чтобы модуль их суммы был равен: 1) 0 ; 2) $2a$; 3) a .

5. Угол α между двумя векторами \mathbf{a} и \mathbf{b} равен 60° . Определите модуль вектора $\mathbf{c} = \mathbf{a} + \mathbf{b}$ и угол β между векторами \mathbf{a} и \mathbf{c} . Модули векторов равны $|\mathbf{a}| = 3,0$; $|\mathbf{b}| = 2,0$.

6. Вектор \mathbf{a} , модуль которого равен $4,0$, составляет угол $\alpha = 240^\circ$ с вектором \mathbf{b} , модуль которого равен $6,0$. Определите модуль вектора $\mathbf{c} = \mathbf{a} - \mathbf{b}$ и угол β между \mathbf{a} и \mathbf{c} .

7. Для векторов, заданных в задаче 6, определите модуль вектора $\mathbf{c} = \mathbf{b} - \mathbf{a}$ и угол β между \mathbf{a} и \mathbf{c} .

8. Даны три взаимно перпендикулярных вектора \mathbf{a} , \mathbf{b} , \mathbf{c} , модули которых равны соответственно $3,0$; $4,0$; $\sqrt{11}$. Найдите модуль вектора $\mathbf{d} = \mathbf{a} + \mathbf{b} + \mathbf{c}$.

9. В координатах x , y задано положение точки M : $x = 5,0$; $y = 5,0$. Определите модуль вектора \mathbf{r} , соединяющего начало координат и точку M , а также угол α между этим вектором и осью x .

10. Вектор \mathbf{r} , модуль которого равен $6,0$, направлен под углом $\alpha = 30^\circ$ к оси x . Определите проекции этого вектора на координатные оси x , y .

11. Если конец вектора \mathbf{a} , модуль которого равен $4,0$, соединить с началом вектора \mathbf{b} , то модуль вектора \mathbf{c} , соединяющего начало векто-



Рис. 1

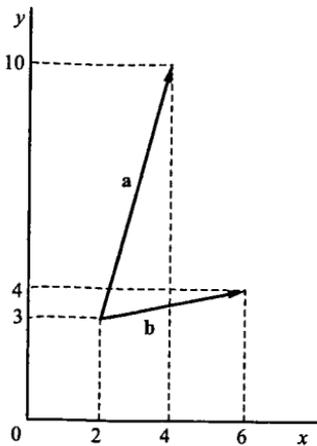


Рис. 2.

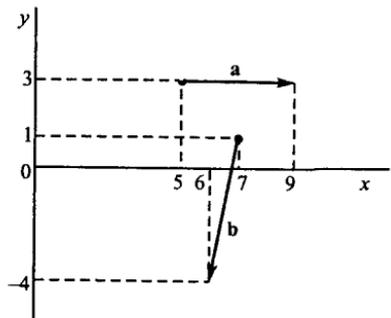


Рис. 3

ра \mathbf{a} с концом вектора \mathbf{b} , равен $4\sqrt{3}$. Угол α между \mathbf{a} и \mathbf{c} будет равен 30° . Определите угол β между векторами \mathbf{a} и \mathbf{b} , а также модуль вектора \mathbf{b} .

12. Вектор \mathbf{a} , равный по модулю $3,0$, составляет угол $\alpha = 30^\circ$ с прямой AB . Под каким углом β к AB надо направить вектор \mathbf{b} , равный по модулю $\sqrt{3}$, чтобы вектор $\mathbf{c} = \mathbf{a} + \mathbf{b}$ был параллелен AB ? Чему равен модуль вектора \mathbf{c} ?

13. Даны точки $M_1(2; 10)$ и $M_2(5; 6)$. Определите модуль вектора, соединяющего точку M_1 с M_2 .

14. В координатах x, y (рис. 2) заданы два вектора. Определите модуль суммарного вектора \mathbf{c} и угол α его наклона к оси x .

15. Векторы \mathbf{a} и \mathbf{b} заданы в координатах x, y (рис. 3). Определите модули векторов $\mathbf{c}_1 = \mathbf{a} + \mathbf{b}$ и $\mathbf{c}_2 = \mathbf{a} - \mathbf{b}$.

16. Постройте график зависимости скалярного произведения векторов \mathbf{a} и \mathbf{b} от угла α между ними.

17. Даны два вектора \mathbf{a} и \mathbf{b} , модули которых равны $|\mathbf{a}| = 2,0$; $|\mathbf{b}| = 1,0$. Угол между ними $\alpha = 60^\circ$. Найдите модули векторов $\mathbf{c} = (\mathbf{a} \cdot \mathbf{b}) \cdot \mathbf{a} + \mathbf{b}$ и $\mathbf{d} = 2\mathbf{b} - \mathbf{a}/2$.

18. Определите скалярное произведение векторов \mathbf{a} и \mathbf{b} , заданных в координатах x, y (см. рис. 2).

19. Векторы \mathbf{a} и \mathbf{b} заданы в координатах x, y (см. рис. 3). Определите скалярные произведения $c_1 = \mathbf{a} \cdot \mathbf{b}$ и $c_2 = (\mathbf{a} - \mathbf{b}) \cdot \mathbf{a}$.

20. Постройте график зависимости модуля векторного произведения векторов \mathbf{a} и \mathbf{b} от угла α между ними.

21. Для векторов, заданных в задаче 17, определите модули векторов $\mathbf{c}_1 = \mathbf{a} \times \mathbf{b}$ и $\mathbf{c}_2 = \mathbf{b} \times \mathbf{a}$. Как направлены векторы \mathbf{c}_1 и \mathbf{c}_2 ?

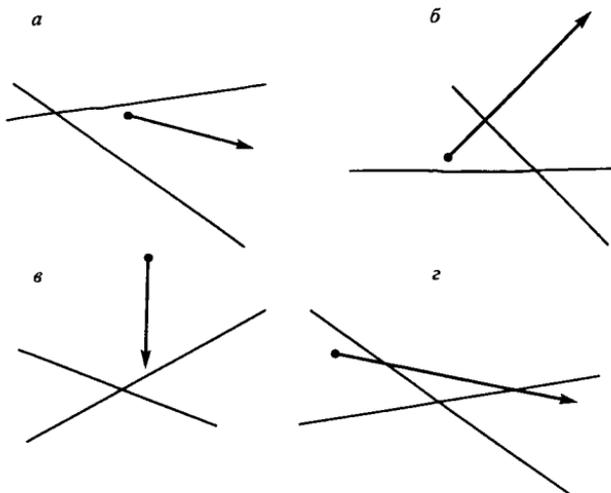


Рис. 4

22. Даны два вектора \mathbf{a} и \mathbf{b} , модули которых равны $|\mathbf{a}| = 4,0$; $|\mathbf{b}| = 3,0$. Угол между ними $\alpha = 30^\circ$. Определите модули векторов $\mathbf{c}_1 = \frac{2}{3} \mathbf{a} \times \mathbf{b} + \mathbf{b}$ и $\mathbf{c}_2 = (\mathbf{a} - \mathbf{b}) \times \mathbf{a}$.

23. Разложите векторы на составляющие по заданным направлениям (рис. 4).

24. У вектора \mathbf{a} известна одна из составляющих \mathbf{a}_1 (рис. 5). Найдите вторую составляющую \mathbf{a}_2 .

25. Вектор \mathbf{d} является суммой трех векторов \mathbf{a} , \mathbf{b} , \mathbf{c} . Заданы векторы \mathbf{d} и \mathbf{c} и направления MN и M_1N_1 , вдоль которых расположены векторы \mathbf{a} и \mathbf{b} (рис. 6). Определите векторы \mathbf{a} и \mathbf{b} .

26. Два параллельных вектора \mathbf{a} и \mathbf{b} направлены в одну сторону. Расстояние между ними $l = 6,0$ см. Найдите расстояние до суммарного вектора, если известно, что $\mathbf{a} = 2\mathbf{b}$.

27. Два противоположно направленных компланарных вектора \mathbf{a} и \mathbf{b} , модули которых равны 8,0 и 2,0, находятся на расстоянии $l = 12$ см друг от друга. Определите их сумму и линию действия полученного вектора.

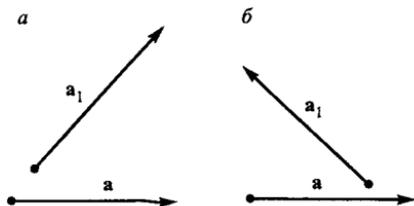


Рис. 5

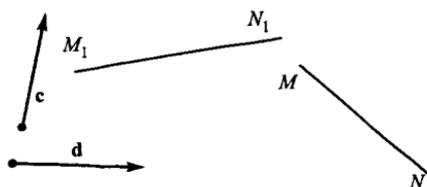


Рис. 6

Часть первая

МЕХАНИКА

Глава I

КИНЕМАТИКА

§ 1. Равномерное прямолинейное движение

1.1. Какова траектория движения материальной точки на плоскости, если ее радиус-вектор изменяется: 1) только по модулю; 2) только по направлению?

1.2. Можно ли утверждать, что материальная точка движется равномерно и прямолинейно в случаях: 1) $\mathbf{v} = \text{const}$; 2) $|\mathbf{v}| = \text{const}$?

1.3. При прямолинейном движении материальной точки ее координата изменяется со временем по закону: $x = A + Bt + Ct^2$, где A , B , C — размерные параметры. Какие ограничения надо наложить на указанные параметры, чтобы движение точки было: 1) равномерным; 2) равномерным вдоль оси x ; 3) равномерным против оси x ?

1.4. Уравнение движения материальной точки имеет вид $x = 3 + 5t$ (x выражено в метрах, t — в секундах). Охарактеризуйте ее движение.

1.5. На рис. 7 показана зависимость координаты материальной точки от времени. Охарактеризуйте ее движение и запишите уравнение движения. Постройте графики зависимости пути, скорости и проекции вектора скорости от времени.

1.6. На рис. 8 показаны зависимости координаты от времени двух материальных точек. Какая точка движется с большей скоростью? Определите место и время их встречи. Какие пути они прошли до встречи?

1.7. На рис. 9 показаны зависимости координаты от времени двух материальных точек. Охарактеризуйте их движения и запишите законы изменения их координат от времени. В какие моменты времени расстояние между ними равно начальному?

1.8. При прямолинейном движении двух тел их координаты изменяются по закону: $x_1 = 15 - 3t$ и $x_2 = 2t$ (x выражено в метрах, t — в се-

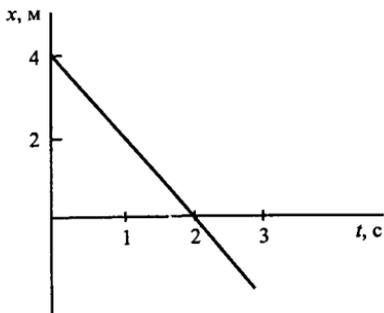


Рис. 7

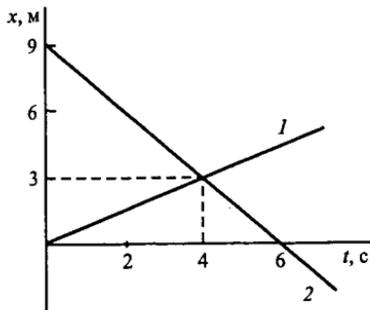


Рис. 8

кундах). Определите место и время встречи. Задачу решите двумя способами: аналитически и графически.

1.9. Тело движется в плоскости x, y с постоянной скоростью v_0 под углом α к оси x (рис. 10). В начальный момент времени $t = 0$ оно имело координаты $(x_0; y_0)$. Напишите уравнения движения и траектории движения.

1.10. Тело движется в плоскости x, y . Координаты изменяются со временем по закону: $x = At, y = B + Ct$, где $A = 25$ см/с; $B = 0,20$ м; $C = 1,0$ м/с. Определите траекторию движения.

1.11. На рис. 11 показана зависимость координаты тела от времени. Нарисуйте график зависимости скорости от времени. Определите путь, пройденный за 2, 4 и 8 с.

1.12. Тело прошло путь $s = 10$ м за время $t = 10$ с. Известно, что, пройдя путь $s_1 = 6,0$ м за время $t_1 = 2,0$ с, оно остановилось и стояло в течение времени $t_2 = 3,0$ с. Определите, с какой скоростью пройдена оставшаяся часть пути.

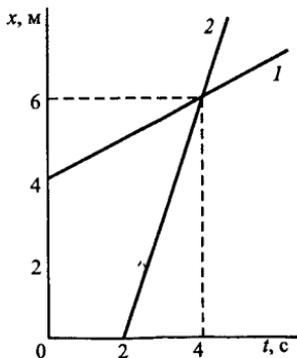


Рис. 9

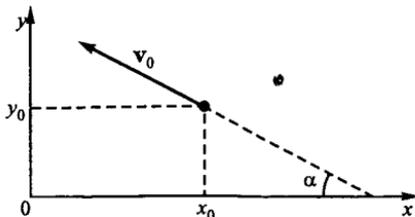


Рис. 10

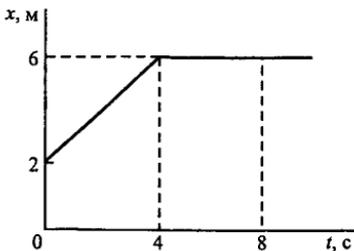


Рис. 11

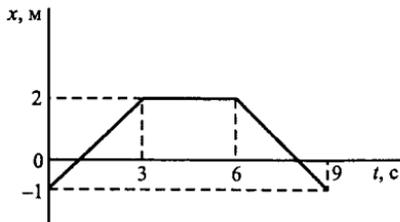


Рис. 12

1.13. На рис. 12 показана зависимость координаты тела от времени. Сколько времени оно находилось в движении? Какой путь при этом прошло? Нарисуйте графики зависимости пути и скорости от времени.

1.14. На рис. 13 показана зависимость от времени проекции вектора скорости тела на координатную ось. Нарисуйте графики зависимости координаты и пути от времени. Определите среднюю скорость движения и среднюю путевую скорость за первые 8,0 с.

1.15. Груз перемещается вертикально. Пользуясь графиком этого перемещения (рис. 14), определите скорости подъема и спуска, а также путь, который прошел груз за 70 с. Чему равна средняя скорость движения? Начертите график зависимости скорости от времени.

1.16. Первую половину пути автомобиль проехал со средней скоростью $v_1 = 60$ км/ч, а вторую — со средней скоростью $v_2 = 40$ км/ч. Определите среднюю скорость на всем пути.

1.17. Первую половину времени автомобиль двигался со средней скоростью $v_1 = 40$ км/ч, а вторую — со средней скоростью $v_2 = 60$ км/ч. Определите среднюю скорость на всем пути.

1.18. Пешеход прошел первую половину пути со скоростью в $n = 2,0$ раза большей, чем вторую. Средняя скорость на всем пути составила $v_{\text{ср}} = 4,0$ км/ч. Каковы скорости пешехода на первой и второй половинах пути?

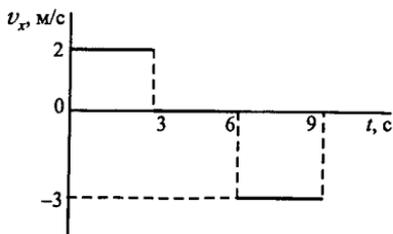


Рис. 13

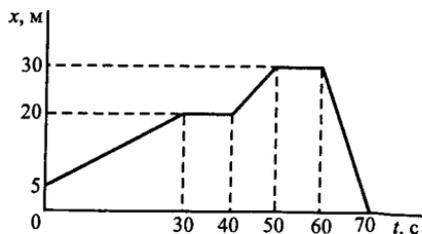


Рис. 14

1.19. Моторная лодка, двигаясь вниз по течению, прошла некоторый путь и вернулась обратно. Скорость лодки в стоячей воде $v = 3,0$ м/с. Определите скорость течения реки, если известно, что средняя скорость составила $n = 0,96$ от v .

1.20. Первую половину времени мотоциклист движется со скоростью $v_1 = 30$ м/с под углом $\alpha_1 = 30^\circ$ к заданному направлению, а вторую — под углом $\alpha_2 = 120^\circ$ к тому же направлению со скоростью $v_2 = 40$ м/с. Определите среднюю скорость перемещения и среднюю путевую скорость.

1.21. Треть пути велосипедист проехал со скоростью $v = 18$ км/ч. Остальной путь $s = 400$ м он проехал за $t = 1,0$ мин. Определите среднюю путевую скорость.

1.22. Первую треть пути вездеход двигался со скоростью $v_1 = 80$ км/ч, вторую треть — со скоростью $v_2 = 70$ км/ч, а оставшуюся часть пути — со скоростью v_3 , вдвое меньшей средней скорости на первых двух участках пути. Определите среднюю скорость на всем пути.

1.23. Из пунктов A и B , расположенных на расстоянии $l = 120$ км друг от друга, одновременно навстречу друг другу начали двигаться два автомобиля. Скорость первого $v_1 = 70$ км/ч, второго $v_2 = 50$ км/ч. Определите, через какое время и на каком расстоянии от пункта A они встретятся. Какое расстояние до встречи пройдет один автомобиль в системе координат, связанной с другим автомобилем?

1.24. Из двух населенных пунктов A и B , расположенных вдоль шоссе на расстоянии $l = 3,0$ км друг от друга, в одном направлении одновременно начали движение велосипедист и пешеход. Велосипедист, движущийся из пункта A , имел скорость $v_1 = 15$ км/ч, а пешеход, движущийся из пункта B , — $v_2 = 5,0$ км/ч. Определите, через сколько времени велосипедист догонит пешехода. Какие пути они пройдут при этом?

1.25. Из двух городов по шоссе навстречу друг другу выехали два автобуса: один — в момент времени $\tau_1 = 9$ ч 00 мин, а другой — в момент $\tau_2 = 9$ ч 30 мин. Первый двигался со скоростью $v_1 = 40$ км/ч, а другой — со скоростью $v_2 = 60$ км/ч. Длина маршрута $l = 120$ км. В котором часу и на каком расстоянии от городов они встретились?

1.26. Из пункта A выехал велосипедист со скоростью $v_1 = 25$ км/ч. Спустя время $t_0 = 6,0$ мин из пункта B , находящегося на расстоянии $l = 10$ км от пункта A , вышел пешеход. За время $t_2 = 50$ с пешеход прошел такой же путь, какой велосипедист проделал за время $t_1 = 10$ с. Где они встретятся?

1.27. Пассажир едет в поезде, скорость которого $v_1 = 80$ км/ч. Навстречу движется товарный поезд длиной $l = 1,0$ км со скоростью

$v_2 = 40$ км/ч. Определите, сколько времени товарный поезд будет двигаться мимо пассажира.

1.28. Автомобиль, двигаясь со скоростью $v_1 = 45$ км/ч, в течение времени $t_1 = 10$ с прошел такой же путь, какой автобус, двигающийся в том же направлении, прошел за время $t_2 = 15$ с. Какова их относительная скорость?

1.29. Эскалатор метрополитена поднимает неподвижно стоящего на нем пассажира в течение времени $t_1 = 1,0$ мин. По неподвижному эскалатору пассажир поднимается за время $t_2 = 3,0$ мин. Определите, сколько времени он будет подниматься по движущемуся эскалатору.

1.30. Теплоход курсирует по реке между двумя пристанями, находящимися на расстоянии $l = 60$ км. По течению реки этот путь он проходит за время $t_1 = 3,0$ ч, против — за время $t_2 = 6,0$ ч. Определите, сколько времени потребовалось бы теплоходу для того, чтобы проплыть расстояние между пристанями по течению при выключенном двигателе. Каковы скорости течения реки и теплохода относительно воды?

1.31. Пешеход переходил дорогу со скоростью $v = 4,2$ км/ч по прямой, составляющей угол $\alpha = 30^\circ$ с направлением дороги, в течение времени $t = 1,0$ мин. Определите ширину дороги.

1.32. Контейнер шириной $L = 2,8$ м, движущийся со скоростью $v_1 = 72$ км/ч, был пробит пулей, летевшей перпендикулярно направлению движения состава. Смещение отверстий в стенах контейнера относительно друг друга равно $l = 7,0$ см. Определите скорость движения пули, считая ее постоянной.

1.33. Охотник стреляет дробью в птицу, летящую по прямой со скоростью $v_1 = 15$ м/с. Какое упреждение s нужно сделать, если в момент выстрела птица находилась на минимальном от охотника расстоянии, равном $l = 30$ м? Скорость дроби $v_2 = 375$ м/с.

1.34. Из пункта A по взаимно перпендикулярным дорогам выехали два автомобиля: один — со скоростью $v_1 = 30$ км/ч, другой — со скоростью $v_2 = 40$ км/ч. С какой относительной скоростью они удаляются друг от друга?

1.35. Капли дождя, падая отвесно, образуют на окне движущегося поезда полосы под углом $\alpha = 30^\circ$ к вертикали. Какова скорость падения капель, если скорость поезда $u = 36$ км/ч?

1.36. Поезд движется со скоростью $v = 36$ км/ч. Под прямым углом к направлению его движения дует ветер со скоростью $u = 10$ м/с. Определите направление β флага, установленного на крыше локомотива.

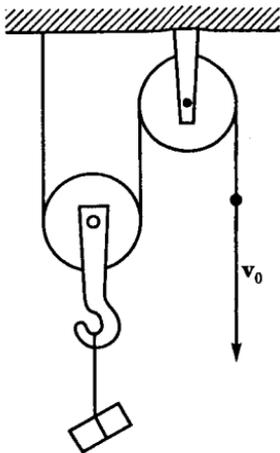


Рис. 15

1.37. Локомотив движется на восток со скоростью $v = 18$ км/ч. Дым из трубы поднимается вертикально. Определите скорость и направление ветра.

1.38. Корабль плывет на юг со скоростью $u = 42,3$ км/ч. Заметив в море катер, наблюдатель, находящийся на палубе корабля, определил, что он движется на северо-восток со скоростью $v_1 = 30$ км/ч. Какова скорость катера и в каком направлении он идет?

1.39. Самолет летит из пункта A в пункт B , расположенный южнее A на 150 км, и возвращается обратно. Определите продолжительность полета, если известно, что во время рейса дул ветер с запада на восток. Скорость самолета относительно ветра $v = 360$ км/ч, скорость ветра $u = 20$ м/с.

1.40. Человек, едущий в вагоне поезда в дождливую погоду на юго-восток со скоростью $v = 30$ км/ч, замечает, глядя в боковое стекло, что дождь падает вертикально вниз. Оцените скорость ветра.

1.41. Паромщик перевозит пассажиров с одного берега на другой по траектории, перпендикулярной берегам, за $t = 10$ мин. Ширина реки $l = 240$ м, скорость течения реки $u = 32$ см/с. Определите, с какой скоростью относительно воды и по какому курсу двигался паром.

1.42. Груз подвешен с помощью двух блоков (рис. 15). С какой скоростью он движется, если веревку тянут со скоростью v_0 ?

1.43. Две линейки образуют между собой угол α (рис. 16). Одна покоится, а вторая движется со скоростью v_0 . С какой скоростью относительно неподвижной линейки движется точка O их пересечения.

1.44. Моторная лодка движется перпендикулярно берегу со скоростью $v = 10$ км/ч. С какой скоростью движется тень от нее по дну,

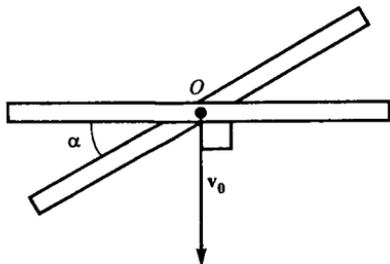


Рис. 16

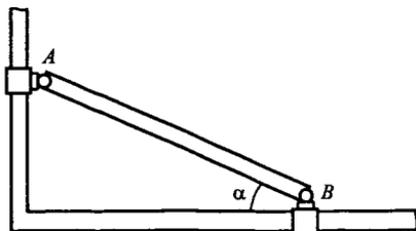


Рис. 17

составляющему с поверхностью воды угол $\alpha = 30^\circ$? Солнце находится в зените.

1.45. Стержень шарнирно соединен с муфтами A и B , которые перемещаются по двум взаимно перпендикулярным рейкам (рис. 17). Муфта A движется с постоянной скоростью v_A . Найдите скорость муфты B как функцию угла α .

§ 2. Равноускоренное прямолинейное движение

2.1. В каких случаях при условии $\mathbf{a} = \text{const}$ движение материальной точки: 1) прямолинейно; 2) не прямолинейно?

2.2. Что можно сказать об ускорении материальной точки в случаях: 1) $\mathbf{v} = \text{const}$; 2) $|\mathbf{v}| = \text{const}$?

2.3. Уравнение движения материальной точки имеет вид $x = -2 + 2t^2$ (x выражено в метрах, t — в секундах). Охарактеризуйте ее движение.

2.4. На рис. 18 показана зависимость от времени проекции вектора скорости материальной точки на координатную ось. Нарисуйте график зависимости проекции вектора ускорения от времени. Покажите, что тангенс угла наклона линии графика $v_x(t)$ численно равен ускорению, а площадь под графиком $a_x(t)$ численно равна изменению скорости.

2.5. На рис. 19 показана зависимость от времени проекции вектора скорости материальной точки на координатную ось. Нарисуйте график зависимости координаты от времени. Начальная координата $x_0 = 0$. Покажите, что тангенс угла наклона касательной к $x(t)$ численно равен скорости точки в данный момент времени, а площадь под графиком $v_x(t)$ численно равна изменению координаты.

2.6. На рис. 20 показаны зависимости от времени проекции вектора скорости на координатную ось трех материальных точек. Что общего и чем отличаются характеристики их движения?

2.7. На рис. 21 показана зависимость от времени проекции вектора скорости материальной точки на координатную ось. Нарисуйте

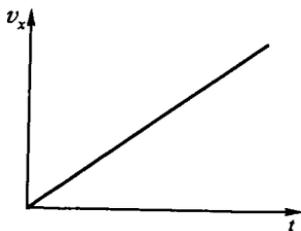


Рис. 18

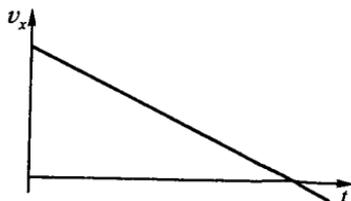


Рис. 19

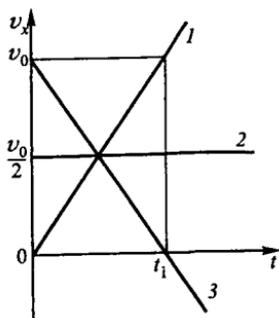


Рис. 20

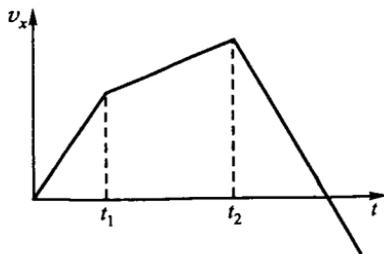


Рис. 21

графики зависимости проекции вектора ускорения, координаты и пути, пройденного точкой, от времени. Начальная координата $x_0 = 0$.

2.8. На рис. 22 показана зависимость координаты материальной точки от времени. Сравните скорости в моменты времени t_1, t_2, t_3 . Нарисуйте графики зависимости проекции вектора ускорения и пути от времени.

2.9. На рис. 23 показана зависимость координаты материальной точки от времени. Нарисуйте графики зависимости пути, проекций векторов скорости и ускорения от времени.

2.10. На рис. 24 показана зависимость от времени проекции вектора ускорения материальной точки на координатную ось. Нарисуйте графики зависимости координаты, пути и проекции вектора скорости от времени, если начальные условия следующие: $v_x(0) = 0, x(0) = 0$.

2.11. Пользуясь графиком $v_x(t)$ (рис. 25), сравните модули перемещения двух тел за первые три секунды движения.

2.12. Какие из приведенных уравнений относятся к равноускоренному прямолинейному движению?

1) $x = 8 + 2t^2$; 2) $x = -4t + 3t^2$; 3) $x = 2 + 3t$; 4) $v_x = 4t$; 5) $a_x = 2t$; 6) $v_x = 5$ м/с; 7) $a_x = 2$ м/с².

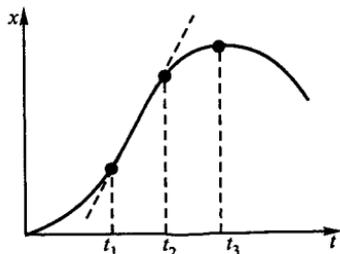


Рис. 22

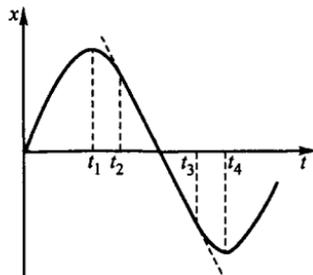


Рис. 23

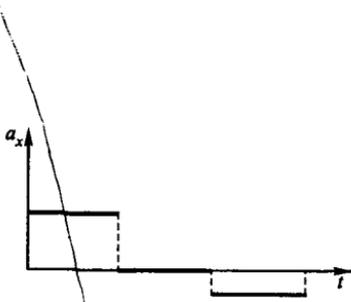


Рис. 24

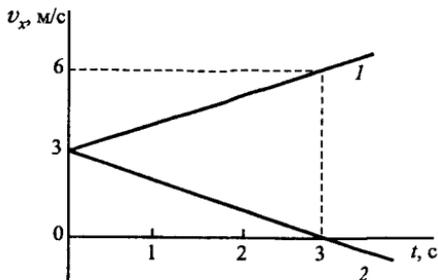


Рис. 25

2.13. Определите физический смысл точек пересечения на графиках, изображенных на рис. 26, 27.

2.14. На рис. 28 показана зависимость от времени проекции вектора скорости материальной точки на координатную ось. Нарисуйте графики зависимости пути и координаты от времени. Начальная координата $x_0 = 0$. Определите среднюю скорость за первые: 1) две; 2) пять секунд.

2.15. При прямолинейном движении материальной точки ее координата изменяется со временем по закону $x = -1 + 3t - 2t^2$ (x выражено в метрах, t — в секундах). Как изменяется со временем проекция вектора скорости v_x ? Где находилась точка в начальный момент времени? Когда она окажется в начале координат?

2.16. При прямолинейном движении материальной точки ее координата изменяется со временем по закону $x = 2 - 12t + 2t^2$ (x выражено в метрах, t — в секундах). Определите координату точки в момент, когда она остановится.

2.17. На рис. 29 показана траектория тела, движущегося в плоскости x, y . Координата y изменяется со временем по закону $y = At^2$, где $A = 1,0 \text{ м/с}^2$. Траектория образует угол $\alpha = 30^\circ$ с осью x . Определите

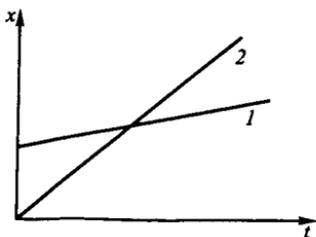


Рис. 26

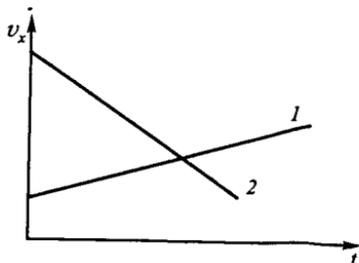
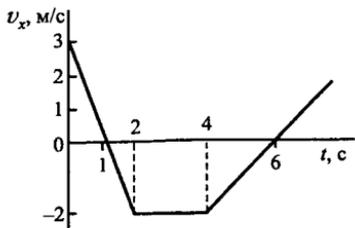
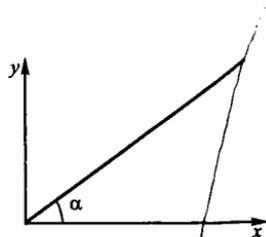


Рис. 27



Р и с. 28



Р и с. 29

ускорение. Какова скорость через время $t = 5,0$ с после начала движения? Каковы его координаты в этот момент времени?

2.18. Движение материальной точки задано уравнением $x = -3 + 8t - 2t^2$, м. Определите среднюю скорость и путь, пройденный точкой за интервал времени от $t_1 = 1,0$ с до $t_2 = 4,0$ с. Постройте графики зависимости ускорения, скорости, координаты и пути от времени.

2.19. Автомобиль начал двигаться с ускорением $a = 1,5$ м/с² и через некоторое время оказался на расстоянии $s = 12$ м от начальной точки траектории. Определите скорость в этот момент времени. Чему равна средняя скорость?

2.20. Покажите, что средняя скорость за произвольный промежуток времени $\tau = t_2 - t_1$ при равнопеременном движении равна скорости в момент времени $t = t_1 + \tau/2$.

2.21. В момент времени $t_1 = 1,0$ с поезд имел скорость $v_1 = 10$ м/с; в момент времени $t_2 = 6,0$ с его скорость стала $v_2 = 18$ км/ч. Определите ускорение и среднюю скорость. Задачу решите аналитически и графически.

2.22. На рис. 30 показаны траектории двух тел, движущихся прямолинейно под углом $\alpha = 60^\circ$ друг к другу. Первое тело начинает движение из точки O с постоянной скоростью $v = 2,5$ м/с вдоль прямой OA . Одновременно из точки B вдоль прямой BA начинает двигаться ускоренно второе тело. Когда первое прошло $s = 10$ м, они встретились. Через какое время они встретились? С каким ускорением двигалось второе тело? На сколько отличаются их средние скорости?

2.23. Треть тормозного пути поезд прошел за $\tau = 2,0$ с. Найдите время, необходимое для его полной остановки, считая, что он двигался равнозамедленно. Постройте графики зависимости тормозного пути и скорости от времени.

2.24. Тело движется вдоль оси x с начальной скоростью $v_0 = 10$ м/с и постоянным ускорением $a = -2,0$ м/с². Определите, какой путь оно пройдет за первые $t_1 = 4,0$ с и $t_2 = 8,0$ с.

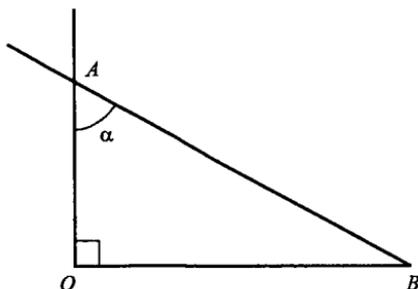


Рис. 30

2.25. Автомобиль, двигаясь равноускоренно, через $t = 10$ с после начала движения достиг скорости $v = 36$ км/ч. Определите ускорение, с которым двигался автомобиль. Какой путь он при этом прошел? Какой путь автомобиль прошел за последнюю секунду?

2.26. С каким ускорением движется тело, если за восьмую секунду после начала движения оно прошло путь $s = 30$ м? Определите путь за 15-ю секунду.

2.27. Материальная точка движется с ускорением a . Определите разность путей, проходимых в два последовательных одинаковых промежутка времени τ .

2.28. Тело, двигаясь без начальной скорости, прошло за первую секунду 1,0 м, за вторую — 2,0 м, за третью — 3,0 м, за четвертую — 4,0 м и т. д. Можно ли считать такое движение равноускоренным?

2.29. Два автомобиля выходят из одного пункта в одном направлении. Второй автомобиль выходит на $\tau = 20$ с позже первого. Оба движутся равноускоренно с одинаковым ускорением $a = 0,40$ м/с². Через сколько времени, считая от начала движения первого автомобиля, расстояние между ними окажется $s = 240$ м?

2.30. Два поезда прошли одинаковый путь за одно и то же время. Один поезд двигался с ускорением $a = 2,0$ см/с² и нулевой начальной скоростью. Второй прошел первую половину пути с постоянной скоростью $v_1 = 18$ км/ч, вторую половину — со скоростью $v_2 = 36$ км/ч. Определите путь, пройденный поездами.

2.31. Человек, выйдя из электропоезда, пошел по ходу его движения со скоростью $v = 4,5$ км/ч. Когда человек дошел до начала электропоезда, он начал равноускоренно двигаться. Определите скорость электропоезда, когда он поравняется с человеком.

2.32. Мотоциклист движется с постоянным ускорением $a = 1,0$ м/с². Мимо наблюдателя он проезжает со скоростью $v = 10$ м/с. На каком расстоянии от наблюдателя он находился $t = 3,0$ с назад?

2.33. Мимо поста ГИБДД проехал автомобиль, который двигался с постоянной скоростью $v = 54$ км/ч. Спустя время $\tau = 2,0$ мин от поста равноускоренно отправился в том же направлении мотоциклист, который за интервал времени $t_1 = 30$ с достиг скорости $v_1 = 72$ км/ч и далее продолжал двигаться равномерно. Через какое время мотоциклист догонит автомобиль?

2.34. Расстояние между двумя станциями $s = 3,0$ км поезд метро проходит со средней скоростью $v_{\text{ср}} = 54$ км/ч. При этом он разгоняется в течение времени $t_1 = 60$ с, затем идет равномерно некоторое время t_2 , а затем движется равнозамедленно до полной остановки в течение времени $t_3 = 40$ с. Определите наибольшую скорость поезда. Задачу решите аналитически и графически.

2.35. Оцените, на сколько путь, пройденный свободно падающим телом в n -ю секунду, больше пути, пройденного в предыдущую секунду.

2.36. Тело свободно падает с высоты $h = 270$ м. Разделите эту высоту на три части h_1, h_2, h_3 так, чтобы на прохождение каждой из них потребовалось одно и то же время.

2.37. С крыши дома высотой $h = 20$ м оторвалась сосулька. Определите среднюю скорость ее падения.

2.38. На какой высоте скорость мяча, брошенного вертикально вверх, уменьшится вдвое? Начальная скорость $v_0 = 10$ м/с.

2.39. С отвесного обрыва высотой $h = 810$ м упал камень. Какова средняя скорость на второй половине пути?

2.40. Шарик в конце первой секунды своего падения $t_1 = 1,0$ с пробил пластинку, потеряв $\eta = 80$ % своей скорости. Какой путь он пройдет в следующую секунду?

2.41. Стальной шарик свободно падает без начальной скорости с высоты $h = 25$ м и упруго подпрыгивает на горизонтальной поверхности. Определите среднюю скорость и путь, пройденный за время $t = 6,0$ с.

2.42. Тело брошено вертикально вверх с начальной скоростью $v_0 = 24$ м/с. Определите среднюю скорость и путь, пройденный за время $t = 4,0$ с.

2.43. Тело падало с некоторой высоты и последние $h = 196$ м прошло за время $\tau = 4,0$ с. Сколько времени и с какой высоты оно падало?

2.44. С отвесного обрыва упал камень. Человек, стоящий у того места, с которого упал камень, услышал звук его падения через время $t = 6,0$ с. Определите высоту обрыва, если скорость звука в воздухе $v = 340$ м/с.

2.45. Шарик бросают вертикально вверх. Наблюдатель замечает промежуток времени $\tau = 0,60$ с между двумя моментами, когда шарик находится на высоте $h = 1,0$ м. Определите начальную скорость и время полета.

2.46. Тело бросают вертикально вверх с начальной скоростью $v_0 = 10$ м/с. На высоте $h = 0,84H$ оно упруго ударяется о щит, расположенный под углом $\alpha = 45^\circ$ к горизонту. Определите время полета. Постройте график зависимости времени полета от высоты препятствия.

2.47. Жонглер бросает мяч вертикально вверх со скоростью $v = 6,0$ м/с. Когда он достигает верхней точки полета, жонглер бросает с той же скоростью второй мяч. На каком расстоянии от точки бросания они встретятся?

2.48. Два камня находятся на одной вертикали на расстоянии $l = 10$ м друг от друга. В некоторый момент времени верхний камень бросают вниз со скоростью $v = 20$ м/с, а нижний отпускают. Через какое время они столкнутся?

2.49. Ракета на высоте $h = 120$ м разрывается в воздухе на два осколка. Скорость первого осколка $v_1 = 80$ м/с направлена вертикально вверх. Скорость второго — $v_2 = 60$ м/с направлена вертикально вниз. На каком расстоянии друг от друга они окажутся через $\tau_1 = 0,50$ с и $\tau_2 = 4,0$ с?

2.50. С вертолета сбросили без начальной скорости два груза, причем второй на $\tau = 1,0$ с позже первого. Определите расстояние между ними через время $t_1 = 2,0$ с и $t_2 = 4,0$ с после начала движения первого груза.

2.51. С воздушного шара, находящегося на высоте $h = 240$ м, сбросили без начальной скорости относительно шара груз. Определите время его падения, если шар был неподвижным. То же, если шар двигался вниз со скоростью $v_0 = 5,0$ м/с; вверх со скоростью $v_0 = 5,0$ м/с. С каким ускорением относительно шара двигался груз в каждом из случаев?

§ 3. Равноускоренное криволинейное движение

3.1. Может ли материальная точка двигаться по криволинейной траектории при условии: 1) вектор полного ускорения $\mathbf{a} = \text{const}$; 2) вектор нормального ускорения $\mathbf{a}_n = \text{const}$; 3) вектор тангенциального ускорения $\mathbf{a}_\tau = \text{const}$?

3.2. Что можно сказать о форме траектории материальной точки, движущейся в плоскости, если 1) $\mathbf{a}_n = \text{const}$, $\mathbf{a}_\tau = 0$; 2) $\mathbf{a}_n = 0$, $\mathbf{a}_\tau = \text{const}$; 3) $\mathbf{a}_n = \text{const}$, $\mathbf{a}_\tau = \text{const}$?

3.3. Материальная точка движется в плоскости x, y так, что ее координаты изменяются со временем согласно уравнениям $x = At$, $y = Bt + Ct^2$, где A, B, C — размерные параметры. Запишите уравнение траектории $y(x)$, модули векторов скорости $v(t)$ и ускорения $a(t)$, угол между векторами скорости и ускорения $\beta(t)$.

3.4. Тело брошено горизонтально с начальной скоростью v_0 . Поместив начало координат в точку бросания и направив ось x вдоль начальной скорости, а ось y — вертикально вниз, постройте графики зависимостей: $g_x(t)$, $g_y(t)$, $v_x(t)$, $v_y(t)$, $x(t)$, $y(t)$.

3.5. Тело брошено горизонтально с начальной скоростью v_0 . Найдите: 1) уравнение траектории тела $y(x)$ (постройте согласно этому уравнению траекторию полета); 2) зависимость модуля вектора скорости от времени $v(t)$; 3) зависимость от времени угла $\alpha(t)$ между вектором скорости тела и горизонтом; 4) зависимость от времени угла $\beta(t)$ между векторами скорости и ускорения.

3.6. Тело брошено горизонтально со скоростью v_0 . Нарисуйте траекторию движения и укажите в произвольной точке траектории векторы скорости, полного ускорения, нормальной и тангенциальной составляющих ускорения.

3.7. С верхней полки вагона равномерно движущегося поезда упал предмет. Каков характер его движения относительно вагона? относительно земли?

3.8. В каком случае выпавший из окна вагона предмет упадет на землю раньше: когда вагон стоит на месте или когда он движется?

3.9. Камень, брошенный горизонтально с обрыва высотой $H = 10$ м, упал на расстоянии $s = 14$ м от точки бросания. Запишите уравнение траектории и из него определите начальную скорость. Чему равна скорость камня на высоте $h = H/2$?

3.10. Определите скорость тела через $t = 3,0$ с после того, как его бросили горизонтально со скоростью $v_0 = 39,2$ м/с.

3.11. Человек ныряет в воду с крутого горизонтального берега высотой $H = 5,0$ м, имея после разбега скорость $v_0 = 6,7$ м/с. Определите модуль и направление вектора скорости человека при достижении им воды.

3.12. Тело, брошенное горизонтально с вышки, через $t = 3,0$ с упало на землю на расстоянии $l = 60$ м от ее основания. Определите начальную и конечную скорости.

3.13. В какой момент времени у тела, брошенного горизонтально с начальной скоростью $v_0 = 19,6$ м/с, тангенциальное ускорение равно нормальному?

3.14. Мяч брошен горизонтально со скоростью $v_0 = 9,8$ м/с. Через сколько времени и в каком месте его нормальное ускорение будет в два раза больше тангенциального?

3.15. С обрыва в горизонтальном направлении бросают камень со скоростью $v_0 = 20$ м/с. Определите точку траектории, радиус кривизны которой в 8 раз больше радиуса кривизны в верхней точке.

3.16. Дальность полета мяча, брошенного горизонтально со скоростью $v_0 = 4,9$ м/с, равна высоте, с которой его бросили. Чему равна эта высота и под каким углом к горизонту мяч упал на землю?

3.17. С вертолета, летящего на высоте $H = 125$ м со скоростью $v = 90$ км/ч, сбросили груз. На какой высоте его скорость будет направлена под углом 45° к горизонту?

3.18. В мишень с расстояния $s = 50$ м сделано два выстрела в горизонтальном направлении при одинаковой наводке винтовки. Скорость первой пули $v_1 = 320$ м/с, второй $v_2 = 350$ м/с. Определите расстояние между пробоинами.

3.19. Какой скоростью обладал лыжник при прыжке с трамплина, находящегося на вершине горы, имеющей уклон $\alpha = 45^\circ$, если он приземлился на горе на расстоянии $s = 29$ м от вершины?

3.20. Летящий на высоте $H = 400$ м со скоростью $v = 360$ км/ч самолет сбрасывает груз на палубу корабля, идущего в том же направлении со скоростью $u = 54$ км/ч. Каково должно быть расстояние (по горизонтали) между ними, чтобы груз попал на палубу?

3.21. Деревянный шар, скатываясь с лестницы, имел горизонтальную начальную скорость $v_0 = 1,7$ м/с. Высота h и ширина b каждой ступени равны 20 см. О какую по счету ступеньку шар ударится впервые?

3.22. Два осколка разорвавшегося на некоторой высоте снаряда получили скорости $v_1 = 20$ м/с и $v_2 = 80$ м/с, направленные горизонтально в противоположные стороны. Каким станет расстояние между осколками, когда их скорости будут взаимно перпендикулярны?

3.23. Для тела, брошенного под углом α к горизонту со скоростью v_0 , постройте графики зависимостей: $g_x(t)$, $g_y(t)$, $v_x(t)$, $v_y(t)$, $x(t)$, $y(t)$. Начало координат совместите с начальным положением тела.

3.24. Тело бросили со скоростью v_0 под углом α к горизонту. Запишите уравнение движения в декартовых координатах. Убедитесь, что траектория представляет собой параболу.

3.25. Тело бросили со скоростью v_0 под углом α к горизонту. Найдите: 1) зависимость скорости от времени $v(t)$; 2) время полета; 3) зависимость от времени угла $\varphi(t)$ между вектором скорости и горизон-

том; 4) зависимость от времени угла $\beta(t)$ между векторами скорости и ускорения; 5) максимальную высоту подъема; 6) дальность полета. Убедитесь, что время подъема равно времени падения.

3.26. Тело брошено с начальной скоростью v_0 под углом α к горизонту. Нарисуйте траекторию движения и укажите векторы скорости, полного, тангенциального и нормального ускорения в точках траектории, соответствующих: 1) началу движения (сразу после бросания); 2) наивысшей точке подъема; 3) концу движения (непосредственно перед падением). Чему равны g_t и g_n для этих точек? Определите радиусы кривизны начала и вершины траектории.

3.27. Два тела брошены с одинаковой начальной скоростью под углами α и $90^\circ - \alpha$ к горизонту. Определите отношения наибольших высот подъема и дальностей их полета.

3.28. Тело брошено под углом $\alpha = 60^\circ$ к горизонту со скоростью $v_0 = 10$ м/с. Определите моменты времени, когда скорость направлена под углом $\beta = 45^\circ$ к горизонту.

3.29. Начальная скорость брошенного вверх камня $v_0 = 10$ м/с. Спустя время $\tau = 0,50$ с скорость стала равной $v = 7,0$ м/с. На какую максимальную высоту над начальным уровнем поднимается камень?

3.30. Какую начальную скорость нужно сообщить сигнальной ракете, выпущенной под углом $\alpha = 45^\circ$ к горизонту, чтобы она вспыхнула в наивысшей точке своей траектории, если время горения запала ракеты $\tau = 6,0$ с? Определите координаты этой точки.

3.31. Двое играют в мяч, бросая его друг другу. Какой наибольшей высоты достигает мяч во время игры, если от одного игрока к другому он летит в течение времени $t = 2,0$ с?

3.32. Под каким углом к горизонту нужно бросить с земли тело, чтобы его максимальная высота подъема была в 2 раза больше дальности полета?

3.33. Камень, брошенный под углом к горизонту, упал на землю через $t = 4,0$ с. Определите высоту и дальность полета, если известно, что во время движения его максимальная скорость была вдвое больше минимальной.

3.34. Камень бросили со скоростью $v_0 = 19,6$ м/с под углом $\alpha = 60^\circ$ к горизонту. Определите радиус кривизны его траектории: 1) в верхней точке; 2) в момент падения на землю.

3.35. Снаряд вылетает из орудия под углом $\alpha = 45^\circ$ к горизонту. Чему равна дальность полета, если радиус кривизны траектории в точке максимального подъема $R = 15$ км?

3.36. Камень бросили под углом $\alpha = 60^\circ$ к горизонту со скоростью $v_0 = 19,6$ м/с. Каковы будут нормальное и тангенциальное ускорения

через $t = 0,50$ с после начала движения? Через сколько времени после начала движения нормальное к траектории ускорение камня будет максимальным?

3.37. Камень, брошенный под углом $\alpha = 60^\circ$ к горизонту со скоростью $v_0 = 30$ м/с, через $t = 2,0$ с упал на крышу дома. Определите высоту дома и расстояние до него.

3.38. Мотоциклист въезжает на высокий край рва. Какую минимальную скорость он должен иметь в момент отрыва от края, чтобы перескочить ров (рис. 31)?

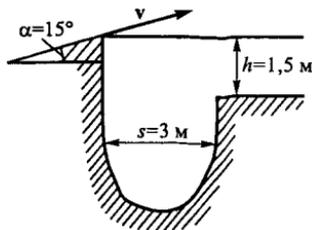


Рис. 31

3.39. Игрок посылает мяч с высоты $h = 1,2$ м над землей так, чтобы угол бросания был равен $\alpha = 45^\circ$. На расстоянии $s = 47$ м от места бросания расположена сетка высотой $H = 7,3$ м. Какой должна быть минимальная скорость, чтобы мяч перескочил сетку?

3.40. Футбольный мяч посылается с начальной скоростью $v_0 = 10,7$ м/с под углом $\alpha = 30^\circ$ к горизонту. На расстоянии $s = 6,0$ м от точки удара находится вертикальная стенка, о которую он упруго ударяется. Найдите расстояние от точки удара по мячу до точки его приземления.

3.41. На горе с уклоном $\alpha = 30^\circ$ бросают мяч с начальной скоростью $v_0 = 9,8$ м/с перпендикулярно склону горы. Найдите время полета. На каком расстоянии от точки бросания он упадет?

3.42. Мяч бросают вверх вдоль склона холма под углом $\beta = 60^\circ$ к горизонту. На расстоянии $s = 30$ м от точки бросания он падает на землю. Угол наклона холма $\alpha = 30^\circ$. Определите начальную скорость. Сколько времени прошло между двумя положениями мяча на той высоте, на которой он упал?

3.43. Мяч бросают горизонтально со скоростью $v_0 = 14$ м/с с горы, составляющей угол $\alpha = 45^\circ$ с горизонтом. На каком наибольшем расстоянии от поверхности горы он окажется во время полета? Где он приземлится?

3.44. Из орудия произведен выстрел на поражение в мишень, летящую горизонтально на высоте $h = 90$ м с постоянной скоростью $u = 72$ км/ч. Определите начальную скорость снаряда, если в момент выстрела ствол орудия был направлен строго на мишень под углом $\alpha = 60^\circ$ к горизонту.

3.45. Два тела брошены под разными углами к горизонту и с различными начальными скоростями. Покажите, что во время движения их относительная скорость постоянна по модулю и направлению.

3.46. Два тела бросили одновременно с одинаковыми скоростями $v_0 = 20$ м/с, направленными под углом $\alpha = 30^\circ$ к горизонту, одно с высоты $H = 30$ м, другое с земли из точки, находящейся точно под верхним телом. Через какое время и в каком месте они столкнутся?

3.47. Два тела бросили в поле тяжести Земли в момент времени $t = 0$ из одной точки. Начальная скорость первого тела v_{01} и направлена вертикально вверх, а второго — v_{02} и направлена горизонтально. Найдите закон изменения со временем расстояния l между ними.

§ 4. Криволинейное движение

4.1. Материальная точка движется по криволинейной траектории (рис. 32). Покажите направление вектора перемещения из положения A в положение B . Сравните пройденный путь и модуль вектора перемещения.

4.2. Материальная точка движется равномерно по криволинейной траектории (рис. 33). Покажите направление векторов скорости и ускорения в точках A и B .

4.3. Может ли нормальное ускорение материальной точки при движении по криволинейной траектории: 1) равняться нулю; 2) равняться постоянному вектору; 3) быть постоянным по модулю?

4.4. Двигаясь равномерно со скоростью v , материальная точка прошла половину окружности радиусом R . Определите: 1) модуль вектора перемещения; 2) пройденный точкой путь; 3) модуль вектора средней скорости; 4) среднюю путевую скорость; 5) модуль вектора ускорения.

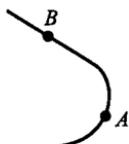
4.5. Материальная точка движется равномерно по криволинейной траектории (рис. 34). В каких точках траектории ускорение максимально? равно нулю? Покажите направление векторов скорости и ускорения в точках A , B , C .

4.6. При движении материальной точки ее радиус-вектор изменяется только по направлению. Какова траектория движения?

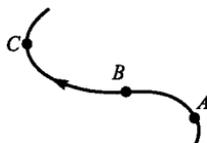
4.7. Материальная точка движется в плоскости x, y , причем ее прямоугольные координаты определяются уравнениями $x = A \cos \omega t$, $y = A \sin \omega t$, где A и ω — размерные постоянные. Получите уравнение траектории.



Р и с. 32



Р и с. 33



Р и с. 34

4.8. Точка движется по окружности с постоянной скоростью $v = 50$ см/с. Вектор скорости изменяет направление на $\Delta\varphi = 30^\circ$ за время $\Delta t = 2,0$ с. Определите нормальное ускорение точки.

4.9. Конец минутной стрелки часов на Спасской башне Кремля передвинулся, описав дугу длиной $l = 37$ см за время $\tau = 1$ мин. Определите длину стрелки.

4.10. Минутная стрелка часов в три раза длиннее секундной. Найдите отношение линейных скоростей концов этих стрелок.

4.11. Определите ускорение точек земного экватора, обусловленное суточным вращением Земли. Как должна измениться угловая скорость Земли, чтобы это ускорение стало равным g ?

4.12. Определите линейную скорость и ускорение, которые имеют точки земной поверхности на широте Санкт-Петербурга (60° с. ш.) вследствие суточного вращения Земли.

4.13. Вычислите угловую и линейную скорости орбитального спутника Земли, если период его обращения $T = 121$ мин, а высота полета $h = 1700$ км.

4.14. Колесо велосипеда имеет радиус $R = 40$ см. С какой скоростью едет велосипедист, если колесо делает $n = 100$ об/мин?

4.15. Обруч радиусом $R = 0,50$ м катится без проскальзывания по горизонтальной дороге со скоростью $v = 1,0$ м/с. Определите скорость и ускорение точек, лежащих на концах вертикального и горизонтального диаметров.

4.16. Точка A , лежащая на пересечении рельса с внешним ободом колеса поезда, движется в данный момент времени со скоростью $u = 5,0$ м/с (рис. 35). Определите, с какой скоростью и в каком направлении движется поезд, если $r = 50$ см, $R = 56$ см.

4.17. Цилиндрический каток радиусом $R = 10$ см помещен между двумя параллельными рейками, которые движутся в одну сторону со скоростями $v_1 = 6,0$ м/с и $v_2 = 4,0$ м/с. Определите скорость его центра, если проскальзывание отсутствует. Какова угловая скорость вращения катка? Решите задачу для случая, когда скорости реек направлены в разные стороны.

4.18. Горизонтальный диск радиусом $R = 3,0$ м вращается вокруг своей оси, делая $n = 5,0$ об/мин. Человек идет вдоль радиуса с постоянной скоростью $u = 1,1$ м/с относительно диска. Как изменяется модуль скорости человека относительно земли в зависимости от расстояния r от центра диска? Чему равна эта скорость в центре и на краю диска?

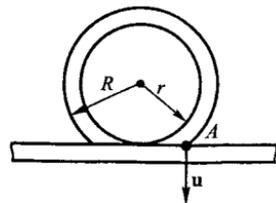


Рис. 35

4.19. Горизонтальная платформа радиусом $R = 2,0$ м вращается вокруг своей оси, делая $n = 30$ об/мин. Шар катится в радиальном направлении к платформе со скоростью $v = 7,0$ м/с. Определите величину и направление скорости шара относительно платформы в момент, когда расстояние до нее будет $l = 6,0$ м.

4.20. Кривошип OA , вращаясь с угловой скоростью $\omega = 2,5$ рад/с, приводит в движение колесо радиусом $r = 5,0$ см, катящееся по неподвижному колесу радиусом $R = 15$ см. Найдите скорость точки B (рис. 36).

4.21. Один автомобиль движется по закруглению радиусом $R = 0,50$ км, другой — прямолинейно по шоссе, проходящем в $l = 700$ м от центра закругления. Скорость каждого автомобиля $v = 60$ км/ч. Определите скорость второго относительно первого в момент, когда расстояние между ними минимально.

4.22. Пропеллер самолета радиусом $R = 1,5$ м вращается с частотой $n = 2,0 \cdot 10^3$ мин⁻¹, причем посадочная скорость самолета относительно земли равна $v = 161$ км/ч. Определите скорость точки на конце пропеллера. Какова траектория ее движения?

4.23. Мальчик вращает камень, привязанный к веревке длиной $l = 0,50$ м, в вертикальной плоскости с частотой $n = 3,0$ с⁻¹. На какую высоту взлетел камень, если веревка оборвалась в тот момент, когда скорость была направлена вертикально вверх?

4.24. Точка движется по окружности радиусом $r = 20$ см с постоянным тангенциальным ускорением $a_t = 5,0$ см/с². Через сколько времени после начала движения нормальное ускорение будет равно тангенциальному?

4.25. Вал начинает вращение из состояния покоя и в первые $t = 10$ с совершает $N = 50$ оборотов. Считая вращение равноускоренным, определите угловое ускорение.

4.26. Некоторое тело начинает вращаться с постоянным угловым ускорением $\epsilon = 0,040$ рад/с². Через сколько времени после начала вращения полное ускорение какой-либо точки тела будет направлено под углом $\alpha = 76^\circ$ к направлению скорости этой точки?

4.27. Диск начинает движение из состояния покоя и вращается равноускоренно. Каким будет угол между вектором скорости и вектором ускорения произвольной точки диска, когда он сделает один оборот?

4.28. Поезд въезжает на закругленный участок пути с начальной скоростью $v_0 = 54$ км/ч и проходит путь $s = 600$ м за время $t = 30$ с, двигаясь равноускоренно. Определите скорость и ускорение в конце этого пути, если радиус закругления равен $R = 1,0$ км.

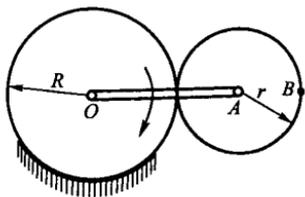


Рис. 36

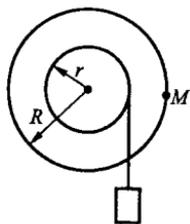


Рис. 37

4.29. Ступенчатый шкив с радиусами $r = 0,25$ м и $R = 0,50$ м приводится во вращение грузом, опускающимся с постоянным ускорением $a = 2,0$ см/с² (рис. 37). Определите модуль и направление ускорения точки M в тот момент, когда груз пройдет путь $s = 100$ см.

Дополнительные задачи

I.1. Велосипедист одну треть пути проехал с постоянной скоростью $v_1 = 12$ км/ч, первую половину оставшегося пути с постоянной скоростью $v_2 = 18$ км/ч, а затем стал тормозить и через $t_3 = 20$ мин остановился. Определите, сколько времени он был в пути, какой путь проехал и среднюю скорость на всем пути. Постройте графики зависимости пути и скорости от времени.

I.2. Расстояние $s = 360$ км между пунктами A и B самолет пролетел за $t_1 = 30$ мин. Во время полета дул ветер под углом $\alpha = 30^\circ$ к линии AB со скоростью $u = 10$ м/с. Определите курс β_1 самолета при полете от A к B , время t_2 полета и курс β_2 при полете от B к A при том же ветре.

I.3. Катер, двигаясь относительно реки со скоростью $v = 9,0$ км/ч, держит курс перпендикулярно берегу. Под углом $\alpha = 45^\circ$ к берегу дует ветер со скоростью $u_1 = 3,5$ м/с. Скорость течения реки $u_2 = 2,5$ м/с. Определите, под каким углом к берегу направлен флюгер, установленный на катере.

I.4. По двум пересекающимся под углом $\alpha = 30^\circ$ дорогам движутся два автомобиля: один — со скоростью $v_1 = 54$ км/ч, второй — со скоростью $v_2 = 26$ м/с. Через время $t = 1,0$ мин после пересечения первым автомобилем перекрестка по другой дороге его пересек второй. Определите минимальное расстояние s_{\min} между ними после перекрестка.

I.5. Из орудия произведен выстрел на поражение в мишень, летящую горизонтально на высоте $h = 90$ м с постоянной скоростью $u = 72$ км/ч. Определите начальную скорость снаряда, если в момент выстрела ствол орудия был направлен строго на мишень под углом $\alpha = 60^\circ$ к горизонту.

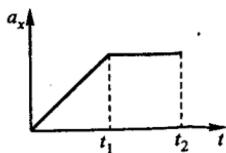


Рис. 38

1.6. Два тела находились на одинаковой высоте на расстоянии $s = 20$ м друг от друга. В некоторый момент времени одно тело отпустили, а второе бросили под углом $\alpha = 30^\circ$ к горизонту. Определите, на какое минимальное расстояние они сблизятся.

1.7. С какой высоты надо бросить тело в горизонтальном направлении, чтобы оно столкнулось в воздухе с другим телом, брошенным под углом $\alpha = 60^\circ$ к горизонту с той же начальной скоростью из точки, отстоящей на расстоянии $s = 1,0$ м по горизонтали от места бросания первого?

1.8. На наклонную плоскость, движущуюся горизонтально со скоростью $v = 1,0$ м/с, падает с некоторой высоты без начальной скорости шарик. Пролетев расстояние $h = 5,0$ см, он ударился о плоскость, отскочил и вновь упал на нее. Найдите расстояние между точками первого и второго ударов на плоскости. Удар абсолютно упругий. Наклон плоскости $\alpha = 45^\circ$.

1.9. Постройте график зависимости проекции вектора скорости тела от времени по графику проекции вектора ускорения (рис. 38). Начальная скорость $v_0 = 0$.

1.10. Баскетболист, находясь на расстоянии $s_1 = 10$ м от щита, бросает мяч под углом $\alpha = 45^\circ$ к горизонту со скоростью, равной $v_0 = 11$ м/с. Мяч ударяется о щит и упруго отскакивает. На каком расстоянии от щита баскетболист перехватит мяч? Соппротивлением воздуха пренебречь.

1.11. С колеса автомобиля, движущегося со скоростью v_0 , слетают комья грязи. Радиус колеса R . На какую высоту H над дорогой будет отбрасываться грязь? Изменится ли высота H , если колесо будет катиться с пробуксовкой?

Глава II

ДИНАМИКА

§ 5. Динамика прямолинейного движения

5.1. При каких условиях частица массой m движется: 1) равноускоренно; 2) равноускоренно прямолинейно?

5.2. Частица массой m движется равноускоренно вдоль оси x . Запишите уравнения движения в проекциях на оси x , y .

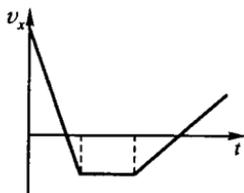


Рис. 39

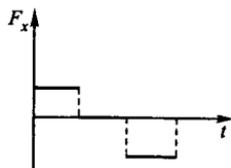


Рис. 40

5.3. На рис. 39 показана зависимость проекции вектора скорости от времени при движении тела массой m . Нарисуйте график зависимости проекции вектора силы, действующей на тело, от времени.

5.4. Проекция вектора силы, действующей на тело массой m , изменяется со временем (рис. 40). Нарисуйте графики зависимости проекции вектора скорости, координаты и пути от времени. Начальные условия: $x(0) = 0$, $v_x(0) = 0$.

5.5. По гладкой горизонтальной плоскости тянут груз с постоянной по величине силой за веревку, образующую с горизонтом угол: 1) α_1 ; 2) α_2 , $\alpha_1 > \alpha_2$. В каком случае он быстрее будет доставлен к месту назначения?

5.6. Могут ли силы $F_1 = 53$ Н и $F_2 = 5,0$ Н дать равнодействующую: 1) 48 Н; 2) 55 Н; 3) 17 Н; 4) 1,0 Н?

5.7. К телу приложены две силы: $F_1 = 15$ Н и $F_2 = 10$ Н (рис. 41). Определите сумму сил, действующих вдоль осей x и y .

5.8. Сила $F_3 = 10$ Н составляет с осью x угол $\alpha = 30^\circ$, силы F_1 и F_2 перпендикулярны оси x (рис. 42). Определите силу F_2 , если известно, что $F_1 = 5,0$ Н, а сумма сил вдоль оси y равна нулю. Чему равна сила, действующая вдоль оси x ?

5.9. На тело массой $m = 200$ г действуют две силы $F_1 = 300$ мН и $F_2 = 400$ мН, направленные под прямым углом друг к другу. Определите величину и направление ускорения тела.

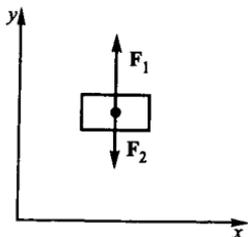


Рис. 41

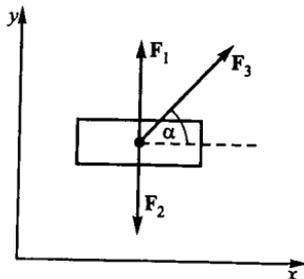
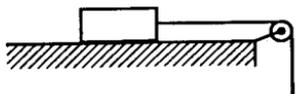


Рис. 42



Р и с. 43

5.10. Тело массой $m = 1,0$ кг движется с ускорением $a = 1,7$ м/с² под действием двух равных по значению сил, направленных под углом $\alpha = 60^\circ$ друг к другу. Определите их значение.

5.11. По гладкой горизонтальной плоскости движется груз массой $m = 10$ кг под действием силы $F = 50$ Н, направленной под углом $\alpha = 60^\circ$ к горизонту. Определите ускорение движения. С какой силой он давит на плоскость?

5.12. Тело массой $M = 2,0$ кг лежит на гладком горизонтальном столе (рис. 43). Определите, с каким ускорением оно начнет двигаться, если: 1) нить тянуть с силой $F = 9,8$ Н; 2) подвесить к нити груз массой $m = 1,0$ кг.

5.13. Какую горизонтальную силу необходимо приложить к бруску массой $m = 2,0$ кг, чтобы он равномерно перемещался вниз по гладкой наклонной плоскости, образующей угол $\alpha = 30^\circ$ с горизонтом?

5.14. С какой силой давит человек массой $m = 70$ кг на пол лифта, движущегося с ускорением $a = 0,80$ м/с²: 1) вверх; 2) вниз? С каким ускорением должен двигаться лифт, чтобы человек не давил на пол?

5.15. Для задачи 5.14 вычислите силу натяжения каната, удерживающего лифт массой $M = 300$ кг при подъеме: 1) ускоренном; 2) равномерном; 3) замедленном.

5.16. Определите, какой угол с вертикалью составляет нить с грузом, подвешенная на тележке, движущейся с ускорением $a = 3,0$ м/с².

5.17. Два груза массами $m_1 = 200$ г и $m_2 = 300$ г, связанные невесомой нерастяжимой нитью, лежат на гладкой горизонтальной поверхности стола. С каким ускорением они будут двигаться, если к грузу m_1 приложить силу $F = 1,5$ Н, направленную параллельно плоскости стола? Какую силу натяжения будет испытывать при этом нить, связывающая тела? Определите, чему будет равна сила натяжения нити, если силу F приложить ко второму грузу.

5.18. На гладкой горизонтальной плоскости находятся два тела, масса одного из которых $m_1 = 2,0$ кг, а другого $m_2 = 3,0$ кг, скрепленные недеформированной пружиной. На них действуют горизонтальные силы $F_1 = 8,0$ Н и $F_2 = 4,0$ Н, направленные в противоположные стороны. Определите жесткость пружины, если ее установившееся удлинение $\Delta l = 2,0$ см.

5.19. Два груза массами $m_1 = 1,0$ кг и $m_2 = 2,0$ кг подвешены на нитях, второй груз тянут с силой $F = 3,0$ Н (рис. 44). В некоторый момент верхнюю нить пережигают. Определите, с каким ускорением

начнут двигаться грузы. Чему равна сила натяжения нити, связывающей грузы 1 и 2?

5.20. К концам шнура, перекинутого через неподвижный блок, подвешены грузы массами $m_1 = 0,10$ кг и $m_2 = 0,15$ кг. Пренебрегая трением и считая шнур и блок невесомыми, а шнур нерастяжимым, определите ускорение, с каким они будут двигаться, силу натяжения шнура и показания динамометра, на котором висит блок.

5.21. Два одинаковых груза массами $M = 1,0$ кг связаны между собой нерастяжимой нитью, перекинутой через блок с неподвижной осью. На один из них кладут перегрузок массой $m = 400$ г. Определите, с какой силой будет давить перегрузок на груз.

5.22. Груз массой $m_1 = 3,0$ кг находится на гладкой наклонной плоскости с углом наклона $\alpha = 30^\circ$ и связан с грузом $m_2 = 2,0$ кг легкой нерастяжимой нитью, переброшенной через невесомый и неподвижный блок (рис. 45). Определите их ускорение, силу натяжения нити, силу давления на ось блока.

5.23. Определите силу натяжения нити и ускорение грузов в системе, показанной на рис. 46. Трением пренебречь.

5.24. Найдите ускорения a_1 и a_2 тел массами m_1 и m_2 и силу натяжения нити в системе, показанной на рис. 47. Массой блоков и нитей, а также трением пренебречь.

5.25. Найдите ускорение груза массой m и силу натяжения нити в системе, показанной на рис. 48. Массой блоков и нитей, а также трением пренебречь.

5.26. Определите ускорения грузов, показанных на рис. 49. Масса грузов $M = 5,0$ кг, $m = 1,0$ кг. Трением, массами блоков и нитей пренебречь.

5.27. Какую постоянную горизонтальную силу (рис. 50) нужно приложить к тележке массой $M = 1,0$ кг, чтобы грузы массами

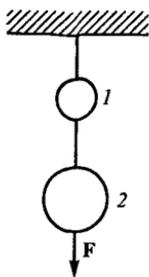


Рис. 44

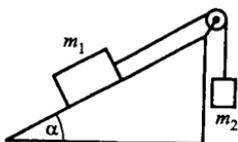


Рис. 45

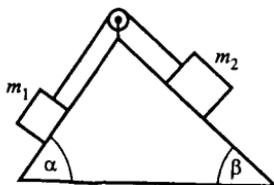


Рис. 46

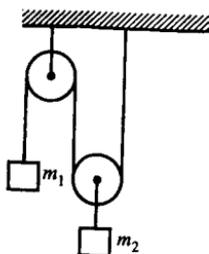
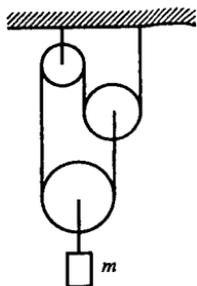
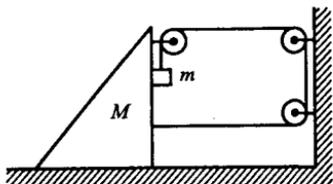


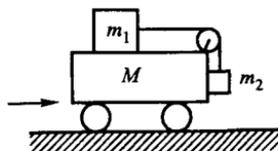
Рис. 47



Р и с. 48



Р и с. 49



Р и с. 50

$m_1 = 0,40$ кг и $m_2 = 0,20$ кг относительно нее не двигались? Трением пренебречь.

5.28. Тело массой $m = 1,0$ кг лежит на горизонтальной плоскости. Коэффициент трения $\mu = 0,10$. На него действует горизонтальная сила F . Определите силу трения для двух случаев: 1) $F = 0,5$ Н; 2) $F = 2,0$ Н. Изобразите графически, как меняется сила трения при изменении силы F .

5.29. Брусок массой $m = 2,0$ кг находится на горизонтальной поверхности. Коэффициент трения $\mu = 0,20$. Постройте график зависимости ускорения бруска от внешней горизонтальной силы F .

5.30. На тело массой $m = 0,50$ кг действует горизонтальная сила $f = 0,20$ Н. В противоположном направлении действует сила F . Коэффициент трения между телом и горизонтальной плоскостью $\mu = 0,10$. Изобразите графически зависимость силы трения от F .

5.31. Брусок находится на плоскости, угол наклона которой может меняться от 0 до 90° . Постройте график зависимости силы трения бруска о плоскость от угла наклона плоскости к горизонту. Коэффициент трения равен μ . Как с помощью такой плоскости определять коэффициенты трения между плоскостью и различными телами?

5.32. Тело массой m , находящееся на горизонтальной плоскости, тянут с силой $F < mg$. Коэффициент трения между телом и плоскостью μ . Постройте график зависимости силы трения от угла α между силой F и вертикалью.

5.33. На тело массой $m = 1,0$ кг, находящееся на горизонтальной плоскости, действует горизонтальная сила $F = 3,0$ Н. С какой минимальной горизонтальной силой F_{\min} надо подействовать в перпендикулярном направлении, чтобы оно начало скользить? Коэффициент трения тела о плоскость $\mu = 0,50$.

5.34. Магнит массой $m = 50$ г прилип к железной вертикальной стенке. Для его равномерного скольжения вниз прикладывают силу

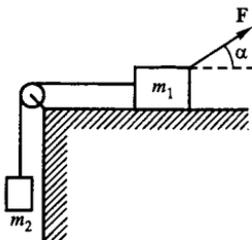


Рис. 51

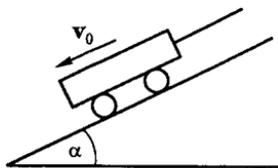


Рис. 52

$f = 2,0$ Н. Какую силу надо приложить, чтобы магнит начал скользить вверх?

5.35. Брусok массой $m = 3,0$ кг с помощью пружины тянут равномерно по доске, расположенной горизонтально. Какова жесткость пружины, если она удлинилась при этом на $l = 5,0$ см? Коэффициент трения бруска о плоскость $\mu = 0,25$.

5.36. Какова начальная скорость шайбы, пущенной по поверхности льда, если она остановилась через $t = 40$ с? Коэффициент трения шайбы о лед $\mu = 0,05$.

5.37. Тело массой $m = 100$ кг движется равномерно вверх по наклонной плоскости, образующей угол $\alpha = 30^\circ$ с горизонтом, под действием силы $F = 0,85$ кН, направленной вдоль плоскости. С каким ускорением оно будет скользить вниз, если его отпустить?

5.38. По горизонтальной плоскости движется тело под действием силы, направленной под углом $\alpha = 30^\circ$ к горизонту. Коэффициент трения между телом и плоскостью равен $\mu = 0,10$. Определите отношение действующей силы к силе тяжести, если оно движется с постоянной скоростью.

5.39. За какое время тело соскользнет с наклонной плоскости высотой $h = 5,0$ м, наклоненной под углом $\alpha = 45^\circ$ к горизонту, если по наклонной плоскости с углом наклона $\beta = 30^\circ$ оно движется равномерно?

5.40. Определите ускорение тел в системе, показанной на рис. 51. Коэффициент трения между телом m_1 и плоскостью $\mu = 0,10$. Трением в блоке, массами блока и нити пренебречь. Масса $m_1 = 1,5$ кг, $m_2 = 0,50$ кг, сила $F = 10$ Н. Угол α между силой F и горизонтом равен 30° .

5.41. По наклонной дороге с углом наклона $\alpha = 30^\circ$ к горизонту (рис. 52) опускается вагонетка массой $M = 500$ кг. Определите силу натяжения каната при торможении вагонетки в конце спуска, если ее

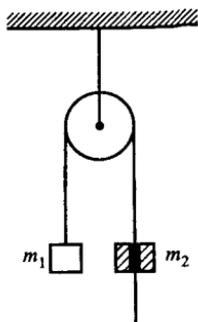


Рис. 53

скорость перед торможением была $v_0 = 2,0$ м/с, а время торможения $t = 5,0$ с. Коэффициент трения принять равным $\mu = 0,010$.

5.42. По наклонной плоскости, составляющей угол $\alpha = 10^\circ$ с горизонтом, пускают вверх шайбу, которая, поднявшись на некоторую высоту, соскальзывает по тому же пути вниз. Определите коэффициент трения шайбы о плоскость, если время спуска в $n = 3,0$ раза больше времени подъема.

5.43. Через легкий вращающийся без трения блок перекинут шнурок. На одном его конце привязан груз массой m_1 . По другому концу может скользить кольцо массой m_2 (рис. 53). С каким ускорением движется кольцо, если груз m_1 неподвижен? Чему равна сила трения кольца о шнурок?

5.44. На верхнем крае наклонной плоскости укреплен блок, через который перекинута нить (см. рис. 45). К одному ее концу привязан груз массой $m_1 = 2,0$ кг, лежащий на наклонной плоскости. На другом конце висит груз массой $m_2 = 1,1$ кг. Наклонная плоскость образует с горизонтом угол $\alpha = 30^\circ$, коэффициент трения между грузом и наклонной плоскостью $\mu = 0,10$. Найдите ускорение, с которым движутся грузы, и силу натяжения нити.

5.45. Доска массой M может двигаться без трения по наклонной плоскости с углом α к горизонту. В каком направлении и с каким ускорением должна бежать по ней собака массой m , чтобы доска не соскальзывала с наклонной плоскости?

5.46. Через неподвижный блок перекинута веревка, к одному из концов которой привязан груз массой $m_1 = 60$ кг. На другом конце повисла обезьяна массой $m_2 = 65$ кг, которая, выбирая веревку, поднимает груз, оставаясь при этом на одном и том же расстоянии от пола. Через сколько времени груз будет поднят на высоту $h = 12$ м? Массами веревки и блока пренебречь.

5.47. С гладкой наклонной плоскости с углом при основании $\alpha = 30^\circ$ соскальзывает клин, верхняя грань которого горизонтальна. На нем лежит брусок массой $m = 100$ г. Определите силу трения между клином и бруском, а также силу давления бруска на клин.

5.48. На вершину клина, образующего угол $\alpha = 45^\circ$ с горизонтом, положили брусок. Коэффициент трения между бруском и клином $\mu = 0,25$. С каким ускорением нужно двигать клин вдоль горизонтальной плоскости, чтобы брусок не скользил относительно клина вниз?

5.49. Автомобиль начал двигаться с ускорением $a_1 = 2,0 \text{ м/с}^2$. При скорости $v = 70 \text{ км/ч}$ ускорение стало равным $a_2 = 1,0 \text{ м/с}^2$. Определите, с какой установившейся скоростью он будет двигаться, если сила тяги двигателя остается постоянной, а сила сопротивления пропорциональна скорости.

5.50. Парашютист с раскрытым парашютом падает с установившейся скоростью $v_2 = 2,0 \text{ м/с}$. Определите, какое ускорение у него было после раскрытия парашюта в момент, когда скорость $v_1 = 3,0 \text{ м/с}$.

§ 6. Динамика криволинейного движения

6.1. Какова траектория частицы массой m при следующих условиях: 1) $F = \text{const}$; 2) $F = \text{const}$ и модуль скорости $v = \text{const}$?

6.2. Частица массой m движется по окружности радиусом R с постоянной по величине скоростью v . Запишите закон движения в проекциях на направления касательной и нормали к траектории.

6.3. Тело массой m движется по окружности радиусом R так, что модуль вектора скорости изменяется по закону, изображенному на рис. 54. Постройте график зависимости тангенциальной составляющей F_τ , действующей на него, от времени. Укажите направление силы F , действующей на тело относительно скорости его движения в интервалы времени: 1) $0 \leq t \leq t_1$; 2) $t_1 \leq t \leq 2t_1$; 3) $2t_1 \leq t \leq 3t_1$.

6.4. Спутник движется вокруг Земли по эллиптической орбите (рис. 55). Направление движения показано стрелкой. Укажите для точек 1, 2, 3 направление силы, действующей на спутник. Что можно сказать о знаке a_τ в этих точках?

6.5. Гладкий горизонтальный диск равномерно вращается вокруг вертикальной оси. На его поверхности находятся грузы 1 и 2, удерживаемые двумя нитями (рис. 56). Масса груза 1 в два раза меньше массы груза 2, а расстояние от оси вращения в два раза больше, чем у груза 2. Определите, какая из нитей испытывает большую силу натяжения и во сколько раз.

6.6. Гладкий горизонтальный диск вращается вокруг вертикальной оси с частотой $n = 480 \text{ мин}^{-1}$. На его поверхности лежит шар мас-

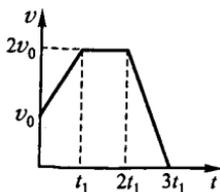


Рис. 54

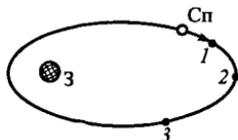


Рис. 55

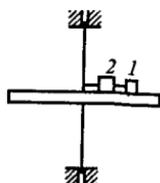


Рис. 56

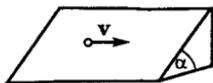


Рис. 57

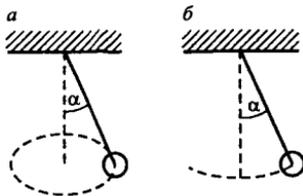


Рис. 58

сой $m = 0,10$ кг, прикрепленный к центру диска пружиной, жесткость которой равна $k = 1,5$ кН/м. Определите, какую длину будет иметь пружина при вращении диска, если ее длина в недеформированном состоянии $l_0 = 20$ см.

6.7. Горизонтально расположенный диск вращается вокруг вертикальной оси с частотой $n = 30$ мин⁻¹. Наибольшее расстояние от оси вращения, на котором удерживается тело на диске, $l = 20$ см. Определите коэффициент трения тела о диск.

6.8. На наклонной плоскости, составляющей угол $\alpha = 30^\circ$ с горизонтом, лежит монета. Ей сообщили скорость $v = 2,0$ м/с параллельно основанию наклонной плоскости (рис. 57). Определите кривизну траектории, по которой она движется, в начальный момент времени.

6.9. Шар массой m подвешен на нити длиной l . На рис. 58 показаны два различных движения шара по окружности: а) в горизонтальной плоскости (равномерное вращение); б) в вертикальной плоскости (неравномерное вращение). Для каждого положения найдите силу натяжения нити, модуль и направление ускорения, линейную и угловую скорости.

6.10. На рис. 58, а изображен конический маятник, состоящий из шарика, прикрепленного к нити и описывающего окружность в горизонтальной плоскости. Масса шарика $m = 100$ г, длина нити $l = 40$ см, угол отклонения от вертикали $\alpha = 60^\circ$. Найдите угловую скорость шарика и силу натяжения нити.

6.11. Математический маятник имеет массу m и длину l . В момент, когда он образует угол α с вертикалью, его скорость равна v . Определите, какова в этот момент сила натяжения нити.

6.12. Груз, подвешенный на нити длиной $l = 98$ см, равномерно вращается по окружности в горизонтальной плоскости. Найдите период обращения груза, если при его вращении нить отклонена от вертикали на угол $\alpha = 60^\circ$.

6.13. На нити длиной $l = 1,0$ м подвешено тело массой $m = 100$ г. Определите, как относятся ускорения, с которыми оно будет вра-

шаться, в случаях, если нить образует с вертикалью углы $\alpha_1 = 30^\circ$ и $\alpha_2 = 60^\circ$. Каково при этом отношение линейных скоростей тела?

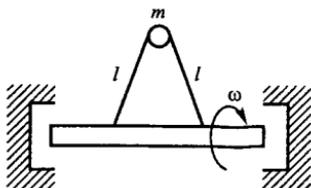


Рис. 59

6.14. Шарик массой $m = 100$ г вращается на нити в вертикальной плоскости с постоянной по величине скоростью. Определите, на сколько отличается сила натяжения нити в нижней и верхней точках траектории.

6.15. Горизонтальный вал вращается с угловой скоростью ω (рис. 59). Шарик массой m прикреплен к валу с помощью двух нитей длиной l . Определите силу их натяжения, пренебрегая силой тяжести шарика.

6.16. Определите силу, с которой мотоциклист массой m , движущийся со скоростью v , давит на середину моста в случае: 1) горизонтального моста; 2) выпуклого моста радиусом R ; 3) вогнутого моста радиусом R .

6.17. Определите, как относятся друг к другу силы, с которыми автомобиль давит на середину выпуклого и вогнутого мостов. Радиус кривизны моста в обоих случаях равен $R = 40$ м. Скорость движения автомобиля $v = 36$ км/ч.

6.18. По выпуклому мосту, радиус кривизны которого $R = 90$ м, со скоростью $v = 54$ км/ч движется автомобиль массой $m = 2,0$ т. Определите, в какой точке сила давления автомобиля на мост равна $F = 5,0$ кН.

6.19. Автомобиль движется по выпуклому мосту радиусом $R = 40$ м. Определите, какое максимальное горизонтальное ускорение он может развить в высшей точке, если его скорость в этой точке $v = 50,4$ км/ч, а коэффициент трения колес о мост $\mu = 0,60$.

6.20. Самолет с реактивным двигателем летит со скоростью $v = 1\,440$ км/ч. Считая, что человек может переносить пятикратное увеличение веса, определите минимальный радиус окружности, по которой может двигаться самолет в вертикальной плоскости.

6.21. Поезд движется по закруглению радиусом $R = 756$ м со скоростью $v = 72$ км/ч. Определите, на сколько внешний рельс должен быть выше внутреннего. Расстояние между рельсами принять $b = 1,5$ м.

6.22. Определите, с какой максимальной скоростью может двигаться по горизонтальной плоскости мотоциклист, описывая дугу радиусом $R = 90$ м, если коэффициент трения резины о дорогу $\mu = 0,40$. На какой угол от вертикали он должен при этом отклониться?

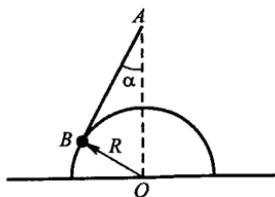


Рис. 60

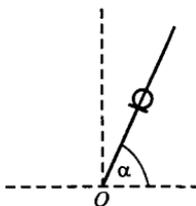


Рис. 61

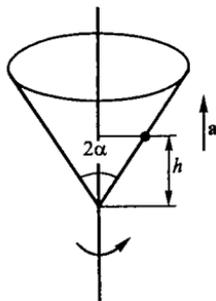


Рис. 62

6.23. Определите, с какой скоростью должен двигаться мотоциклист по гладкому треку с углом наклона $\alpha = 30^\circ$ и радиусом закругления $R = 90$ м. С какой максимальной скоростью он может двигаться по треку с тем же углом наклона и радиусом закругления, если коэффициент трения $\mu = 0,40$?

6.24. Шарик массой $m = 100$ г, подвешенный на легкой нити, образующей угол $\alpha = 30^\circ$ с вертикалью, лежит на гладкой полусфере радиусом $R = 10$ см (рис. 60). Треугольник ABO прямоугольный. Шарику сообщили скорость $v = 0,50$ м/с перпендикулярно плоскости чертежа, и он стал скользить по полусфере, описывая окружность. Определите, чему равна сила давления шарика на полусферу во время движения. При каком значении скорости она станет равной нулю?

6.25. Гладкий стержень наклонен под углом $\alpha = 30^\circ$ к горизонту (рис. 61) и может вращаться вокруг вертикальной оси, проходящей через нижний конец стержня O . На него надета бусинка, которая упирается в ограничитель на расстоянии $l = 6,0$ см от точки O . Определите, с какой угловой скоростью надо вращать стержень, чтобы бусинка слетела.

6.26. На краю наклонной плоскости с углом наклона α лежит тело. Плоскость равномерно вращается вокруг вертикальной оси с угловой скоростью ω . Расстояние от тела до оси вращения плоскости равно R . Найдите наименьший коэффициент трения μ , при котором оно удержится на вращающейся наклонной плоскости.

6.27. Внутри конуса, установленного в лифте, поднимающимся вертикально вверх с ускорением a , находится небольшое тело. Конус имеет при вершине угол 2α и равномерно вращается вокруг своей оси (рис. 62). Определите, при каких значениях угловой скорости тело бу-

дет находиться на высоте h . Коэффициент трения между телом и поверхностью конуса $\mu < \operatorname{tg} \alpha$.

6.28. Шар радиусом R вращается с угловой скоростью ω вокруг вертикального диаметра. На расстоянии R от вершины шара на грани скольжения находится небольшая шайба. Определите коэффициент трения между шайбой и шаром.

6.29. Определите, с какой горизонтальной скоростью надо бросить тело, чтобы оно стало искусственным спутником Земли.

6.30. Определите, в каком направлении и с какой горизонтальной скоростью должен лететь вдоль экватора самолет, чтобы скомпенсировать уменьшение веса, обусловленное вращением Земли.

6.31. Искусственный спутник, используемый в системе телесвязи, запущен так, что все время находится в зените одной и той же точки земного шара. Определите, во сколько раз радиус орбиты спутника больше радиуса Земли.

6.32. Определите, на какой высоте скорость искусственного спутника Земли в $n = 2,0$ раза меньше первой космической скорости.

6.33. Искусственный спутник Земли запущен в плоскости экватора в направлении с запада на восток и вращается по круговой орбите радиусом $R = 2R_3$. Определите, через какой промежуток времени и с какой скоростью спутник в первый раз пройдет над точкой запуска.

6.34. Определите угловую и линейную скорости искусственного спутника Земли, период обращения которого $T = 4,0$ ч.

6.35. Спутник движется по круговой орбите на высоте $h = 540$ км над поверхностью Земли. Определите, на сколько изменится его скорость при переходе на орбиту, радиус которой вдвое больше исходной.

6.36. Определите, на какую высоту над поверхностью Земли следует запустить спутник, чтобы он оставался неподвижным относительно ее поверхности.

6.37. Определите плотность шарообразной планеты, если вес тела на полюсе в $n = 2,0$ раза больше, чем на экваторе. Период обращения планеты вокруг своей оси $T = 2$ ч 40 мин.

6.38. Покажите, что квадраты периодов обращения различных планет вокруг Солнца относятся, как кубы радиусов орбит вращения.

6.39. Радиус орбиты Нептуна в $n = 30$ раз больше радиуса орбиты Земли. Какова продолжительность года на Нептуне?

6.40. Две звезды массами m_1 и m_2 находятся на постоянном расстоянии l друг от друга. Определите радиусы окружностей и периоды обращения звезд.

§ 7. Импульс. Закон сохранения импульса

7.1. В системе из произвольного числа N частиц, движущихся в одной плоскости, известны массы m_i и скорости v_i всех образующих ее частиц. Определите импульс системы: 1) в векторной форме; 2) в проекциях на оси x, y декартовой системы координат.

7.2. Определите положение центра масс системы из двух частиц с одинаковыми массами (рис. 63).

7.3. Чему равен импульс системы частиц в системе отсчета, связанной с ее центром масс?

7.4. Тело брошено под углом к горизонту. Сохраняется ли: 1) импульс тела; 2) проекция импульса на какое-либо направление?

7.5. Тело массой m брошено со скоростью v_0 под углом α к горизонту. Найдите приращение импульса тела за время: 1) подъема; 2) полета.

7.6. Тело движется по окружности с постоянной по величине скоростью. Определите, через какое время (в долях периода) модуль вектора изменения импульса становится равным: 1) модулю вектора импульса; 2) удвоенному модулю вектора импульса; 3) нулю.

7.7. Тело массой m равномерно движется по окружности со скоростью v . Найдите изменение импульса тела при повороте на: 1) 60° ; 2) 90° ; 3) 180° ; 4) 360° .

7.8. Два тела массами $m_1 = 500$ г и $m_2 = 300$ г движутся навстречу друг другу. Скорость первого $v_1 = 3,0$ м/с, их суммарный импульс равен нулю. Определите скорость второго тела.

7.9. Два одинаковых шарика массами $m = 20$ г движутся в горизонтальной плоскости с одинаковыми скоростями $v = 4,0$ м/с: 1) вдоль одной прямой один за другим; 2) вдоль одной прямой навстречу друг другу; 3) под углом 45° друг к другу; 4) под углом 120° друг к другу. Определите суммарный импульс системы во всех случаях.

7.10. На покоящееся тело начала действовать сила, изменяющаяся со временем по закону, изображенному на рис. 64. Сравните импульсы тела в моменты времени t_1 и t_2 . Нарисуйте графики зависимости ускорения и скорости от времени.

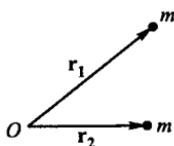


Рис. 63

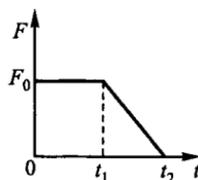
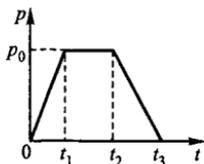
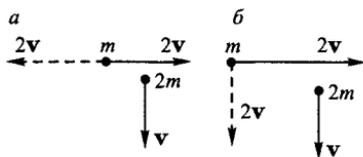


Рис. 64



Р и с. 65



Р и с. 66

7.11. На рис. 65 показана зависимость импульса тела от времени. Нарисуйте график зависимости силы, действующей на тело, от времени.

7.12. Футболист, ударяя по мячу массой $m = 700$ г, сообщает ему скорость $v = 15$ м/с. Считая длительность удара равной $\tau = 20$ мс, определите его среднюю силу.

7.13. Определите, каково среднее давление на плечо при стрельбе из автомата, если масса пули $m = 10$ г, а ее скорость при вылете из канала ствола $v = 300$ м/с. Автомат делает $n = 300$ выстрелов в минуту.

7.14. На легкой нерастяжимой нити длиной $l = 50$ см подвешен шарик массой $m_1 = 100$ г. Пуля массой $m_2 = 20$ г, летевшая горизонтально со скоростью $v = 15$ м/с, попадает в него и застревает. Определите натяжение нити сразу после соударения.

7.15. Тело массой $m = 1,0$ кг, брошенное с вышки под углом $\alpha = 30^\circ$ к горизонту со скоростью $v_0 = 10$ м/с, упало на землю. Определите высоту вышки, если за все время движения импульс тела изменился на $\Delta p = 50$ кг · м/с.

7.16. Во время праздничного салюта снаряд, выпущенный вертикально вверх, разорвался в верхней точке траектории на два равных осколка. Через время $t = 0,25$ с расстояние между осколками стало равным $s = 15$ м. Определите их скорость сразу после взрыва.

7.17. Тело массой $m = 1,0$ кг, брошенное с вышки в горизонтальном направлении со скоростью $v_0 = 20$ м/с, упало на землю через время $t = 3,0$ с. Определите место и скорость падения и изменение импульса тела за все время движения.

7.18. Шарик массой $m = 10$ г падает на горизонтальную плоскость с высоты $h_1 = 22,5$ см. Определите среднюю силу удара в следующих случаях: 1) шарик пластилиновый, прилипает к плоскости; 2) шарик стальной, после удара отскакивает на высоту h_1 ; 3) шарик пластмассовый, после удара отскакивает на высоту $h_2 = 11$ см. Длительность удара во всех случаях считать одинаковой и равной $t = 30$ мс.

7.19. Две частицы массами m и $2m$ движутся во взаимно перпендикулярных направлениях со скоростями соответственно $2v$ и v (рис. 66).

На них начинает действовать одинаковая сила. Определите модуль и направление скорости частицы массой $2m$ в момент времени, когда скорость частицы массой m стала такой, как показано пунктиром: 1) на рис. 66, а; 2) на рис. 66, б.

7.20. Колесо массой $m = 3,0$ кг катится без проскальзывания по горизонтальной плоскости со скоростью $v = 5,0$ м/с. Определите его импульс.

7.21. По условию задачи 5.46 рассчитайте импульс, который будет иметь система груз — обезьяна через $t = 1,0$ с после начала движения.

7.22. Пожарный направляет струю воды из брандспойта на огонь. Скорость истечения воды $v = 16$ м/с, площадь отверстия брандспойта $S = 5,0$ см². Определите силу, с которой пожарный удерживает брандспойт.

7.23. Тело массой $m_1 = 100$ г скользит по абсолютно гладкой горизонтальной плоскости со скоростью $v = 3,0$ м/с. На своем пути оно встречает неподвижное тело массой $m_2 = 200$ г. Определите скорость тел, если после удара они движутся как одно целое. Изобразите силы, действующие на них во время удара. Какие силы являются внутренними, какие внешними для этой системы двух тел?

7.24. Два тела, двигаясь навстречу друг другу со скоростью $v = 3,0$ м/с каждое, после соударения стали двигаться вместе со скоростью $u = 1,5$ м/с. Определите отношение их масс. Трением пренебречь.

7.25. Тележка с песком массой $M = 10$ кг катится со скоростью $v_1 = 1,0$ м/с. Навстречу ей летит шар массой $m = 2,0$ кг с горизонтальной скоростью $v_2 = 7,0$ м/с. С какой скоростью (и в каком направлении) будет продолжаться движение тележки с застрявшим в песке шаром?

7.26. По абсолютно гладкой поверхности движется со скоростью $v = 6,0$ м/с ящик с песком массой $M = 9,0$ кг. В песок попадает гиря массой $m = 1,0$ кг, отпущенная без начальной скорости с 10-метровой высоты. Определите скорость ящика после попадания в него гири.

7.27. Определите, с какой скоростью после горизонтального выстрела из винтовки стал двигаться стрелок, стоящий на гладком льду. Масса стрелка с винтовкой $M = 70$ кг, а пули $m = 10$ г и ее начальная скорость $v_0 = 700$ м/с.

7.28. Используя условие задачи 7.27, определите, с какой скоростью стал двигаться стрелок, если он сделал два выстрела: 1) в одном и том же направлении; 2) второй выстрел в направлении, перпендикулярном первому.

7.29. Железнодорожная платформа массой $M = 20$ т движется со скоростью $v_1 = 9,0$ км/ч. Из орудия, установленного на платформе,

выпущен снаряд массой $m = 25$ кг со скоростью $v_2 = 700$ м/с относительно орудия. Определите скорость платформы сразу после выстрела, если он произведен: 1) в направлении движения платформы; 2) в противоположном направлении.

7.30. Из старинной пушки, не имеющей противооткатного устройства, стреляют ядром под углом $\alpha = 40^\circ$ к горизонту. Масса ядра $m = 10$ кг, начальная скорость $v_0 = 200$ м/с. Определите скорость отката пушки, если ее масса $M = 500$ кг. Трение не учитывать.

7.31. Тело массой $M = 300$ г падает свободно с высоты $H = 10$ м. На высоте $h = H/2$ в него попадает и застревает пуля массой $m = 10$ г, летевшая горизонтально со скоростью $v_0 = 400$ м/с. Найдите скорость тела и угол, который образует вектор скорости с горизонталью в момент после соударения.

7.32. Три лодки с одинаковой массой m идут в кильватер (друг за другом) с одинаковой скоростью v . Из средней лодки одновременно в переднюю и заднюю бросают со скоростью u относительно лодки грузы массой m_1 . Определите, каковы будут их скорости после перебриски грузов.

7.33. Снаряд в верхней точке траектории разрывается на два осколка равной массы. Один после взрыва возвращается к орудью по прежней траектории. Определите, где упадет второй осколок. Сопротивление воздуха не учитывать.

7.34. Снаряд разрывается в верхней точке траектории на высоте $H = 15,9$ м на две одинаковые части. Через время $t = 3,0$ с после взрыва одна часть падает на землю под тем местом, где произошел взрыв. Определите, с какой скоростью и под каким углом к горизонту начала двигаться вторая часть снаряда после взрыва, если первая упала на расстоянии $l = 636$ м от места выстрела. Сопротивление воздуха не учитывать.

7.35. По наклонной плоскости, составляющей угол α с горизонтом, начинает скользить без трения ящик с песком массой M . В тот момент, когда он прошел путь l , в него попало тело массой m , двигавшееся горизонтально. Ящик при этом остановился. Определите, с какой скоростью двигалось тело.

7.36. По наклонной плоскости с углом $\alpha = 30^\circ$ при основании равномерно скользит ящик с песком массой $M = 10$ кг со скоростью $v = 1,0$ м/с. Когда в него попадает пуля массой $m = 10$ г, летевшая горизонтально, ящик останавливается. Определите скорость пули.

7.37. Рыбак, сидящий в лодке, бросает камень массой $m = 1,0$ кг под углом $\alpha = 45^\circ$ к горизонту со скоростью $v = 8,0$ м/с. Масса рыбака

и лодки $M = 140$ кг. Определите расстояние между точкой падения камня и лодкой в момент, когда камень коснулся воды.

7.38. Человек массой $m = 70$ кг стоит на корме лодки, находящейся в озере. Длина лодки $l = 5,0$ м, масса $M = 280$ кг. Человек переходит на нос. Определите, на какое расстояние он переместится относительно дна. Сопротивлением воды пренебречь.

7.39. Клин массой $M = 1,5$ кг лежит на абсолютно гладкой поверхности. С его вершины с углом $\alpha = 45^\circ$ при основании с высоты $H = 20$ см начинает скользить тело массой $m = 0,50$ кг. Определите, на какое расстояние переместится клин, когда тело окажется у его основания.

7.40. Человек захотел спуститься по веревочной лестнице из свободно висящего аэростата массой $M = 350$ кг. Определите, какой минимальной длины веревочную лестницу он должен привязать к гондоле аэростата, чтобы, ступая на последнюю ступеньку, коснуться земли. Масса человека $m = 70$ кг. Расстояние от земли до аэростата $H = 10$ м.

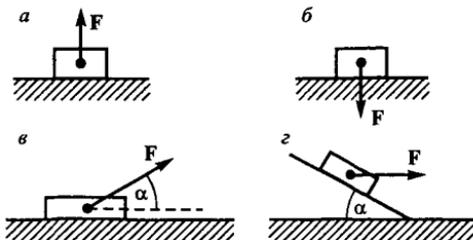
§ 8. Механическая работа. Мощность. Механическая энергия

8.1. Напишите известные вам выражения для работы постоянной силы.

8.2. Тело движется по плоскости. Какую работу совершит сила $F = 20$ Н, когда тело пройдет путь $s = 5,0$ м (рис. 67)? Угол $\alpha = 30^\circ$.

8.3. По графикам зависимости проекции вектора силы от координаты определите работу этой силы (рис. 68) при перемещении тела вдоль оси x на 5,0 и 10 см.

8.4. Постоянная сила совершает работу. График зависимости работы от времени дан на рис. 69. Каков характер движения в каждом из двух случаев? Постройте графики зависимости мощности от времени.



Р и с. 67

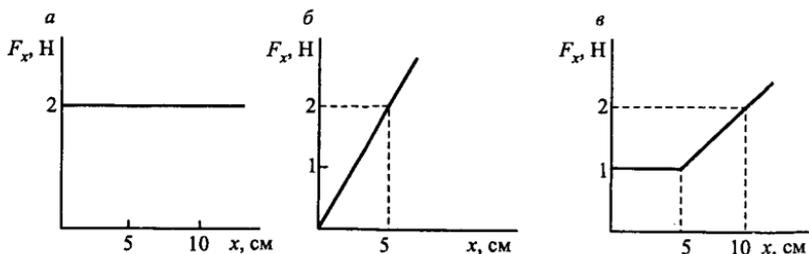


Рис. 68

8.5. На графике (рис. 70) представлена зависимость работы постоянной силы от времени. Постройте графики зависимостей мощности и скорости тела от времени.

8.6. При испытании автомобильного двигателя получили зависимость его мощности от времени (рис. 71). По графику определите работу за весь период испытания.

8.7. Тело бросили с начальной скоростью v_0 под углом α к горизонту. Определите работу силы тяжести над телом и приращение его кинетической энергии: 1) до верхней точки траектории; 2) за все время полета.

8.8. Тело брошено с начальной скоростью v_0 под углом α к горизонту. Найдите зависимости его кинетической, потенциальной и полной механической энергии от времени.

8.9. Тело находится в поле упругой силы. Нарисуйте график зависимости потенциальной энергии от смещения тела относительно положения равновесия.

8.10. Тело находится в поле силы тяготения. Нарисуйте график зависимости потенциальной энергии от расстояния между центрами масс двух притягивающихся тел.

8.11. Тело находится в поле силы тяжести. Нарисуйте график зависимости потенциальной энергии от высоты над поверхностью земли.

8.12. Тело массой $m = 2,0$ кг движется равномерно по горизонтальной поверхности под действием силы F , направленной под углом

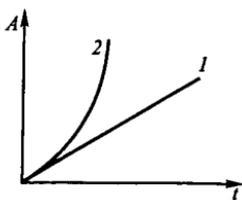


Рис. 69

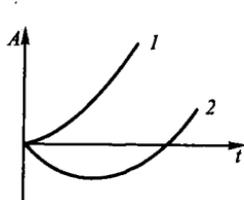


Рис. 70

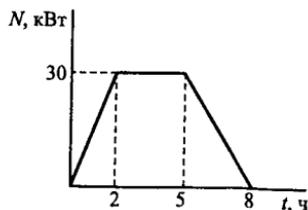


Рис. 71

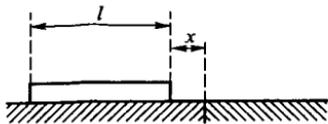


Рис. 72

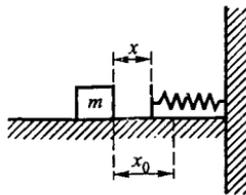


Рис. 73

$\alpha = 60^\circ$ к горизонту. Коэффициент трения между телом и плоскостью $\mu = 0,20$. Определите работу: 1) силы тяжести; 2) силы реакции опоры; 3) силы трения; 4) силы F , когда тело пройдет расстояние $s = 1,0$ м.

8.13. Лифт массой $m = 300$ кг поднимается на высоту $h = 10$ м. Определите работу, совершенную: 1) силой натяжения каната, поднимающего лифт; 2) силой тяжести.

8.14. Моторная лодка движется против течения горной реки. Сила тяги двигателя $F = 2,0$ кН, скорость течения реки $v = 5,0$ м/с. Лодка относительно берега остается неподвижной. Совершает ли работу сила тяги двигателя? Если совершает, то чему она равна за $\tau = 5,0$ с? Определите мощность двигателя.

8.15. Доска массой $m = 3,0$ кг и длиной $l = 1,0$ м лежит на расстоянии x от двух соприкасающихся полуплоскостей из разных материалов (рис. 72). Определите, какую работу надо совершить, чтобы передвинуть доску на вторую полуплоскость, в случаях: 1) $x = 0$, $\mu_1 = \mu_2 = 0,10$; 2) $x = 0$, $\mu_1 = 0$, $\mu_2 = 0,10$; 3) $x = 10$ см, $\mu_1 = 0,10$, $\mu_2 = 0,20$.

8.16. На горизонтальной плоскости лежит груз массой $m = 100$ г на расстоянии x от пружины жесткостью $k = 100$ Н/м (рис. 73). Коэффициент трения между телом и плоскостью μ . Определите, какую работу надо совершить, чтобы передвинуть груз на $x_0 = 3,0$ см, в случаях: 1) $x = 0$, $\mu = 0$; 2) $x = 1,0$ см, $\mu = 0,10$.

8.17. Определите, какая работа была совершена при сжатии буферной пружины железнодорожного вагона на $l_1 = 5,0$ см, если для ее сжатия на $l_2 = 1,0$ см требуется сила $F = 30$ кН.

8.18. Представим, что к центру Земли прорыли шахту. Определите, какую работу потребуется совершить, чтобы вытащить тело массой $m = 1,0$ кг из центра Земли на поверхность.

8.19. Тормозной путь автомобиля, движущегося со скоростью $v_1 = 60$ км/ч, равен $s_1 = 10$ м. Определите тормозной путь этого же автомобиля, движущегося со скоростью $v_2 = 120$ км/ч.

8.20. Автомобиль массой $M = 1,0$ т трогается с места и, двигаясь равноускоренно, проходит путь $s = 50$ м за $t = 5,0$ с. Определите, какую мощность он развивает.

8.21. Два автомобиля одновременно трогаются с места и движутся равноускоренно. Их массы одинаковы. Определите, во сколько раз мощность первого автомобиля больше мощности второго, если за одно и то же время первый автомобиль развивает скорость вдвое большую, чем второй. Сопротивлением пренебречь.

8.22. Определите среднюю полезную мощность при выстреле из гладкоствольного ружья, если известно, что пуля массой m вылетает из ствола со скоростью v_0 , а длина канала ствола l (давление пороховых газов считать постоянным во время нахождения пули в канале ствола).

8.23. Двигатели электровоза при движении его со скоростью $v = 72$ км/ч потребляют мощность $N = 800$ кВт, КПД силовой установки электровоза $\eta = 80$ %. Определите силу тяги двигателей.

8.24. Маховик радиусом R вращается с частотой n , передавая ремнем приводу мощность N . Найдите силу натяжения ремня, идущего без скольжения.

8.25. Под действием постоянной горизонтальной силы $F = 10$ Н движется тело массой $m = 5,0$ кг. Коэффициент трения между телом и плоскостью $\mu = 0,10$. Определите работу: 1) силы трения и 2) силы F к тому моменту, когда тело пройдет путь $s = 10$ м.

8.26. Тело массой $m = 2,0$ кг свободно падает с высоты $h = 10$ м. Определите: 1) среднюю мощность, развиваемую силой тяжести за время падения тела на землю; 2) мгновенное значение этой мощности на высоте $h/2$.

8.27. Тело массой $m = 100$ кг с постоянной скоростью втаскивают на наклонную плоскость, образующую угол $\alpha = 45^\circ$ с горизонтом, постоянной силой, направленной параллельно плоскости. Определите работу: 1) этой силы; 2) силы тяжести; 3) силы реакции опоры к тому моменту, когда тело поднимут на высоту $h = 10$ м.

8.28. На тело массой $m = 10$ кг действует постоянная сила $F = 5,0$ Н. Определите его кинетическую энергию через $t = 2,0$ с после начала движения. Сопротивлением пренебречь.

8.29. Определите, какую работу надо совершить, чтобы заставить автомобиль массой $m = 1,5$ т: 1) увеличить скорость от 0 до 36 км/ч; 2) от 36 до 72 км/ч. Сопротивлением пренебречь.

8.30. Металлический шарик массой $m = 100$ г равномерно движется в горизонтальной плоскости по окружности радиусом $R = 50$ см с частотой $n_1 = 3,0$ с⁻¹. Определите, какую работу нужно совершить, чтобы увеличить частоту до $n_2 = 5,0$ с⁻¹.

8.31. Определите, какую работу нужно было бы совершить, чтобы вывести спутник массой $m = 500$ кг на круговую орбиту, проходящую вблизи поверхности Земли, если бы сопротивление воздуха отсутствовало.

8.32. Определите кинетическую энергию тела массой $m = 1,0$ кг, брошенного горизонтально со скоростью $v = 20$ м/с, в конце четвертой секунды его движения.

8.33. Определите кинетическую энергию колеса, движущегося без проскальзывания со скоростью $v = 5,0$ м/с. Масса колеса $m = 2,0$ кг сосредоточена в ободе.

8.34. Тело, брошенное вертикально вверх, упало обратно через $t = 4,0$ с после начала движения. Определите кинетическую энергию в момент падения и потенциальную энергию в верхней точке, если его масса $m = 200$ г.

8.35. По канатной железной дороге, идущей с углом наклона $\alpha = 45^\circ$ к горизонту, поднимается вагонетка массой $m = 500$ кг. Найдите работу, которую совершает мотор подъемника, при поднятии ее на высоту $h = 10$ м. Коэффициент трения примите равным $\mu = 0,10$.

8.36. Тележка движется по горизонтальной дороге со скоростью $v = 18$ км/ч и въезжает на подъем. Определите, на какой высоте над уровнем дороги она остановится. Сопротивлением пренебrecь.

8.37. Кинетическая энергия тела в момент бросания составляет $E_k = 200$ Дж. Определите, до какой высоты от поверхности земли может подняться тело, если его масса равна $m = 800$ г.

8.38. На нити длиной l подвешен шар. Определите, какую горизонтальную скорость нужно ему сообщить, чтобы он отклонился до высоты точки подвеса.

8.39. Пружина жесткостью $k = 100$ кН/м массой $m = 400$ г падает на землю с высоты $h = 5,0$ м. Определите, на сколько она сожмется, если при ударе ее ось остается вертикальной.

8.40. Тело брошено под углом к горизонту со скоростью v_0 . Пользуясь законом сохранения механической энергии, определите его скорость на высоте h над горизонтом.

8.41. Тело брошено вертикально вверх со скоростью $v_0 = 20$ м/с. Определите, на какой высоте h от точки бросания его кинетическая энергия равна потенциальной.

8.42. Нить с подвешенным на ней грузом отклонили на угол α и отпустили. Определите, на какой угол β отклонится нить с грузом, если при своем движении она будет задержана штифтом, поставленным на вертикали, посредине длины нити.

8.43. Мяч массой $m = 50$ г при падении с высоты $h_1 = 3,0$ м подскочил на высоту $h_2 = 2,0$ м. Определите, на сколько уменьшилась механическая энергия. Как согласовать это с законом сохранения энергии? В какой вид энергии превратилась в этом случае механическая энергия?

8.44. Тело массой $m = 100$ г, брошенное вертикально вниз с высоты $h = 20$ м со скоростью $v_0 = 10$ м/с, упало на землю со скоростью $v = 20$ м/с. Определите работу по преодолению сопротивления воздуха.

8.45. Горный ручей с сечением потока S образует водопад высотой h . Скорость течения воды в ручье v . Определите мощность водопада.

8.46. Определите полезную мощность водяного двигателя, КПД которого $\eta = 80\%$, если известно, что вода поступает в него со скоростью $v_1 = 3,0$ м/с, а оставляет со скоростью $v_2 = 1,0$ м/с на уровне, находящемся ниже уровня входа на $h = 1,5$ м. Расход воды $Q = 0,30$ м³/с.

8.47. Мощность гидроэлектростанции $N = 73,5$ МВт, КПД $\eta = 75\%$. Определите, на какой уровень плотина поднимает воду, если расход воды $Q = 1,0 \cdot 10^3$ м³/с.

8.48. Определите мощность воздушного потока, имеющего поперечное сечение в виде круга диаметром $d = 18$ м и движущегося со скоростью $v = 12$ м/с (воздух находится при нормальных условиях).

8.49. Тело соскальзывает с наклонной плоскости высотой $h = 20$ м и углом наклона $\alpha = 45^\circ$. Определите коэффициент трения между телом и плоскостью, если известно, что у основания его скорость $v = 6,0$ м/с. Чему равен КПД наклонной плоскости?

8.50. С ледяной горки высотой $h = 1,0$ м и основанием $b = 5,0$ м съезжают санки, которые останавливаются, пройдя горизонтальный путь $l = 95$ м. Определите коэффициент трения и КПД наклонной плоскости.

8.51. С вершины горки (рис. 74) скатывается тело и останавливается в точке, из которой вершину видно под углом $\alpha = 6,0^\circ$. Определите коэффициент трения, если он на всех участках пути одинаков.

8.52. По наклонной плоскости с углом наклона $\alpha = 45^\circ$ к горизонту снизу вверх пускают тело с начальной скоростью $v_0 = 2,0$ м/с. Поднявшись на некоторую высоту, оно соскальзывает по тому же пути вниз. Определите, какова будет его скорость, когда оно вернется в исходную точку. Коэффициент трения между телом и плоскостью $\mu = 0,30$.

8.53. Тело, отпущенное без начальной скорости, скользит вниз по наклонной плоскости, составляющей с горизонтом угол $\alpha = 45^\circ$. В нижней точке оно ударяется о стенку, поставленную перпендику-



Рис. 74

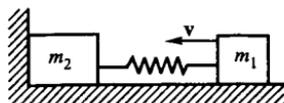


Рис. 75

лярно направлению его движения, и после абсолютно упругого удара поднимается на треть первоначальной высоты. Определите коэффициент трения между телом и плоскостью.

8.54. Тело начинает скользить вниз по наклонной плоскости высотой $H = 3,0$ м и, выйдя на горизонтальную поверхность, останавливается, пройдя путь $s = 10$ м. Определите коэффициент трения, считая его на всех участках пути одинаковым, если горизонтальный путь равен наклонному.

8.55. По наклонной плоскости снизу вверх пускают тело с начальной скоростью $v_0 = 4,0$ м/с. Поднявшись на высоту $h = 0,50$ м, оно соскальзывает по тому же пути вниз. Определите, какова будет скорость, когда оно вернется в исходную точку.

8.56. На горизонтальной поверхности лежит брусок массой $M = 5,0$ кг. В него со скоростью $v = 900$ м/с под углом $\alpha = 60^\circ$ к вертикали попадает пуля массой $m = 9,0$ г и застревает. Определите путь, пройденный бруском после попадания в него пули. Коэффициент трения между бруском и поверхностью $\mu = 0,30$.

8.57. На горизонтальной плоскости лежат два бруска массой $m_1 = 1,0$ кг и $m_2 = 2,0$ кг, соединенные недеформированной пружиной жесткостью $k = 50$ Н/м. Определите наименьшую скорость, направленную горизонтально (рис. 75), которую нужно сообщить первому бруску, чтобы сдвинулся и второй. Коэффициент трения брусков о плоскость $\mu = 0,34$.

8.58. Тело массой $m = 50$ г соскальзывает с высоты $H = 2,1$ м по наклонному скату, переходящему в мертвую петлю радиусом $R = 60$ см. Определите работу силы трения, если известно, что сила давления тела на петлю в верхней точке равна его силе тяжести.

§ 9. Законы сохранения в механике

9.1. Тело соскальзывает без трения с клина, лежащего на горизонтальной плоскости. Сравните скорости в конце соскальзывания в случаях: 1) клин закреплен; 2) клин может скользить без трения.

9.2. По условию задачи 9.1 определите, во сколько раз начальная высота тела больше во втором случае, чем в первом, если конечная скорость в обоих случаях одинакова. Масса тела $m = 2,0$ кг, масса

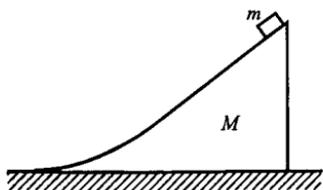


Рис. 76

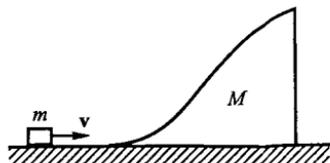


Рис. 77

клина $M = 10$ кг. Наклонная грань клина плавно переходит в горизонтальную плоскость (рис. 76).

9.3. Тело массой $m = 500$ г движется со скоростью $v_0 = 3,0$ м/с по горизонтальной гладкой поверхности и въезжает на покоящуюся незакрепленную горку массой $M = 7,5$ кг (рис. 77). Определите, на какую высоту поднимется тело по горке и с какой скоростью оно съедет с нее.

9.4. Тело бросают с высоты $H = 10$ м горизонтально с начальной скоростью $v_0 = 10$ м/с. Определите значение и направление скорости на высоте $h = H/2$. Постройте график зависимости квадрата скорости от высоты полета.

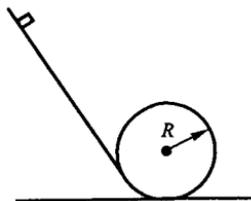
9.5. Искусственный спутник вращается вокруг Земли по круговой орбите радиусом $R = 4R_3$. Определите, какую минимальную дополнительную скорость необходимо ему сообщить, чтобы он ушел из зоны притяжения Земли. Постройте график зависимости этой скорости от радиуса орбиты.

9.6. Человек стоит на неподвижной тележке и бросает горизонтально камень массой $m = 8$ кг со скоростью $v = 5,0$ м/с. Определите, какую при этом он совершает работу, если масса тележки вместе с человеком $M = 160$ кг. Проанализируйте зависимость работы от массы M .

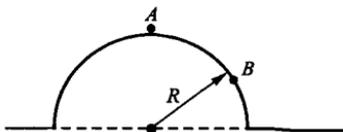
9.7. Тело массой $m = 500$ г, брошенное под углом к горизонту, упало на расстоянии $s = 8,0$ м от места бросания. Определите работу бросания, если во время полета оно достигло максимальной высоты $H = 2,0$ м.

9.8. Два шарика массой $m = 50$ г каждый соединены жестким стержнем, который поставили вертикально на горизонтальную плоскость и отпустили. Он начал падать без скольжения. Определите силу давления нижнего шарика на плоскость, когда стержень наклонен под углом $\alpha = 30^\circ$ к горизонту. Массой стержня и размерами шариков пренебречь.

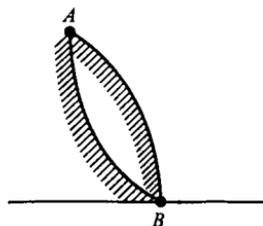
9.9. По условию задачи 9.8 найдите силу трения между нижним шариком и плоскостью как функцию угла наклона стержня к гори-



Р и с. 78



Р и с. 79



Р и с. 80

зонту. Определите, при каких углах сила трения равна нулю. Какую деформацию испытывает при этом стержень?

9.10. Определите, с какой высоты следует отпустить деревянный шарик, чтобы он погрузился в воду на глубину $H = 2,0$ м. Сопротивлением воды пренебречь.

9.11. Тело массой $m = 100$ г скользит по круговому желобу, расположенному в вертикальной плоскости. Определите, с какой силой оно давит на желоб в наинизшей точке, если отпущено из точки, находящейся на горизонтальной оси желоба, без начальной скорости.

9.12. Определите, какую горизонтальную скорость надо сообщить шарiku, чтобы он сделал полный оборот в вертикальной плоскости, если он висит: 1) на легкой нити длиной l ; 2) на жестком невесомом стержне длиной l .

9.13. Определите ускорение обруча, скатывающегося без проскальзывания с наклонной плоскости с углом α при основании. Вся масса обруча сосредоточена в ободе.

9.14. Небольшое тело соскальзывает вниз по наклонному скату, переходящему в мертвую петлю радиусом $R = 20$ см (рис. 78). Определите, какой должна быть наименьшая высота ската, чтобы тело сделало полную петлю не выпадая. Трением пренебречь.

9.15. Небольшое тело начинает соскальзывать с вершины сферы вниз. Определите, на какой высоте h от вершины оно оторвется от поверхности сферы радиусом R . Трением пренебречь.

9.16. С вершины A гладкой полусферы радиусом R (рис. 79) без начальной скорости соскальзывает очень маленький шарик. После отрыва от поверхности в точке B он испытывает абсолютно упругое соударение с гладким горизонтальным полом. Пренебрегая трением, определите, на какую высоту от поверхности пола подскочит шарик.

9.17. Тело соскальзывает из точки A в точку B по двум наклонным поверхностям, проходящим через точки A и B , один раз по выпуклой дуге, второй раз по вогнутой (рис. 80). Коэффициент трения в обоих случаях один и тот же. В каком случае скорость в точке B больше?

9.18. В баллистический маятник, масса которого $M = 5,0$ кг и длина нити $l = 4,0$ м, попадает горизонтально летевшая пуля массой $m = 20$ г. Маятник с застрявшей в нем пулей отклонился на угол $\alpha = 15^\circ$. Определите скорость пули.

9.19. Груз массой $M = 630$ г висит на нити длиной $l = 50$ см. В него попадает и застревает в нем горизонтально летящая пуля массой $m = 9,0$ г. Определите, какой должна быть ее минимальная скорость, чтобы груз с застрявшей пулей сделал полный оборот в вертикальной плоскости.

9.20. На тележку массой M , движущуюся со скоростью v , опускают с небольшой высоты кирпич массой m . Найдите изменение внутренней энергии тележки.

9.21. На горизонтальной пружине укреплено тело массой $M = 10$ кг, лежащее на гладком столе. В него попадает и застревает пуля массой $m = 10$ г, летящая с горизонтальной скоростью $v = 500$ м/с, направленной вдоль оси пружины. Определите жесткость пружины, если тело вместе с застрявшей пулей начинает колебаться с амплитудой $A = 10$ см.

9.22. Два груза массами $m_1 = 500$ г и $m_2 = 200$ г соединены легким нерастяжимым тросиком, перекинутым через неподвижный блок, и расположены над полом на высоте $h = 1,4$ м. В начальный момент они покоятся, затем их отпускают. Определите, какое количество теплоты выделится при ударе о пол. Удар считать абсолютно неупругим.

9.23. Скорость шара перед абсолютно упругим ударом о второй неподвижный шар была равна $v_1 = 3,0$ м/с, после удара стала равной $u_1 = 2,0$ м/с. Определите скорость второго шара после удара.

9.24. Два тела движутся горизонтально навстречу друг другу вдоль одной прямой. После столкновения они слипаются. Определите их скорость после столкновения, если $m_1 = 0,50$ кг, $m_2 = 0,90$ кг, $v_1 = 50$ см/с, $v_2 = 20$ см/с. Сравните энергию тел до и после удара. Объясните, почему происходит изменение энергии.

9.25. Два шара массами $m_1 = 1,0$ кг и $m_2 = 2,0$ кг движутся вдоль горизонтальной прямой в одном направлении со скоростями $v_1 = 7,0$ м/с и $v_2 = 1,0$ м/с. Определите их скорости после абсолютно упругого центрального удара.

9.26. Шарик массой m_1 , двигавшийся со скоростью v_1 , налетает на неподвижный шарик массой m_2 . Определите их скорости после абсолютно упругого центрального удара. Проанализируйте зависимость скоростей от соотношения масс. Покажите, что в случае абсолютно упругого удара о массивное тело направление скорости шарика меняется на обратное.

9.27. Шар массой m_1 , движущийся со скоростью v , ударяется о неподвижный шар массой m_2 . Определите, при каком отношении масс налетающий шар теряет максимальную часть своей кинетической энергии в случае: 1) удар прямой абсолютно упругий; 2) удар абсолютно неупругий.

9.28. Два тела массами m и $2m$, одно с импульсом p , а другое с импульсом $p/2$, движутся во взаимно перпендикулярных направлениях. После соударения они обмениваются импульсами. Определите вышедшее при ударе количество теплоты.

9.29. Тело движется со скоростью $v_1 = 6,0$ м/с навстречу такому же телу, движущемуся со скоростью $v_2 = 3,0$ м/с. Определите их скорости после центрального абсолютно упругого удара.

9.30. Тело, двигавшееся со скоростью $v_1 = 3,0$ м/с, после центрального абсолютно упругого удара с таким же телом, изменило направление движения и стало двигаться со скоростью $u_1 = 2,0$ м/с. Определите скорости второго тела до и после удара.

9.31. Два бильярдных шара налетают друг на друга со скоростями $v_1 = 2,0$ м/с и $v_2 = 1,5$ м/с под углом $\alpha = 60^\circ$ и разлетаются после абсолютно упругого удара со скоростями $u_1 = 1,0$ м/с и $u_2 = 2,0$ м/с. Определите угол β разлета шаров.

9.32. Легкий шарик начинает свободно падать и, пролетев расстояние l , упруго сталкивается с тяжелой плитой, движущейся вверх со скоростью v . Определите, на какую высоту он подпрыгнет после удара.

9.33. Шарик массой $m = 100$ г, движущийся со скоростью $v = 1,0$ м/с, упруго ударяется о плоскость. Определите изменение импульса и максимальную энергию упругой деформации, если направление скорости составляет с плоскостью угол α , равный: 1) 90° ; 2) 30° .

9.34. Шарик подлетает к неподвижной стенке сверху со скоростью $v = 10$ м/с под углом $\alpha = 45^\circ$. Определите угол, под которым он отскочит от нее. Длительность упругого удара $\tau = 50$ мс.

9.35. Тело после абсолютно неупругого удара о неподвижное тело стало двигаться в $n = 4,0$ раза медленнее. Определите долю энергии, перешедшей во внутреннюю энергию.

9.36. Два шарика массами m_1 и m_2 подвешены на нитях так, что соприкасаются. Один шарик отводят в плоскости нитей на угол α и отпускают. Происходит центральный удар шариков. Определите, на какие углы α_1 и α_2 относительно отвесной линии они отклонятся после удара (углы считать малыми, удар — упругим).

9.37. Определите, на какой угол β отклонятся шарики в задаче 9.36, если удар неупругий.

9.38. Два идеально упругих шарика массами m_1 и m_2 движутся вдоль одной и той же прямой со скоростями v_1 и v_2 . Во время столкновения они начинают деформироваться и часть кинетической энергии переходит в потенциальную энергию деформации. Затем деформация уменьшается и запасенная потенциальная энергия вновь переходит в кинетическую. Найдите значение максимальной энергии деформации.

9.39. Покажите, что при упругом ударе шара в такой же неподвижный шар не по линии их центров они разлетаются под углом 90° друг к другу.

Дополнительные задачи

II.1. Массы тел на рис. 81 равны m_0 , m_1 и m_2 . Трением, массами блоков и нитей пренебречь. Найдите ускорение тела m_1 . Исследуйте возможные случаи.

II.2. На столе лежит доска массой $M = 1,1$ кг, а на ней груз массой $m = 1,9$ кг. Определите, какую силу нужно приложить к доске, чтобы она выскользнула из-под груза. Коэффициент трения между грузом и доской $\mu_1 = 0,23$, а между доской и столом $\mu_2 = 0,52$.

II.3. На тело массой $m = 2,0$ кг, находящееся на наклонной плоскости с углом наклона $\alpha = 30^\circ$, действует сила $F = 12,5$ Н параллельно наклонной плоскости (рис. 82). Коэффициент трения между телом и наклонной плоскостью $\mu = 0,20$. Определите ускорение тела и силу трения.

II.4. Тело скатывается по внутренней поверхности полусферы с высоты R (рис. 83). Одна половина полусферы абсолютно гладкая, вторая — шероховатая. Коэффициент трения между телом и поверхностью $\mu = 0,15$. Определите ускорение тела, как только оно коснется шероховатой поверхности.

II.5. Шарик массой $m = 50$ г вылетает из ствола игрушечной пушки, наклоненного к горизонту под углом $\alpha = 45^\circ$, со скоростью $v_0 = 5,0$ м/с относительно пушки, вначале покоившейся на гладком полу. Определите, под каким углом к горизонту вылетел шарик. Какова скорость отдачи пушки, масса которой $M = 150$ г?

II.6. На тележке массой m стоит брусок массой $3m$. Коэффициент трения между бруском и тележкой μ . Пуля массой m , летящая горизонтально со скоростью v , застревает в бруске. Определите путь, который проделает брусок по тележке.

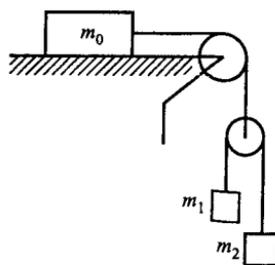
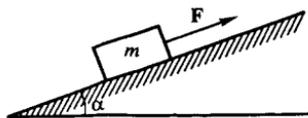
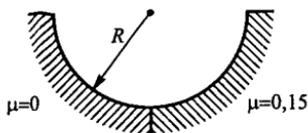


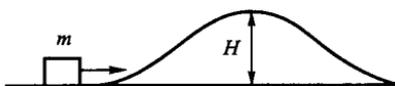
Рис. 81



Р и с. 82



Р и с. 83



Р и с. 84

П.7. На пути тела массой $m = 2,0$ кг, скользящего по гладкому горизонтальному столу, находится незакрепленная горка массой $M = 10$ кг, высотой $H = 2,0$ м (рис. 84). Определите, при какой минимальной скорости оно может остаться на горке. Считать, что тело движется, не отрываясь от нее. Тело на горке, а также горка по столу скользят без трения.

П.8. К телу массой m_1 , расположенному на гладком горизонтальном столе, привязана веревка, переброшенная через невесомый блок. За свисающий конец веревки цепляется обезьяна массой m_2 , которая, перебирая веревку, стремится оставаться на одной высоте. Как долго ей это удастся, если максимальная мощность, развиваемая обезьяной, равна N ?

П.9. Космонавт массой $M = 100$ кг находится на поверхности астероида, имеющего форму шара радиусом $R = 1,0$ км, и держит в руках камень массой $m = 1,0$ кг. Определите, с какой максимальной горизонтальной скоростью относительно астероида он может бросить камень, не рискуя, что сам станет спутником астероида. Плотность вещества однородного астероида $\rho = 5,0$ г/см³.

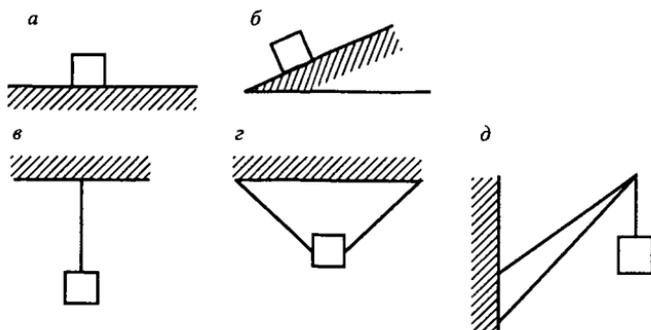
Г л а в а III

СТАТИКА

§ 10. Равновесие материальной точки

10.1. Запишите условие покоя материальной точки: 1) в векторной форме; 2) в проекциях на оси декартовой системы координат.

10.2. На рис. 85 показано пять разных случаев покоящегося тела: а) покоится на горизонтальной поверхности; б) покоится на наклонной плоскости; в) подвешено на нити; г) подвешено на двух нитях;



Р и с. 85

д) подвешено на кронштейне. В каждом случае укажите и нарисуйте силы, приложенные к телу. Укажите происхождение каждой силы.

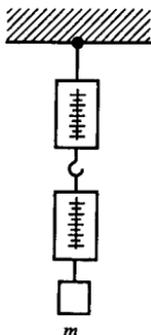
10.3. К двум динамометрам подвешен груз массой $m = 1,0$ кг (рис. 86). Что покажет каждый из динамометров? Массу нижнего динамометра не учитывать.

10.4. Груз массой $m = 2,0$ кг подвешен на динамометре. Снизу его тянут с силой $F = 10$ Н. Что показывает динамометр?

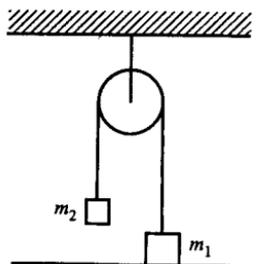
10.5. На горизонтальной плоскости лежит груз массой $m_1 = 5,0$ кг, связанный с помощью веревки, перекинутой через блок, с грузом массой $m_2 = 2,0$ кг (рис. 87). Определите силу натяжения веревки и силу давления груза массой m_1 на плоскость.

10.6. Определите: 1) силу натяжения веревки; 2) силу давления груза на наклонную плоскость; 3) силу трения между грузом и плоскостью (рис. 88), если $m_1 = 2,0$ кг, $m_2 = 1,0$ кг, $\alpha_1 = 30^\circ$, $\alpha_2 = 90^\circ$.

10.7. К концам нити, перекинутой через два блока, подвешены грузы $m_1 = 60$ г и $m_2 = 80$ г (рис. 89). Когда к нити подвесили третий



Р и с. 86



Р и с. 87

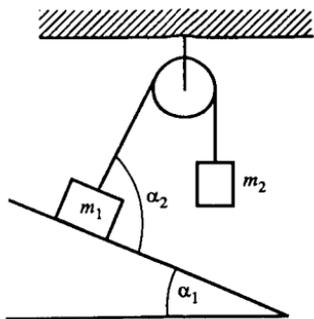


Рис. 88

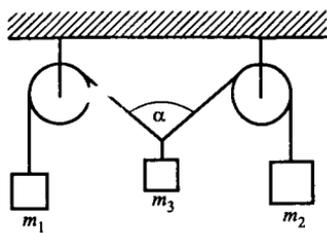


Рис. 89

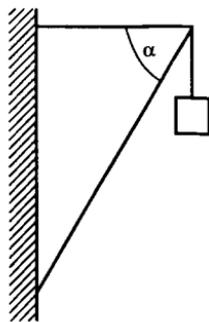


Рис. 90

груз, то угол α , образованный нитями, стал 90° . Определите массу третьего груза.

10.8. К концам нити, перекинутой через два блока, подвесили два одинаковых груза массой $m_1 = m_2 = m = 5,0$ кг каждый (рис. 89). Определите, какой груз надо подвесить к нити между блоками, чтобы при равновесии угол $\alpha = 120^\circ$.

10.9. Груз массой $m = 15$ кг, подвешенный на невесомой проволоке, отклоняется на угол $\alpha = 45^\circ$ от вертикального положения силой, действующей в горизонтальном направлении. Определите эту силу и силу натяжения проволоки.

10.10. Проволока, на которой висит груз массой $m = 20$ кг, отводится в новое положение силой $F = 147$ Н, действующей в горизонтальном направлении. Определите силу натяжения проволоки и угол отклонения проволоки от вертикали.

10.11. Груз массой $m = 10$ кг подвешен на кронштейне (рис. 90). Угол между горизонтальным стержнем и подкосом $\alpha = 60^\circ$. Определите силы, действующие на стержень и подкос.

10.12. Определите вес груза, висящего на кронштейне, если сила, с которой растягивается горизонтальный стержень, $F = 90$ Н. Угол между стержнем и подкосом $\alpha = 45^\circ$ (рис. 90).

10.13. Уличный фонарь массой $m = 20$ кг висит на двух стержнях, прикрепленных к стене, на расстоянии $l = 60$ см друг от друга (рис. 91). Длина верхнего стержня $l_1 = 90$ см, нижнего $l_2 = 120$ см. Определите силы, действующие на них.

10.14. На концах нити, перекинутой через два блока, подвешены грузы. Между блоками (рис. 92) подвешен груз массой $m = 150$ г, угол $\alpha = 30^\circ$, угол $\beta = 75^\circ$. Определите массы грузов.

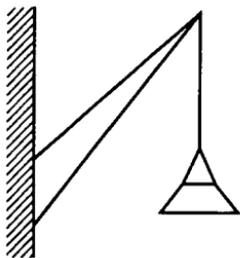


Рис. 91

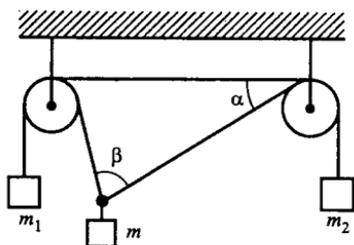


Рис. 92

10.15. Горизонтальная антенна прикреплена к мачте (рис. 93), на которую она действует с силой $F = 750$ Н. Определите, под каким углом к горизонту действует оттяжка с другой стороны мачты, если она не гнется и сила давления на ее основание $F_d = 1,0$ кН.

10.16. Груз массой $m = 60$ кг висит на двух тросах (рис. 94). Угол между горизонтальным и наклонным тросами $\alpha = 120^\circ$. Определите силы, действующие на них.

10.17. Веревка привязана к крючку и перекинута через блок (рис. 95). К ней прикреплен груз массой $m_1 = 20$ кг. Определите, какой массы груз следует прикрепить к концу веревки, чтобы сила ее натяжения на левом участке была в два раза больше, чем в остальной части, и угол $\alpha = 90^\circ$.

10.18. Определите, с какой минимальной силой, направленной горизонтально, нужно прижать плоский брусок к стене, чтобы он не соскользнул вниз. Масса бруска $m = 5,0$ кг. Коэффициент трения между стеной и бруском $\mu = 0,10$.

10.19. Фонарь массой $M = 10$ кг подвешен над серединой улицы шириной $l = 10$ м на тросе, допустимая сила натяжения которого $T = 500$ Н. Определите высоту крепления концов троса, если точка крепления фонаря находится на высоте $h = 5,0$ м.

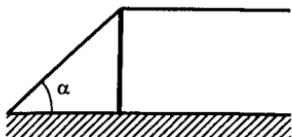


Рис. 93

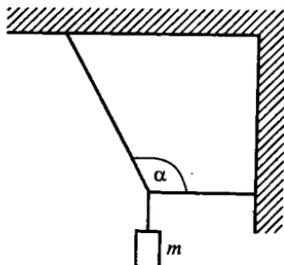
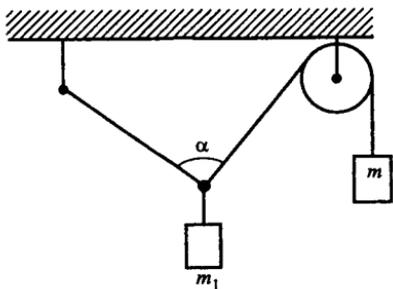
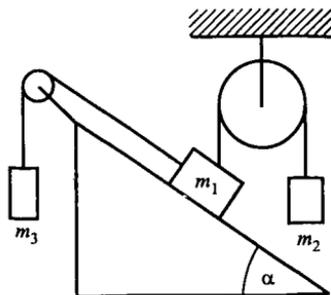


Рис. 94



Р и с. 95



Р и с. 96

10.20. Можно ли натянуть горизонтальный трос так, чтобы он не провисал?

10.21. Определите жесткость системы, составленной из двух пружин с коэффициентами упругости k_1 и k_2 в случае: 1) последовательного соединения; 2) параллельного соединения.

10.22. На наклонной плоскости с углом $\alpha = 30^\circ$ при основании покоится тело массой $m_1 = 2,0$ кг, связанное с помощью нити, перекинутой через блок, с телом массой m_2 (см. рис. 45). Трение отсутствует. Определите массу второго груза и силу, действующую на ось блока.

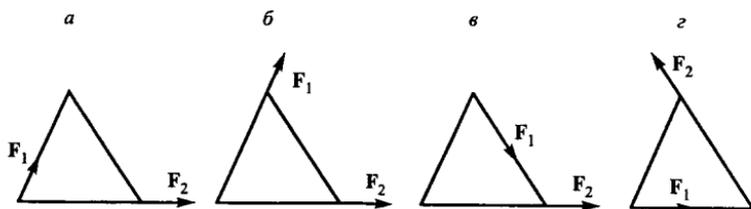
10.23. Система грузов массами m_1 , m_2 и m_3 (рис. 96) находится в равновесии. Найдите массу m_3 и силу давления массы m_1 на наклонную плоскость, если массы m_1 , m_2 и угол α , который составляет наклонная плоскость с горизонтом, известны. Трение отсутствует.

§ 11. Равновесие твердого тела

11.1. Для того чтобы тело находилось в равновесии, необходимо и достаточно выполнения двух условий. Какие это условия? В каких случаях при рассмотрении равновесия тела достаточно использовать одно из них?

11.2. На плоское тело, имеющее форму равностороннего треугольника, действуют две равные силы $F_1 = F_2 = 10$ Н, приложенные к вершинам треугольника и действующие вдоль его сторон (рис. 97). Определите, какую силу F_3 нужно приложить к телу, чтобы оно находилось в равновесии. Найдите геометрическое место точек приложения силы F_3 .

11.3. Выполняются ли условия равновесия плоского тела в случаях, показанных на рис. 98?



Р и с. 97

11.4. На стержень действуют две параллельные силы $F_1 = 10$ Н и $F_2 = 20$ Н. Расстояние между линиями действия сил $l = 1,2$ м. Определите, в каком месте и какую силу нужно приложить к стержню, чтобы он находился в равновесии.

11.5. Определите равнодействующую двух антипараллельных сил $F_1 = 15$ Н и $F_2 = 60$ Н. Расстояние между линиями действия сил $l = 90$ см.

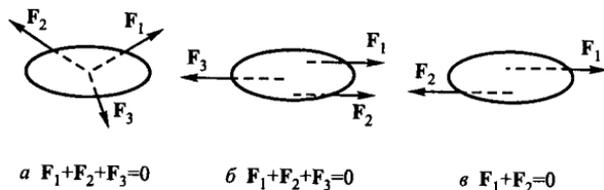
11.6. К стержню длиной $l = 120$ см приложены три параллельные силы одинакового направления: у левого конца $F_1 = 30$ Н, в середине $F_2 = 80$ Н, у правого конца $F_3 = 90$ Н. Чему равна равнодействующая этих сил? Где лежит точка ее приложения?

11.7. Из двух антипараллельных сил большая $F_1 = 30$ Н. Найдите меньшую и равнодействующую силы, если отношение расстояний точек приложения составляющих сил от точки приложения равнодействующей $l_1/l_2 = 0,40$.

11.8. Автомобиль массой $M = 1,0$ т въезжает на горизонтальный мост длиной $L = 10$ м. Определите, с какими силами он давит на опоры моста, находясь на расстоянии $l_1 = 1,0$ м от опоры. Постройте график зависимости изменения давления на одну из опор от расстояния до нее.

11.9. Труба массой $M = 1,2$ т лежит на земле. Определите, какое усилие надо приложить, чтобы приподнять ее краном за один из концов. С какой силой действует другой конец трубы на землю?

11.10. Автомобиль массой $M = 1,35$ т имеет колесную базу длиной $L = 3,05$ м. Центр тяжести расположен на расстоянии $l = 1,78$ м позади передней оси. Определите силу, действующую на каждое из перед-



а $F_1 + F_2 + F_3 = 0$

б $F_1 + F_2 + F_3 = 0$

в $F_1 + F_2 = 0$

Р и с. 98

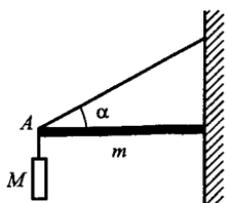


Рис. 99

них и на каждое из задних колес со стороны горизонтальной поверхности земли.

11.11. Стержень длиной $l = 10$ см подвешен за концы на двух пружинах жесткостью $k_1 = 98$ Н/см и $k_2 = 3k_1$. Определите, на каком расстоянии от центра и какой массы надо подвесить к нему груз, чтобы он сместился на высоту $\Delta h = 1,0$ см и остался висеть горизонтально. Массой стержня пренебречь.

11.12. На доске длиной $l = 4,0$ м и массой $M = 30$ кг качаются два мальчика массами $m_1 = 30$ кг и $m_2 = 40$ кг. Определите, где должна быть у доски точка опоры, если мальчики сидят на ее концах.

11.13. По наклонной плоскости длиной $l = 5,0$ м и высотой $h = 3,0$ м поднимают груз массой $m = 200$ кг, прикладывая в направлении движения силу $F = 1,5$ кН. Определите КПД наклонной плоскости. Чему был бы равен выигрыш в силе в случае отсутствия трения?

11.14. Горизонтально расположенный стержень массой $m = 2,0$ кг опирается о вертикальную стену (рис. 99). В точке A он поддерживается тросом, образующим с ним угол $\alpha = 30^\circ$, и к нему подвешен груз массой $M = 4,0$ кг. Определите, при каком минимальном коэффициенте трения стержня о стену он будет находиться в положении равновесия.

11.15. Один конец твердого стержня шарнирно закреплен в точке C , к другому концу A прикреплен конец веревки, перекинутой через два блока и закрепленной другим концом на балке (рис. 100). На расстоянии $l = 0,60$ м от точки A на стержень действует сила $F = 75$ Н вертикально вниз, для уравнивания которой подвешен к подвижно-

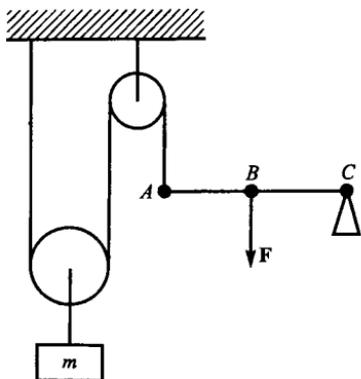


Рис. 100

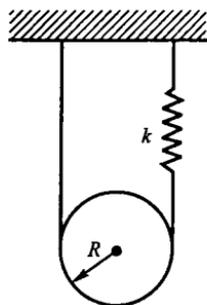


Рис. 101

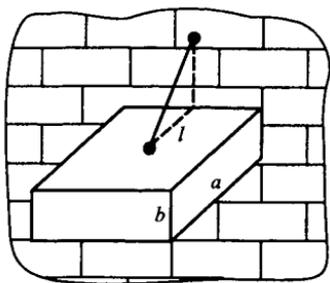


Рис. 102

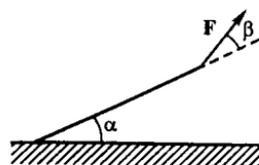


Рис. 103

му блоку груз массой $m = 10,25$ кг. Определите длину рычага и силу давления на шарнир C .

11.16. На столе находится лист бумаги, прижатый однородным стержнем массой m , верхний конец которого шарнирно закреплен. Определите, какую минимальную горизонтальную силу необходимо приложить к листу, чтобы вытащить его. Угол между стержнем и листом равен α , коэффициент трения между ними μ . Трением между столом и бумагой пренебречь.

11.17. Шар массой $m = 1,0$ кг покоится между двумя гладкими плоскостями, составляющими с горизонтом углы $\alpha_1 = 30^\circ$ и $\alpha_2 = 90^\circ$. Определите силу его давления на вертикальную плоскость.

11.18. Невесомый блок радиусом $R = 10$ см подвешен с помощью невесомой нити и пружины жесткостью $k = 50$ Н/м (рис. 101). Определите, на какой угол он повернется, если к его оси приложить силу $F = 10$ Н, направленную отвесно вниз. Блок относительно нити не проскальзывает.

11.19. Брусok в виде параллелепипеда со сторонами $a = 42$ см и $b = 24$ см (рис. 102) приставлен к абсолютно гладкой стене и подвешен на нити, прикрепленной одним концом к бруску на расстоянии $l = 12$ см от стены и другим концом к стене. Определите длину нити, если брусok прижат к стене.

11.20. Жесткий стержень удерживается силой, приложенной к его концу, под углом $\alpha = 30^\circ$ к горизонтальной плоскости. Определите, под каким углом β к нему надо приложить эту силу, чтобы сдвинуть его, не меняя угол наклона (рис. 103). Коэффициент трения между стержнем и плоскостью $\mu = 0,10$.

11.21. Однородный шар массой $m = 1,0$ кг удерживается на гладкой наклонной плоскости веревкой, укрепленной над плоскостью и образующей угол $\beta = 60^\circ$ с вертикалью. Угол наклона плоскости к горизонту $\alpha = 30^\circ$ (рис. 104). Определите силу, с которой шар давит на

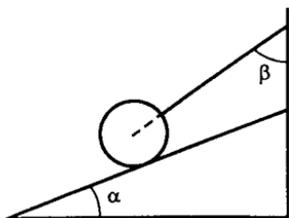


Рис. 104

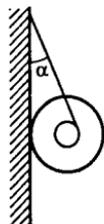


Рис. 105

плоскость. Постройте график зависимости силы натяжения нити от угла β .

11.22. Нить, намотанная на катушку, прикреплена к стене (рис. 105). Катушка висит, касаясь стены, причем нить образует со стеной угол $\alpha = 30^\circ$. Определите минимальное значение коэффициента трения между катушкой и стеной. Внутренний диаметр катушки $d = 2,0$ см, внешний $D = 10$ см. -

11.23. Определите, каков должен быть коэффициент трения для того, чтобы клин, заколоченный в бревно, не выскакивал из него. Угол при вершине клина $\alpha = 30^\circ$.

11.24. Определите, под каким минимальным углом к горизонту может стоять прислоненная к вертикальной стене лестница, центр тяжести которой находится на расстоянии трети длины от нижнего конца. Коэффициент трения между лестницей и полом $\mu_1 = 0,40$, между лестницей и стеной $\mu_2 = 0,50$.

11.25. На земле лежат вплотную два одинаковых бревна цилиндрической формы. Сверху кладут такое же бревно. Определите, при каком коэффициенте трения между ними они не раскатятся (по земле бревна не скользят).

11.26. Шаг винта домкрата $h = 0,50$ см, длина рукоятки $l = 30$ см, сила, действующая на рукоятку, $F = 120$ Н, КПД $\eta = 45\%$. Определите, какую силу он развивает.

11.27. Груз массой $M = 2,1$ т поднимается с помощью ворота. Определите, какая сила прилагается к концу рукоятки длиной $l = 50$ см, если он поднимается на высоту $h = 15$ см за время, в течение которого рукоятка делает $N = 10$ оборотов. Трение не учитывать.

11.28. Определите, какую силу нужно приложить к концу рукоятки дифференциального ворота, чтобы удержать груз массой $M = 50$ кг. Длина рукоятки $l = 98$ см, радиус большого цилиндра ворота $R = 20$ см, радиус малого $r = 10$ см (рис. 106).

11.29. Колесо радиусом R и массой m стоит перед ступенькой высотой $h < R$. Определите, какую наименьшую горизонтальную

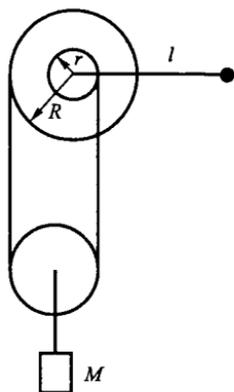


Рис. 106

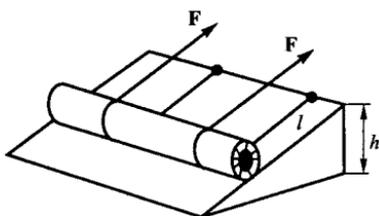


Рис. 107

силу надо приложить к оси колеса, чтобы оно могло подняться на ступеньку.

11.30. Определите, какую минимальную горизонтальную силу нужно приложить к верхнему ребру куба массой M , находящегося на горизонтальной плоскости, чтобы перекинуть его через ребро. При каком коэффициенте трения между кубом и плоскостью можно перекинуть куб?

11.31. Тяжелое бревно втягивают вверх по наклонной плоскости с помощью двух параллельных канатов, закрепленных, как указано на рис. 107. Масса бревна $M = 400$ кг, высота наклонной плоскости $h = 1,0$ м, длина $l = 2,0$ м. Определите, какую силу нужно приложить к каждому из канатов, чтобы втянуть бревно.

11.32. Определите, какой длины конец надо отрезать от однородного стержня, чтобы его центр тяжести переместился на $\Delta l = 10$ см.

11.33. Штанга состоит из стержня длиной $l = 50$ см, массой $M = 2,0$ кг и двух скрепленных с ним шаров радиусами $R_1 = 3,0$ см и $R_2 = 6,0$ см и массами $m_1 = 1,5$ кг и $m_2 = 12$ кг. Найдите центр тяжести штанги.

11.34. Два шара, алюминиевый и цинковый, одинакового объема скреплены в точке касания. Найдите центр тяжести.

11.35. Линейка длиной $l = 1,0$ м выдвинута за край стола на четверть длины и давит только на край стола, когда на ее свешивающийся конец положен груз $m_1 = 250$ г. Чему равна ее масса? На какую часть длины можно выдвинуть линейку за край стола, если на свешивающийся конец положить груз $m_2 = 125$ г?

11.36. Найдите центр тяжести однородной пластинки, размеры которой указаны на рис. 108, a .

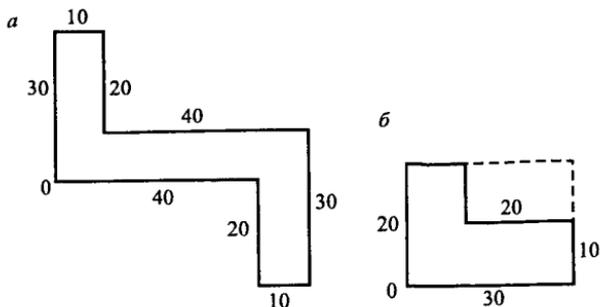


Рис. 108

11.37. Найдите центр тяжести однородной пластинки с вырезом, размеры которой указаны на рис. 108, б.

11.38. Из однородной круглой пластины радиусом $R = 9,0$ см вырезали круг вдвое меньшего радиуса, касающийся края пластины. Найдите центр тяжести полученной пластины.

11.39. Из однородной круглой пластины радиусом R вырезали квадрат, диагональ которого совпадает с радиусом и равна ему. Найдите центр тяжести полученной пластины.

11.40. Из плоской квадратной пластины со стороной a вырезан: а) квадрат со стороной $a/2$; б) круг диаметром $a/2$. Найдите центр тяжести полученных фигур (рис. 109).

11.41. Определите, где находится центр тяжести куба, из которого удален кубик с ребром, равным $a/2$ (рис. 110).

11.42. На доске длиной $l = 60$ см стоит сплошной цилиндр, у которого высота в три раза больше диаметра основания. Определите, на какую наибольшую высоту можно поднять один из концов доски, чтобы цилиндр не упал.

11.43. Цилиндр высотой $h = 8,0$ см, диаметром $D = 6,0$ см лежит на дощечке, которую медленно поднимают за один конец. Определите предельный угол наклона, при котором цилиндр еще будет нахо-

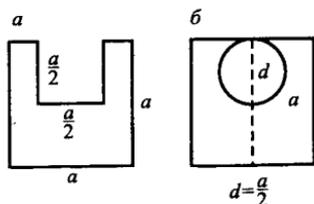


Рис. 109

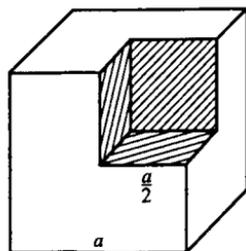


Рис. 110

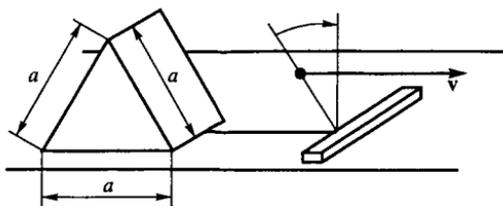


Рис. 111

даться в равновесии. Коэффициент трения между цилиндром и доской $\mu = 0,30$.

11.44. Телеграфный столб длиной $L = 7,0$ м и массой $M = 140$ кг при установке перемещается из горизонтального положения в вертикальное. Определите, какая при этом совершается работа.

11.45. Определите, какую работу надо совершить, чтобы перевернуть вокруг ребра куб массой $m = 200$ кг. Ребро куба $a = 1,0$ м.

11.46. Определите, какую нужно совершить работу, чтобы перевернуть вокруг ребра полый куб, наполовину наполненный водой. Масса куба мала по сравнению с массой наполняющей его воды. Ребро куба $a = 1,0$ м.

11.47. Определите, какой минимальной скоростью должна обладать перед ударом о небольшой выступ треугольная призма со стороной $a = 17$ см (рис. 111), чтобы перевернуться на другую грань.

§ 12. Жидкости и газы

12.1. Запишите известные вам формулы для вычисления давления.

12.2. На рис. 112 дан график зависимости гидростатического давления от глубины для двух разных жидкостей. У какой жидкости плотность больше?

12.3. На столе стоит банка с водой. Постройте график зависимости давления воды от глубины. Как изменится график, если атмосферное давление: 1) увеличится; 2) уменьшится?

12.4. Определите, на какой глубине в пресной воде давление в 3 раза больше атмосферного.

12.5. В каких случаях сила давления жидкости на дно сосуда: 1) больше силы тяжести этой жидкости; 2) меньше силы тяжести; 3) равна силе тяжести?

12.6. Цилиндрический сосуд с жидкостью с площадью основания $S = 200$ см² плотно закрыт поршнем массой $m = 1,0$ кг. Определите, какое давление оказывает поршень на жидкость: 1) без груза;

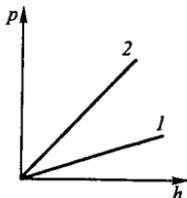


Рис. 112

2) с грузом массой $M = 5,0$ кг; 3) под действием силы $F = 200$ Н, направленной под углом $\alpha = 30^\circ$ к поршню. Какое давление оказывает жидкость на поршень в каждом из случаев? Изменятся ли ответы, если вместо жидкости будет газ?

12.7. Определите, с какой силой давит пар на предохранительный клапан диаметром $d = 80$ мм, если давление внутри сосуда $p = 10$ МПа.

12.8. В полный куб с ребром $l = 10$ см доверху налита вода. Определите силу давления на: 1) дно; 2) боковые грани.

12.9. Определите, до какой высоты надо налить воду в цилиндрический сосуд, чтобы силы давления воды на дно и стенки сосуда были одинаковы. Диаметр дна сосуда $D = 32$ см.

12.10. В одном из опытов Паскаля в крышке прочной деревянной бочки было сделано узкое отверстие, туда вставлена длинная трубка, через которую наливалась вода. Когда бочка и трубка заполнились, давление воды разорвало бочку. Определите силу, действовавшую на днище бочки площадью $S = 0,20$ м², когда уровень воды поднялся на высоту $h = 4,0$ м от днища.

12.11. Представим, что в задаче 12.10, когда уровень воды поднялся на высоту $h = 2,0$ м от днища, в трубку вставили поршень, плотно прилегающий к ее стенкам. Определите, с какой силой надо надавить на поршень, чтобы сила, действующая на днище, была такой же, как в задаче 12.10. Площадь отверстия трубки в $n = 100$ раз меньше площади днища.

12.12. В цилиндрический сосуд налиты в равных количествах вода и керосин. Общая высота столба жидкости $h = 90$ см. Определите давление на дно сосуда.

12.13. Открытый сосуд с водой движется вверх с ускорением $a = 2,0$ м/с². Определите давление на глубине $h = 25$ см.

12.14. В две сообщающиеся трубки разного сечения налили сначала ртуть, а потом в широкую трубку с площадью сечения $S = 8,0$ см² налили воду массой $m = 272$ г. Определите, на сколько выше расположен уровень ртути в узком колене, чем в широком.

12.15. В сообщающиеся сосуды налили ртуть, а поверх нее в один сосуд налили столб масла высотой $h_1 = 48$ см, а в другой — керосина высотой $h_2 = 20$ см. Определите разность уровней ртути в сосудах.

12.16. В сосуд с водой вставлена трубка с площадью сечения $S = 2,0$ см², в которую налили масло массой $m = 72$ г. Найдите разность уровней масла и воды.

12.17. Определите, какая сила давления может быть получена с помощью гидравлического пресса, если к малому поршню приложе-

на сила $f = 100$ Н, а площади поршней пресса равны $s = 5,0$ см² и $S = 500$ см². КПД пресса $\eta = 80$ %.

12.18. Малый поршень гидравлического пресса за один ход опускается на расстояние $h = 0,20$ м, а большой поднимается на $H = 1,0$ см. Определите, с какой силой действует пресс на зажатое в нем тело, если на малый поршень действует сила $f = 500$ Н. КПД пресса $\eta = 95$ %.

12.19. При подъеме груза массой $m = 2,0$ т с помощью гидравлического пресса была затрачена работа $A = 400$ Дж. При этом малый поршень сделал $N = 10$ ходов, перемещаясь за один ход на $h = 10$ см. Определите, во сколько раз площадь большого поршня больше площади малого. КПД пресса $\eta = 90$ %.

12.20. Оцените массу атмосферы, окружающей земной шар.

12.21. Если бы пользовались водяным барометром, то какой высоты столб воды соответствовал нормальному атмосферному давлению?

12.22. Можно ли насосом, находящимся на крутом берегу на высоте $h = 15$ м от поверхности воды, качать воду из реки?

12.23. Длинную барометрическую трубку наклонили под углом $\alpha = 30^\circ$ к горизонту и заткнули пробкой. Определите, какая сила давления будет действовать на пробку, если: 1) трубку вынуть из ртути параллельно самой себе; 2) затем трубку поставить вертикально. Внутренний радиус трубки $r = 6,0$ мм.

12.24. Поршень, плотно прилегающий к внутренним стенкам трубки, может перемещаться в ней с помощью длинного штока. Трубку с поршнем, занимающим крайнее нижнее положение, вертикально опустили в сосуд с ртутью. Затем поршень начали поднимать. Определите, какая была совершена работа при его подъеме на высоту $h = 1,0$ м. Атмосферное давление нормальное, площадь поршня $S = 1,0$ см². Трение не учитывать.

12.25. Сосуд, имеющий форму усеченного конуса с приставным дном, опущен в воду. Если в него налить 300 г воды, то дно оторвется. Оторвется ли дно, если: 1) на него поставить гирию массой 300 г; 2) налить 300 г масла; 3) налить 300 г ртути?

12.26. Стержень массой m и длиной l подвешен за один конец на тонкой невесомой нити. Нижний конец расположен на расстоянии h над поверхностью воды. Стержень начинают равномерно опускать в воду. Постройте график зависимости силы натяжения нити от перемещения. Плотность материала стержня в 4 раза больше плотности воды.

12.27. Стержень массой m и длиной l подвешен за один конец на тонкой невесомой нити. Верхний конец расположен на расстоянии h под поверхностью воды. Стержень начинают поднимать из воды с постоянной скоростью v . Постройте график зависимости силы натяжения нити от времени. Плотность материала стержня в 5 раз больше плотности воды.

12.28. Прямоугольная коробочка из жести массой $m = 76$ г с площадью дна $S = 38$ см² и высотой $H = 6,0$ см плавает в воде. Определите высоту ее надводной части.

12.29. Кусок дерева плавает в воде, погружаясь на $n = 3/4$ своего объема. Определите плотность дерева.

12.30. Кусок медного купороса весит в воздухе $P_1 = 100$ мН, а в керосине $P_2 = 70$ мН. Определите плотность медного купороса. Медный купорос в керосине не растворяется.

12.31. Для определения плотности ацетона запаянный металлический цилиндр (высотой $H = 10$ см и диаметром $D = 7,0$ см) был взвешен в воде и ацетоне. Разность в весе получилась $\Delta P = 0,75$ Н. Определите плотность ацетона на основании данных опыта.

12.32. Определите наименьшую площадь плоской льдины толщиной $H = 40$ см, способной удержать на воде человека массой $m = 75$ кг.

12.33. Полый шар, отлитый из свинца, плавает на воде, погружившись ровно наполовину. Найдите объем внутренней полости шара, если его масса $m = 5,0$ кг.

12.34. Полый шар (внешний радиус R , внутренний r), изготовленный из материала с плотностью ρ_1 , плавает на поверхности жидкости с плотностью ρ_2 . Определите, какой должна быть плотность вещества, которым следует заполнить внутреннюю полость шара, чтобы он находился в безразличном равновесии внутри жидкости.

12.35. Один конец нити закреплен на дне, а второй прикреплен к пробковому поплавку. При этом $n = 0,75$ всего объема поплавка погружено в воду. Определите силу натяжения нити, если масса поплавка равна $m = 2,0$ кг.

12.36. Деревянный шарик удерживается в воде в затопленном состоянии легкой пружиной (рис. 113). Определите растяжение пружины, если подвешенный в воздухе шарик растягивает ее на $x_1 = 1,2$ см. Объемом пружины пренебречь.

12.37. Тонкая однородная палочка шарнирно укреплена за верхний конец. Нижняя ее часть погружена в воду, причем равновесие достигается тогда, когда палочка расположена наклонно к поверхности воды и в воде

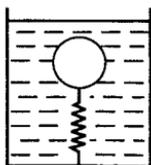


Рис. 113

находится ее половина. Определите плотность материала, из которого она сделана.

12.38. Деревянная палочка длиной $l = 60$ см и площадью сечения $S = 0,64$ см², шарнирно закрепленная за один конец, плавает в воде, погрузившись наполовину. Определите силу, действующую на нее со стороны шарнира.

12.39. Две одинаковые оболочки шара, одна из эластичной резины, а вторая из прорезиненной ткани, наполнены одним и тем же количеством водорода и, находясь у земли, занимали равный объем. Какая из них поднимется выше и почему, если водород из них выходить не может?

12.40. В сосуде находится тело вращения (рис. 114). В него заливают жидкость так, что она не проникает под нижнее основание. Постройте график зависимости выталкивающей силы, действующей на тело, от уровня воды в сосуде.

12.41. На дне сосуда с водой находится наклонная плоскость с углом наклона $\alpha = 30^\circ$ при основании. На нее положили алюминиевую треугольную призму высотой $h = 3,4$ см, со стороной $a = 2,0$ см. Расстояние от призмы до поверхности воды $H = 7,0$ см (рис. 115). Определите, с какой силой она давит на наклонную плоскость.

12.42. На дне водоема глубиной H установлена конструкция грибовидной формы (рис. 116). Определите, с какой силой она давит на дно водоема. Плотность материала конструкции в 2 раза больше плотности воды.

12.43. Кубик со стороной $a = 5,0$ см плавает между керосином и водой, находясь ниже уровня керосина на $h_1 = 2,5$ см. Нижняя поверхность кубика на $h_2 = 1,0$ см ниже поверхности раздела. Какова плотность кубика? Определите силы давления на верхнюю и нижнюю его грани. Изменится ли глубина погружения в воду при доливании керосина?

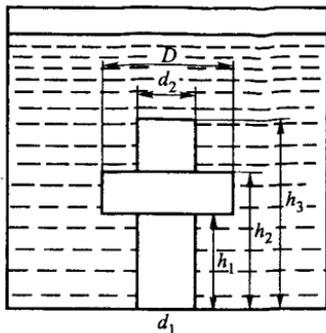


Рис. 114

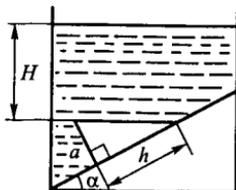


Рис. 115

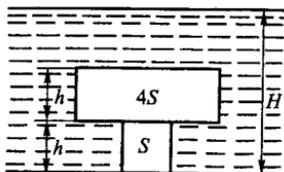


Рис. 116

12.44. Брусок дерева плавает в воде. Как изменится глубина погружения, если поверх воды налить масло?

12.45. Стальной кубик плавает в ртути. Поверх ртути наливается вода так, что она покрывает кубик. Определите высоту слоя воды и давление на его нижнюю грань. Длина ребра $a = 10$ см.

12.46. Лыдина площадью поперечного сечения $S = 0,50$ м² и высотой $H = 40$ см плавает в воде. Определите, какую работу надо совершить, чтобы полностью погрузить ее в воду.

12.47. Деревянная палочка длиной $l = 40$ см и площадью сечения $S = 0,50$ см², подвешенная за один конец с помощью легкой нити, плавает в воде, погружившись на половину длины. Она составляет угол $\alpha = 30^\circ$ с поверхностью воды. Определите работу силы натяжения нити по ее перемещению в вертикальное положение.

12.48. Тело, имеющее массу $m = 2,0$ кг и объем $V = 1,0$ дм³, находится в озере на глубине $h = 5,0$ м. Определите, какая работа должна быть совершена при его подъеме на высоту $H = 5,0$ м над поверхностью воды. Равна ли эта работа изменению потенциальной энергии тела? Объясните результат.

Дополнительные задачи

III.1. Внутри гладкой полусферы лежит груз массой m_1 , соединенный переброшенной через блок нитью с грузом массой m_2 (рис. 117). Определите отношение масс грузов, если угол между радиусом, проведенным к телу, и горизонтом $\alpha = 60^\circ$.

III.2. В сферической чаше лежит невесомый стержень с точечными массами $m_1 = 0,20$ кг и $m_2 = 0,40$ кг на концах (рис. 118). Его длина равна радиусу сферы, трение отсутствует. Определите, под каким углом к горизонту расположен стержень.

III.3. Какой наибольшей длины доска может быть забита между двумя вертикальными стенками, расположенными на расстоянии $l = 2,0$ м друг от друга (рис. 119), если коэффициент трения между доской и стенками $\mu = 0,40$? Массой доски пренебречь.

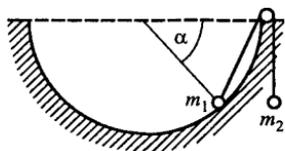


Рис. 117

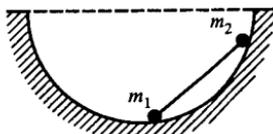


Рис. 118

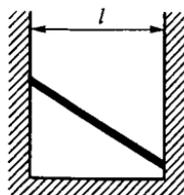


Рис. 119

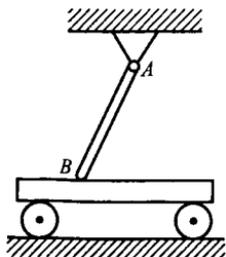


Рис. 120

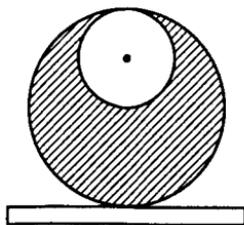


Рис. 121

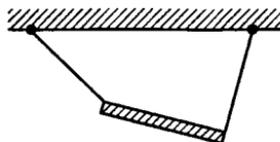


Рис. 122

III.4. Стержень AB , шарнирно закрепленный в точке A , опирается концом B на платформу (рис. 120). Какую минимальную силу нужно приложить для того, чтобы сдвинуть платформу с места? Масса стержня m , коэффициент трения стержня о платформу μ и угол, образуемый стержнем с вертикалью, равен α . Трением качения колес и трением в осях пренебречь.

III.5. Тяжелая однородная доска массой M упирается одним концом в угол между стенкой и полом, к другому концу привязан канат. Определите силу натяжения каната, если угол между доской и канатом $\beta = 90^\circ$. Как меняется сила натяжения каната с увеличением угла α между доской и полом, если угол β остается постоянным? Как меняется угол γ между направлением силы, действующей со стороны стенки и пола на доску, и стенкой?

III.6. Параллельно оси цилиндра радиусом R на расстоянии $r = R/2$ от его центра просверлили круглое отверстие радиусом r . Цилиндр лежит на дощечке, которую медленно поднимают за один конец (рис. 121). Найдите предельный угол наклона дощечки, при котором цилиндр еще будет находиться в равновесии. Коэффициент трения цилиндра о дощечку $\mu = 0,20$.

III.7. На двух невесомых нитях висит неоднородная палка (рис. 122). Определите положение ее центра тяжести.

III.8. К потолку на некотором расстоянии друг от друга подвешены невесомые нити. К ним прикрепили за концы стержень массой $m = 1,0$ кг так, что одна из нитей оказалась перпендикулярной стержню, и он составил с горизонтом угол $\alpha = 30^\circ$. Найдите силы натяжений нитей.

III.9. Вода в цилиндрическом сосуде с дном площадью $S = 2,0$ дм² плотно прижата поршнем массой $m = 1,0$ кг. Сверху на поршень давит стержень рычага, на который действует сила $F = 10$ Н (рис. 123). Определите, какое давление оказывает вода на дно сосуда, если $l_1 = 10$ см, $l_2 = 20$ см, $h = 10$ см.

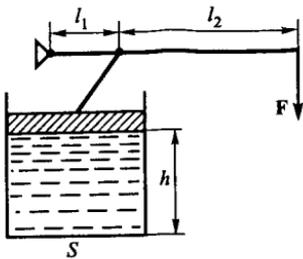


Рис. 123

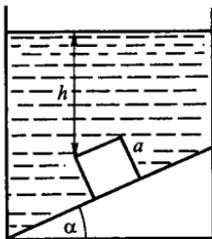


Рис. 124

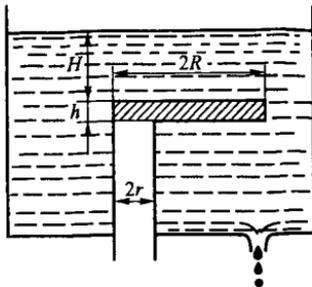


Рис. 125

III.10. Круглая дырка площадью S в дне сосуда закрыта пробкой, сделанной в виде конуса с площадью основания $4S$. При каком наибольшем значении плотности материала пробки можно добиться ее всплытия, доливая жидкость в сосуд? Плотность жидкости ρ_0 .

III.11. В сосуде, наполненном водой, находится на наклонном дне кубик из алюминия с ребром $a = 10$ см. Определите силу давления кубика на дно и силу трения между кубиком и дном. Между дном и нижней гранью вода не проникает, расстояние от ребра до поверхности воды $h = 50$ см. Угол наклона дна сосуда $\alpha = 30^\circ$ (рис. 124).

III.12. Из сосуда, заполненного водой, выходит труба радиусом r . Она закрыта краем круглой алюминиевой пластинки радиусом $R = 4r$ и толщиной $h = 5,0$ мм, которую прижимает к трубе сила давления воды (рис. 125). Из сосуда через маленькое отверстие вытекает вода. Определите, при каком уровне воды над пластинкой откроется труба.

Глава IV

МЕХАНИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ

§ 13. Кинематика гармонического колебательного движения

13.1. Зависимость координаты x от времени t имеет вид: 1) $x = b + a \cos(\omega t - \pi/3)$; 2) $x = a \sin^3 \omega t$; 3) $x = at \sin \omega t$; 4) $x = a \sin^2 \omega t$. Какие из зависимостей описывают гармонические колебания? Определите для этих случаев частоту ω_0 , амплитуду A , начальную фазу φ_0 , значение x , соответствующее положению равновесия.

13.2. Составьте уравнение гармонического колебания, если амплитуда колебаний $A = 5,0$ см, а период полного колебания $T = 0,50$ с.

13.3. Составьте уравнение гармонического колебания, если амплитуда колебания $A = 4,0$ см, а частота $\nu = 50$ Гц.

13.4. Два тела совершают колебания с одинаковой частотой. Постройте графики зависимостей координат тел от времени для случаев: 1) колебания тел происходят в фазе; 2) сдвиг фаз между колебаниями тел составляет $\pi/4$; 3) колебания тел происходят в противофазе.

13.5. Определите, за какую часть периода T тело, совершающее гармонические колебания, проходит: 1) весь путь от среднего положения до крайнего; 2) первую половину пути; 3) вторую его половину.

13.6. Определите, какую часть периода T груз маятника находится в пределах $a = 1,0$ см от положения равновесия, если амплитуда его колебаний $A = 2,0$ см.

13.7. Зависимость координаты гармонического колебания от времени имеет вид: $x = A \cos(\omega_0 t + \varphi_0)$. Найдите: 1) зависимости от времени скорости и ускорения; 2) амплитуды скорости и ускорения; 3) сдвиги по фазе: а) скорости и б) ускорения относительно координаты; 4) сдвиг по фазе ускорения относительно скорости.

13.8. Точка равномерно движется по окружности. Проекция на линию, лежащую в плоскости ее движения (рис. 126), изменяется со временем по гармоническому закону. Запишите, как меняются со временем координата x точки, проекция скорости на ось x , проекция ускорения на ось x , если в начальный момент $x = 0$. Постройте графики зависимостей $x(t)$, $v_x(t)$, $a_x(t)$.

13.9. Решите задачу 13.8, если в начальный момент $x = R$. Определите разность фаз между координатой и скоростью, координатой и ускорением, скоростью и ускорением.

13.10. Точка совершает колебания вдоль оси x по закону $x = A \cos(\omega t - \pi/4)$. Постройте графики зависимостей: смещения x , скорости v_x и ускорения a_x от времени.

13.11. Грузик на пружине колеблется вдоль одной прямой с амплитудой $A = 2,0$ см. Период колебаний $T = 2,0$ с. В начальный момент времени грузик проходил положение равновесия. Определите его скорость и ускорение через время $t = 0,25$ с.

13.12. По условию задачи 13.11 определите среднюю скорость движения грузика от положения равновесия до максимального отклонения от него.

13.13. Точка совершает гармонические колебания вдоль некоторой прямой с периодом $T = 0,60$ с и амплитудой $A = 10$ см. Найдите среднюю скорость за время, в течение которого

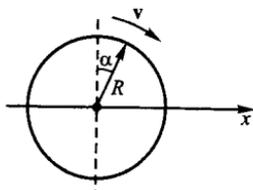


Рис. 126

она проходит путь $A/2$: 1) из крайнего положения; 2) из положения равновесия.

13.14. Движение груза, прикрепленного к пружине, описывается уравнением $x = A \cos \omega t$, где $A = 10$ мм, а $\omega = 50$ рад/с. Определите среднюю путевую скорость за первые три четверти периода.

13.15. Частица совершает гармонические колебания вдоль оси x около положения равновесия. Циклическая частота колебаний $\omega = 4,0$ рад/с. Определите, в какой момент времени после прохождения положения равновесия частица будет иметь координату $x = 25$ см и скорость $v_x = 100$ см/с.

13.16. Движение материальной точки вдоль оси x описывается уравнением (м) $x = 0,02 \cos \pi t$. Определите, в какой момент времени после прохождения положения равновесия точка будет иметь координату $x_1 = 10$ мм. Определите ее путь, перемещение и среднюю скорость за этот интервал времени.

§ 14. Динамика гармонического колебательного движения

14.1. Частица массой m может двигаться вдоль оси x . На нее действует сила $F_x = -kx$. 1) Напишите уравнение движения; 2) установите, какое движение она будет совершать, если ее толкнуть, сообщив скорость v_0 ; 3) определите (те, что возможно) параметры этого движения; 4) назовите, какие еще величины надо указать для нахождения остальных параметров.

14.2. Определите, чему равны: 1) сила, действующая на частицу, совершающую гармоническое колебание, при прохождении ею положения равновесия; 2) ее скорость в момент максимального смещения от положения равновесия.

14.3. Энергия частицы массой m представляет собой следующую функцию ее координаты x и скорости v : 1) $E = mv^2/2 - kx^2/2$; 2) $E = mv^2/2 + kx^2/2$; 3) $E = mv^2/2 + kx^4/2$, где константа $k > 0$. Определите, в каких случаях частица совершает гармоническое колебание. Найдите для этих случаев частоту колебания.

14.4. Частица массой $m = 40$ г совершает гармонические колебания с амплитудой $A = 2,0$ см и частотой $\nu = 0,25$ Гц. Начальная фаза $\varphi_0 = \pi/3$. Колебания происходят по закону синуса. Запишите уравнение колебаний и определите значение максимальной силы, действующей на частицу.

14.5. Грузик, прикрепленный к пружине жесткостью $k = 150$ Н/м, совершает гармонические колебания с амплитудой $A = 1,0$ см и периодом $T = 2,0$ с. Начальная фаза $\varphi_0 = \pi/4$. Колебания происходят по

закону косинуса. Запишите уравнение колебаний и определите энергию маятника.

14.6. На нити длиной l подвесили грузик массой m . Грузик отклоняют от положения равновесия и отпускают. Нарисуйте силы, действующие на него. Определите период его малых колебаний (математического маятника). Как изменится период колебаний, если точка подвеса движется с ускорением a , направленным: 1) вниз; 2) вверх; 3) горизонтально?

14.7. На гладком столе находится грузик массой m , прикрепленный к выступу пружины жесткостью k . Его отклоняют от положения равновесия и отпускают. Нарисуйте силы, действующие на грузик. Определите его период колебаний на пружине (пружинного маятника).

14.8. Покажите, что период колебаний пружинного маятника в задаче 14.7 не изменится, если пружину с грузиком подвесить вертикально.

14.9. Изменится ли период колебаний маятника, если его поместить в воду? Маятнику придана идеально обтекаемая форма, и можно принять, что трение о воду равно нулю (рассмотреть математический и пружинный маятники).

14.10. В Исаакиевском соборе в Санкт-Петербурге висел маятник длиной $l = 98$ м. Определите, за какое время он совершал полное колебание.

14.11. Для определения ускорения свободного падения был взят маятник, состоящий из проволоки длиной $l = 90,7$ см и металлического шарика диаметром $d = 40,0$ мм. Продолжительность $N = 100$ полных колебаний равна $t = 193$ с. Вычислите по этим данным ускорение свободного падения.

14.12. Когда груз висел на вертикальной пружине, ее удлинение было $\Delta l = 5,0$ см. Затем его оттянули и отпустили, вследствие чего он начал колебаться. Определите период колебаний. Постройте график зависимости периода колебаний от массы груза.

14.13. Определите период малых вертикальных колебаний тела массой m в системе, изображенной на рис. 127, *а*, и малых горизонтальных в системе, изображенной на рис. 127, *б*. Жесткости пружин равны k_1 и k_2 . Трением пренебречь.

14.14. Определите, на сколько будут отличаться показания ручных часов и часов-ходиков через сутки, после того как их подняли на высоту $h = 400$ м над поверхностью земли.

14.15. Период колебаний математического маятника на поверхности Земли $T = 1,0$ с. Определите период колебаний этого маятника

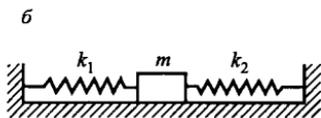
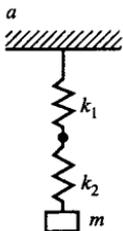


Рис. 127

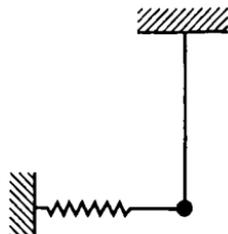


Рис. 128

на Луне, если ускорение свободного падения на Луне $g_{\text{л}} = 1,6 \text{ м/с}^2$, на Земле $g = 9,8 \text{ м/с}^2$.

14.16. Один математический маятник имеет период $T_1 = 3,0 \text{ с}$, а другой $T_2 = 4,0 \text{ с}$. Определите период колебаний маятника, длина которого равна сумме длин указанных маятников.

14.17. Подвешенный на пружине груз массой $m_1 = 400 \text{ г}$ совершает колебания с периодом $T_1 = 2,0 \text{ с}$. Определите, каким станет период колебаний, если масса груза будет $m_2 = 100 \text{ г}$.

14.18. На невесомой нерастяжимой нити подвешен маленький шарик. Период собственных колебаний такого маятника $T = 1,6 \text{ с}$. Определите максимальный угол отклонения нити от вертикали, если известно, что скорость шарика при прохождении положения равновесия $v_0 = 2,4 \text{ м/с}$.

14.19. Когда груз неподвижно висел на пружине, ее удлинение было равно $x_0 = 3,6 \text{ см}$. Определите период и амплитуду колебаний, если ему сообщить начальную скорость $v_0 = 1,2 \text{ м/с}$, направленную вертикально вверх.

14.20. Определите циклическую частоту малых колебаний математического маятника массой m и длиной l , если к его грузику прикреплена горизонтальная пружина с коэффициентом упругости k (рис. 128), другой конец которой закреплен в неподвижной стене. В положении равновесия пружина не деформирована. Массой пружины пренебречь.

14.21. Шарик, подвешенный на нити длиной $l = 1,0 \text{ м}$, отклонили на небольшой угол от положения равновесия и отпустили. Определите, через какое время он вернется в исходную точку, если при движении нить была задержана штифтом, поставленным на одной вертикали с точкой подвеса посередине длины нити.

14.22. Определите период малых колебаний ареометра, погруженного в воду, которому сообщили небольшой толчок в вертикальном направлении. Масса ареометра $m = 50 \text{ г}$, радиус его трубки $R = 5,0 \text{ мм}$. Сопротивлением воды пренебречь.

14.23. Математический маятник, отведенный на угол α от вертикали, проходит положение равновесия со скоростью v . Найдите частоту собственных колебаний. Как изменится частота собственных колебаний, если его отвести на угол 2α от вертикали?

14.24. На идеально гладкой горизонтальной плоскости (см. рис. 127, б) расположен брусок массой $m = 1,0$ кг, скрепленный с пружинами, жесткость каждой из которых $k = k_1 = k_2 = 12,5$ Н/см. Определите, какой будет амплитуда колебаний этого бруска, если ему сообщить начальную скорость $v_0 = 2,0$ м/с вдоль оси пружин.

14.25. Маятник, состоящий из тяжелого шарика массой m , подвешенного на нити длиной l , отвели на угол α от вертикали и отпустили. Определите энергию, сообщенную маятнику. Как изменится энергия, если его отвести на угол 2α от вертикали?

14.26. Тело массой m , прикрепленное к пружине жесткостью k , колеблется около положения равновесия с амплитудой A . Выразите через зависимость от времени его: 1) потенциальную энергию; 2) кинетическую энергию; 3) полную энергию. Постройте графики этих зависимостей.

14.27. Прикрепленный к вертикальной пружине груз медленно опускают до положения равновесия, причем пружина растягивается на длину x_0 . Определите, на сколько растянется пружина, если тому же грузу предоставить возможность падать свободно с такого положения, при котором пружина не растянута. Какой максимальной скорости он при этом достигнет? Каков характер движения? Массой пружины пренебречь.

14.28. Тело массой m упало с высоты h на чашу пружинных весов (рис. 129). Массы чаши и пружины пренебрежимо малы, жесткость пружины k . Прилипнув к чаше, тело начинает совершать гармонические колебания в вертикальном направлении. Найдите амплитуду колебаний и их энергию.

14.29. На горизонтальной пружине укреплено тело массой $M = 10$ кг, лежащее на абсолютно гладком столе. В него попадает и застревает пуля массой $m = 10$ г, летящая со скоростью $v = 500$ м/с, направленной вдоль оси пружины. Тело вместе с застрявшей в нем пулей отклоняется от положения равновесия и начинает колебаться относительно него с амплитудой $A = 10$ см. Определите период колебаний.

14.30. На некоторых участках старых, объезженных грунтовых дорог автомобиль начинает сильно раскачиваться. Объясните это явление. Как зависит

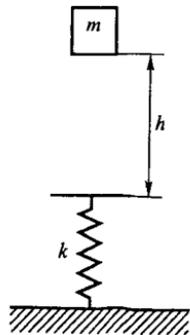


Рис. 129

скорость, при которой наступает раскачивание, от загруженности автомобиля?

14.31. Человек идет по висячему мосту со скоростью $v = 3,6$ км/ч. Мост начинает особенно сильно раскачиваться, когда длина шага $l = 60$ см. Определите, на сколько прогибается мост, если человек стоит на нем неподвижно.

14.32. Определите, при какой скорости поезда маятник длиной $l = 11$ см, подвешенный в вагоне, особенно сильно раскачивается, если расстояние между стыками рельсов $L = 12,5$ м.

14.33. Определите, какой должна быть длина нити математического маятника, висящего в вагоне поезда, чтобы амплитуда его вынужденных колебаний при движении поезда не достигала максимального значения. Предельная скорость поезда $v = 72$ км/ч, расстояние между стыками рельсов $L = 16$ м.

§ 15. Волны. Звук

15.1. Звук пушечного выстрела дошел до наблюдателя через время $\tau = 30$ с после того, как была замечена вспышка. Расстояние между пушкой и наблюдателем $l = 10$ км. Определите скорость распространения звука в воздухе.

15.2. Первый раскат грома дошел до наблюдателя через время $\tau = 12$ с после того, как была замечена вспышка молнии. Определите, на каком расстоянии от наблюдателя возникла молния.

15.3. Скорость распространения звука в воде была определена следующим образом: на поверхности большого озера находились два корабля на расстоянии $l = 14$ км друг от друга. На одном из кораблей было установлено приспособление, создававшее одновременно звуковой сигнал в воде и световой в воздухе, а на другом находился наблюдатель, отмечавший по часам время приема того и другого сигнала. Оказалось, что звуковой сигнал был замечен спустя $\tau = 10$ с после светового. Вычислите по этим данным скорость распространения звука в воде.

15.4. Наиболее низкий звук, еще воспринимаемый человеком с нормальным слухом, имеет частоту $\nu = 16$ Гц. Определите длину волны (в воздухе), соответствующую этой частоте.

15.5. Определите длину звуковой волны в воде, вызываемой источником колебаний с частотой $\nu = 200$ Гц, если скорость звука в воде равна $v = 1450$ м/с.

15.6. Определите, во сколько раз изменится длина звуковой волны при переходе звука из воздуха в воду. Скорость звука в воде $v_1 = 1450$ м/с, в воздухе $v_2 = 340$ м/с.

15.7. Звуковые колебания частотой ν имеют в первой среде длину волны λ_1 , а во второй — λ_2 . Как изменится скорость распространения этих колебаний при переходе из первой среды во вторую, если $\lambda_1 = 2\lambda_2$?

15.8. Какие волны, продольные или поперечные, распространяются в: 1) газе; 2) жидкости; 3) твердом теле?

15.9. Продольными или поперечными являются волны, возбуждаемые: 1) смычком в струне; 2) струной в воздухе?

15.10. Составьте уравнение плоской волны, распространяющейся в воздухе, частицы которой колеблются с частотой $\nu = 2$ кГц и амплитудой $A = 1,7$ мкм. Скорость распространения звука в воздухе $v = 340$ м/с.

15.11. Составьте уравнение плоской волны, распространяющейся в среде, точки которой колеблются с частотой $\nu = 1,5$ кГц. Длина волны, соответствующая данной частоте, равна $\lambda = 15$ см. Максимальное смещение точек среды от положения равновесия в $n = 200$ раз меньше длины волны.

15.12. В однородной упругой среде распространяется плоская волна вида $s = A \cos(\omega t - kx)$. Изобразите для момента $t = 0$ графики зависимостей от x величин s и v_x .

15.13. Уравнение бегущей плоской звуковой волны имеет вид $s = 60 \cos(1800t - 5,3x)$, где s — смещение, мкм; t — время, с; x — расстояние, м. Найдите отношение амплитуды смещения частиц среды к длине волны.

15.14. В однородной упругой среде распространяется плоская волна вида $s = 2,5 \cos(1700t - 5x)$, где s — смещение, мкм; t — время, с; x — расстояние, м. Определите скорость распространения волны v и максимальную скорость смещения частиц среды u_{\max} .

15.15. Скорость звука в воде $v = 1450$ м/с. Определите расстояние между двумя ближайшими точками, совершающими колебания в противоположных фазах, если частота колебаний $\nu = 725$ Гц.

15.16. Волна распространяется со скоростью $v = 360$ м/с при частоте $\nu = 450$ Гц. Определите разность фаз двух точек волны, отстоящих друг от друга на расстоянии $\Delta x = 20$ см.

15.17. Какой камертон звучит дольше: закрепленный в тисках или стоящий на резонаторном ящике?

15.18. В комнате обычного размера эхо не наблюдается, хотя в ней имеется шесть отражающих поверхностей. Чем объясняется такое кажущееся отсутствие отражения звуков?

15.19. Громкость воспринимаемого звука убывает обратно пропорционально квадрату расстояния от источника. Ученик, сидящий в

пятом ряду, находится приблизительно втрое дальше от учителя, чем сидящий в первом ряду, однако условия слышимости в обоих случаях мало отличаются друг от друга. Почему?

15.20. Определите изменение частоты звукового сигнала при прохождении поезда со скоростью $u = 90$ км/ч мимо пассажира, стоящего на платформе. Частота сигнала неподвижного поезда $\nu_0 = 680$ Гц. Скорость звука $v = 340$ м/с.

Дополнительные задачи

IV.1. Точка, совершающая гармонические колебания, в некоторый момент времени имеет смещение $x = 4,0$ см, скорость $v = 5,0$ см/с и ускорение $a = 0,80$ м/с². Определите: 1) амплитуду колебаний; 2) период колебаний; 3) фазу колебаний в рассматриваемый момент времени.

IV.2. В начальный момент времени смещение тела $x_0 = 1,7$ см, а скорость $v_0 = -1,0$ м/с. Масса тела $m = 0,40$ кг, полная энергия $E = 800$ мДж. Напишите уравнение колебания и определите путь, пройденный за время $t = \pi/10$ с.

IV.3. Тело массой m скреплено пружиной жесткостью k с телом массой M (рис. 130). Пружину сжимают и отпускают. Определите периоды колебаний тел. Трение отсутствует.

IV.4. Однородную доску положили на два быстро вращающихся ролика (рис. 131). Расстояние между осями роликов $l = 20$ см, коэффициент трения между доской и роликами $\mu = 0,18$. Покажите, что доска будет совершать гармонические колебания. Определите их период.

IV.5. Представим шахту, пронизывающую Землю по ее оси вращения. Считая Землю за однородный шар и пренебрегая сопротивлением воздуха, найдите: 1) закон движения тела, упавшего в шахту; 2) сколько времени понадобится этому телу, чтобы достигнуть противоположного конца шахты; 3) скорость тела в центре Земли.

IV.6. Грузик на нити укреплен на тележке. В некоторый момент времени тележка начинает двигаться с ускорением a . Определите, на какой максимальный угол от вертикали отклонится грузик.

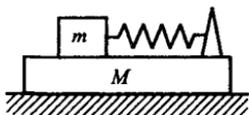


Рис. 130



Рис. 131

IV.7. Груз массой $m = 100$ г подвешен к пружине жесткостью $k = 1,6$ кН/м с помощью нити. Какова должна быть амплитуда его колебаний, чтобы они были гармоническими?

IV.8. Пружинный маятник вывели из положения равновесия и отпустили. Определите, через какое время (в долях периода) кинетическая энергия колеблющегося тела будет равна потенциальной энергии пружины.

IV.9. Плоская бегущая волна представлена уравнением $s = 0,05 \sin(1980t - 6x)$, где s — смещение частицы, см; t — время, с; x — расстояние по оси, вдоль которой распространяется волна, м. Определите разность фаз между колеблющимися точками, находящимися на расстоянии $\Delta x = 35$ см друг от друга.

IV.10. Как изменится звучание ноты «до» в третьей октаве (частота колебаний $\nu_1 = 261$ Гц), если скорость воспроизведения увеличить в $n = 1,4$ раза?

Часть вторая

МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА.
ТЕРМОДИНАМИКА

Глава V

МОЛЕКУЛЯРНО-КИНЕТИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ
СТРОЕНИЯ ВЕЩЕСТВА

§ 16. Масса и размеры молекул

16.1. Определите, во сколько раз яблоко массой $m = 200$ г тяжелее атома водорода.

16.2. Вычислите массу: 1) атома водорода; 2) молекулы воды; 3) атома золота.

16.3. Где больше атомов: в стакане воды или стакане ртути?

16.4. В озеро глубиной $h = 20$ м и площадью поверхности $S = 10$ км² бросили кристаллик поваренной соли массой $m = 10$ мг. Определите, сколько молекул соли оказалось бы в наперстке воды объемом $V = 2,0$ см³, зачерпнутом из озера, если считать, что соль, растворившись, распределилась равномерно.

16.5. Оцените для железа: 1) число атомов в объеме $V = 1,0$ см³; 2) расстояние между центрами соседних атомов.

16.6. Оцените для идеального газа при нормальных условиях: 1) число молекул в 1,0 см³; 2) среднее расстояние между соседними молекулами.

16.7. Вычислите концентрацию молекул: 1) идеального газа при нормальных условиях; 2) воды; 3) серебра.

16.8. Определите плотность углекислого газа при нормальных условиях.

16.9. Определите количество молей и число молекул, содержащихся в $m = 1,0$ кг воды.

16.10. Какой объем имеют $N = 1,0 \cdot 10^{22}$ атомов алмаза?

16.11. Известно, что нельзя заставить капельку нефти объемом $V = 1,0$ мм³ расплыться по поверхности воды так, чтобы она заняла

площадь больше $S = 3,0 \text{ м}^2$. Оцените по этим данным минимальные размеры частицы нефти.

16.12. Расстояние между центрами соседних атомов золота равно $r = 2,9 \cdot 10^{-10} \text{ м}$. Сколько атомов уложится по толщине $h = 0,10 \text{ мкм}$ листочка золота?

16.13. Считая, что объем молекулы воды равен $V = 1,1 \cdot 10^{-23} \text{ см}^3$, найдите, какой процент от всего пространства, занятого водой, приходится на долю самих молекул.

16.14. Считая, что диаметр молекулы кислорода равен $d = 3,0 \cdot 10^{-8} \text{ см}$, оцените, какой длины получилась бы нить, если бы все молекулы, содержащиеся в $m = 1,0 \text{ мг}$ кислорода, были расположены в один ряд, вплотную друг к другу. Во сколько раз длина этой нити оказалась бы больше среднего расстояния от Земли до Луны ($s = 3,8 \cdot 10^8 \text{ м}$)?

§ 17. Движение молекул. Взаимодействие молекул

17.1. Скорость движения газовых молекул при обычных условиях измеряется сотнями метров в секунду. Почему же процесс диффузии газов происходит сравнительно медленно?

17.2. Хорошо откачанная лампа накаливания вместимостью $V = 10 \text{ см}^3$ имеет трещину, в которую ежесекундно проникает $z = 10^6$ частиц газа. Определите, сколько времени понадобится для наполнения лампы до нормального давления, если скорость проникновения газа остается постоянной. Температура $t = 0 \text{ }^\circ\text{C}$.

17.3. Почему броуновское движение особенно заметно у наиболее мелких взвешенных частиц, а у более крупных оно происходит менее интенсивно?

17.4. Чем объяснить возрастание скорости диффузии с повышением температуры?

17.5. За время $\tau = 10 \text{ сут}$ полностью испарилось из стакана $m = 100 \text{ г}$ воды. Определите, сколько в среднем вылетало молекул с поверхности воды в секунду.

17.6. Каков характер теплового движения в атомарных газах? Как движутся атомы в кристалле?

17.7. Что общего и в чем различие у льда, воды и водяного пара с точки зрения молекулярно-кинетической теории?

17.8. Почему из осколков разбитого стакана невозможно собрать целый стакан?

17.9. Что обладает большей внутренней энергией: вода при 100°C или такая же масса водяного пара при той же температуре?

17.10. Как изменилось бы давление в сосуде с газом, если бы внезапно исчезли силы притяжения между молекулами?

§ 18. Тепловое расширение твердых и жидких тел

18.1. Почему с изменением температуры тела изменяют свои размеры? Зависят ли коэффициенты линейного и объемного расширения от температуры?

18.2. Куб, вырезанный из монокристалла, при нагревании меняет не только объем, но и форму. Почему?

18.3. Железную линейку длиной $l_1 = 30$ см при $t_1 = 0^\circ\text{C}$ нагревают на $\Delta t = 10^\circ\text{C}$. Железный стержень длиной $l_2 = 30$ см при $t_2 = 10^\circ\text{C}$ нагревают на $\Delta t = 10^\circ\text{C}$. Определите, на сколько увеличиваются длины линейки и стержня.

18.4. Определите, как должны относиться длины l_1 и l_2 двух стержней, сделанных из разных материалов, с коэффициентами линейного расширения α_1 и α_2 , чтобы при любой температуре разность длин стержней оставалась постоянной.

18.5. Почему для снятия внутренних напряжений в материалах их после нагрева охлаждают очень медленно?

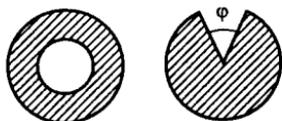
18.6. Металлическое кольцо и диск с вырезанным сектором с углом раствора φ (рис. 132) нагревают. Изменится ли внутренний диаметр кольца? Изменится ли угол раствора φ ?

18.7. Объясните, почему стеклянная банка, если ее поставить на огонь, разлетится на кусочки, а металлическая кастрюля расплавится. Почему химическую посуду делают из кварца?

18.8. Определите напряжения, возникающие в трамвайных рельсах при температуре $t_2 = -10^\circ\text{C}$, если их укладывали при температуре $t_1 = 10^\circ\text{C}$.

18.9. Стальная струна длиной $l = 3,0$ м, площадью поперечного сечения $S = 1,0$ мм² натянута между двумя стенами. Определите, на сколько изменится сила натяжения при охлаждении ее на $\Delta T = 30$ К.

Как изменится потенциальная энергия? Точки закрепления считать неподвижными.



Р и с. 132

18.10. Покажите, что коэффициент объемного расширения β в три раза больше коэффициента линейного расширения α с достаточно большой точностью.

18.11. Медный лист площадью $S_0 = 0,30 \text{ м}^2$ при $t_1 = 20 \text{ °С}$ нагрели до $t_2 = 600 \text{ °С}$. Определите, как изменилась его площадь.

18.12. При температуре $t = 0 \text{ °С}$ длина алюминиевого стержня $l = 50 \text{ см}$, а железного на $\Delta l = 0,50 \text{ мм}$ больше. Сечения стержней одинаковы. Определите, при какой температуре t_1 будут одинаковы их длины и при какой температуре t_2 — объемы.

18.13. Определите площадь поперечного сечения стальной проволоки, если известно, что под действием силы $F = 420 \text{ Н}$ она удлинится на столько же, на сколько при нагревании $\Delta t = 20 \text{ °С}$.

18.14. В железный бидон вместимостью $V_0 = 10 \text{ л}$ налит до самого верха керосин при температуре $t_1 = 5 \text{ °С}$. Определите, какой объем керосина вытечет, если поместить бидон в комнате, где температура $t_2 = 20 \text{ °С}$. Расширение бидона не учитывать.

18.15. Какую поправку надо внести в решение предыдущей задачи, если учитывать расширение бидона?

18.16. Найдите плотность ртути при температуре $t = 100 \text{ °С}$.

18.17. Вес бензина при $t_1 = 0 \text{ °С}$ $P_1 = 88 \text{ Н}$. При $t_2 = 60 \text{ °С}$ вес бензина, занимающего тот же объем, $P_2 = 83 \text{ Н}$. Определите коэффициент его объемного расширения.

18.18. Разность температур в коленах сообщающегося сосуда равна Δt . При этом в одном колене высота жидкости h_1 , в другом h_2 . Определите коэффициент объемного расширения жидкости. Чем удобен этот метод определения коэффициентов объемного расширения жидкостей?

18.19. Смешали две равные массы воды с температурами $t_1 = 1 \text{ °С}$ и $t_2 = 7 \text{ °С}$. Изменится ли общий объем воды, когда температура установится?

18.20. Почему даже в очень сильные морозы озера не промерзают до дна?

18.21. Толщина биметаллической пластинки, составленной из одинаковых полосок стали и цинка, равна $d = 0,10 \text{ мм}$. Определите радиус ее кривизны при повышении температуры на $\Delta T = 10 \text{ К}$ от температуры, при которой она была ровной.

18.22. Алюминиевый шарик массой $m = 50 \text{ г}$ опущен на нити в керосин. Определите, на сколько изменится сила натяжения нити, если всю систему нагреть на $\Delta T = 50 \text{ К}$.

Глава VI

СВОЙСТВА ГАЗОВ

§ 19. Молекулярно-кинетическая теория газов

19.1. Какие молекулы в атмосфере Земли движутся быстрее: кислорода или азота?

19.2. Температура идеального газа увеличилась в два раза. Как изменились: 1) средняя квадратичная скорость молекул; 2) кинетическая энергия одной молекулы; 3) внутренняя энергия газа?

19.3. На графике (рис. 133) приведены зависимости внутренней энергии двух идеальных газов от температуры. Массы газов одинаковы. Какой из графиков соответствует неону, а какой — гелию?

19.4. Вычислите среднюю квадратичную скорость атомов гелия при температуре $t = 27^\circ\text{C}$.

19.5. Определите среднюю квадратичную скорость поступательного движения молекул кислорода, если его плотность $\rho = 220\text{ г/м}^3$ при давлении $p = 220\text{ кПа}$.

19.6. При повышении температуры идеального газа на $\Delta T_1 = 150\text{ К}$ средняя квадратичная скорость его молекул увеличилась с $v_1 = 400\text{ м/с}$ до $v_2 = 500\text{ м/с}$. Определите, на сколько нужно нагреть этот газ, чтобы увеличить среднюю квадратичную скорость его молекул с $u_1 = 500\text{ м/с}$ до $u_2 = 600\text{ м/с}$.

19.7. Определите концентрацию молекул идеального газа при нормальном давлении и температуре $t = 23^\circ\text{C}$. Сколько таких молекул будет содержаться в колбе вместимостью $V = 200\text{ мл}$?

19.8. Определите вместимость сосуда, в котором находится азот массой $m = 3,2\text{ г}$ при давлении $p = 160\text{ кПа}$, если средняя квадратичная скорость поступательного движения его молекул $v = 1,5\text{ км/с}$.

19.9. Определите плотность кислорода при давлении $p = 120\text{ кПа}$, если средняя квадратичная скорость поступательного движения его молекул $v = 1,5\text{ км/с}$. Какой будет плотность водорода при том же давлении и температуре?

19.10. В закрытом сосуде находится идеальный газ. Как изменится его давление, если средняя квадратичная скорость молекул увеличится на $n = 20\%$?

19.11. Определите давление одноатомного газа, занимающего объем $V = 2,0\text{ л}$, если его внутренняя энергия $U = 300\text{ Дж}$.

19.12. Определите, какая температура соответствует средней квадратичной скорости поступательного движения молекул углекислого газа $v = 720\text{ км/ч}$.

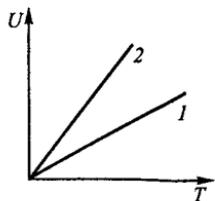


Рис. 133

19.13. Почему в атмосфере Земли нет молекул водорода? Почему у Луны нет атмосферы?

19.14. Определите, сколько молекул кислорода находится в сосуде вместимостью $V = 1,0$ л, если температура $t = 150$ °С, а давление $p = 0,132$ нПа.

19.15. Сколько столкновений в секунду испытывают молекулы кислорода, если средняя длина свободного пробега при нормальных условиях равна $\lambda = 65$ нм?

19.16. Сосуд, содержащий некоторое количество одноатомного газа, движется со скоростью v , затем внезапно останавливается. На сколько увеличится при этом квадрат средней квадратичной скорости молекул?

19.17. Определите изменение внутренней энергии $\nu = 10$ моль одноатомного газа при его нагревании на $\Delta T = 100$ К.

§ 20. Уравнение состояния идеального газа. Газовые законы

20.1. Запишите уравнение состояния идеального газа, используя в качестве параметров p, V, T : 1) массу m и молярную массу M ; 2) количество молей ν ; 3) число частиц в газе N ; 4) концентрацию молекул n ; 5) плотность газа ρ и молярную массу M .

20.2. На диаграмме p, V (рис. 134) изображены четыре состояния идеального газа. Чем отличаются состояния: а) 3 и 4; б) 3 и 2; в) 3 и 1? Укажите состояния с наибольшей и наименьшей внутренней энергией.

20.3. Каков объем $\nu = 0,25$ моля идеального газа при давлении $p = 83$ кПа и температуре $t = 127$ °С?

20.4. Кислород при температуре $t = 77$ °С и давлении $p = 0,20$ МПа занимает объем $V = 10$ л. Какова его масса?

20.5. В сосуде вместимостью $V = 2$ л находится $m = 25$ г газа при температуре $t = 27$ °С и давлении $p = 1,85$ кПа. Какой это газ?

20.6. Когда из сосуда выпустили некоторое количество газа, давление в нем упало на 40 %, а термодинамическая температура на 10 %. Какую часть газа выпустили?

20.7. Нарисуйте график изменения плотности идеального газа в зависимости от температуры при изотермическом, изобарном и изохорном процессах.

20.8. На рис. 135 изображены две изотермы для одной и той же массы газа. Чем отличаются состоя-

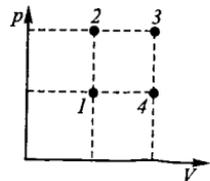


Рис. 134

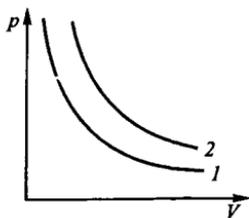


Рис. 135

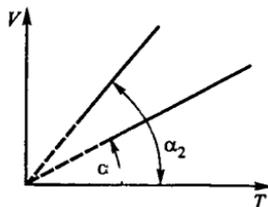


Рис. 136

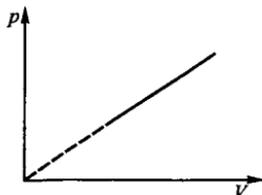


Рис. 137

ния, если газы одинаковы? Чем отличаются газы, если их температуры одинаковы?

20.9. На рис. 136 представлены две изобары для одной и той же массы некоторого газа. Как относятся давления газа, если углы наклона изобары к оси абсцисс равны α_1 и α_2 ?

20.10. На рис. 137 представлен график изменения состояния идеального газа в координатах p, V . Изобразите этот процесс в координатах V, T .

20.11. По графику, приведенному на рис. 138, определите, как изменится объем идеального газа при переходе из состояния 1 в состояние 2.

20.12. При расширении газа при постоянной температуре была получена зависимость p от V , приведенная на рис. 139. Что происходило с газом?

20.13. По графику, приведенному на рис. 140, определите, как изменялось давление идеального газа при переходе из состояния 1 в состояние 2.

20.14. При изобарном нагревании была получена зависимость V от T , изображенная на рис. 141. Что происходило с газом?

20.15. На рис. 142 даны параметры двух состояний газа. Требуется совершить переход из состояния 1 в состояние 2 с помощью: 1) изобары и изотермы; 2) изотермы и изохоры; 3) изобары и изохоры. Изобразите в координатах p, T каждый из указанных переходов.

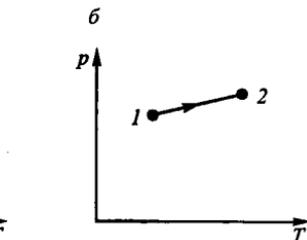
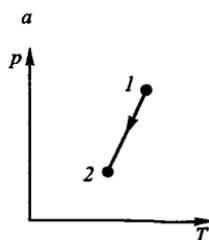


Рис. 138

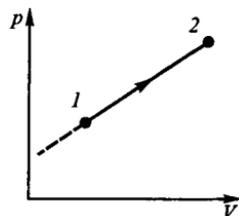


Рис. 139

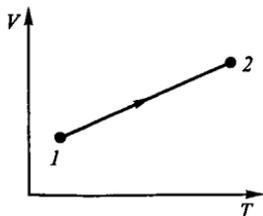


Рис. 140

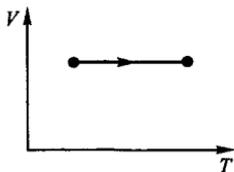


Рис. 141

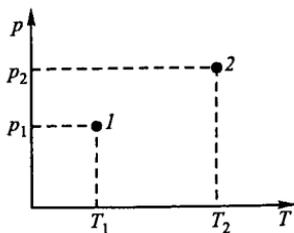


Рис. 142

20.16. На рис. 143 представлен замкнутый цикл. Изобразите эту диаграмму в координатах p, T и V, T .

20.17. На рис. 144 изображен замкнутый цикл, состоящий из изохоры, изобары и изотермы. Представьте этот цикл в координатах p, T и V, T .

20.18. Изобразите в координатах V, T и p, V цикл, показанный на рис. 145.

20.19. На рис. 146 представлен замкнутый цикл. Изобразите эту диаграмму в координатах p, T и p, V .

20.20. По графикам, приведенным на рис. 147, определите, как изменялась температура идеального газа.

20.21. Объем газа в цилиндре при давлении $p_1 = 2,5$ атм был равен $V_1 = 7,5$ л. Определите, каким стал объем при давлении $p_2 = 90$ кПа, если температура не изменилась.

20.22. Давление газа в баллоне при температуре $t_1 = 20$ °С было равно $p_1 = 0,75$ атм. Определите, каким оно стало при температуре $t_2 = 120$ °С.

20.23. Температура газа в цилиндре при объеме $V_1 = 10$ л была равна $t_1 = 17$ °С. Определите, какой она стала при объеме $V_2 = 12$ л, если давление не изменилось.

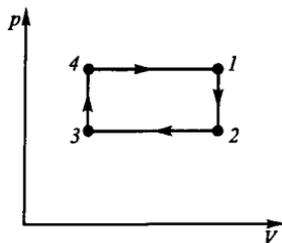


Рис. 143

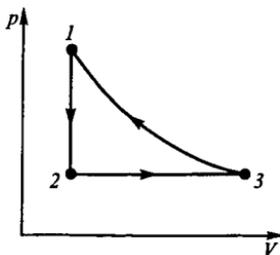


Рис. 144

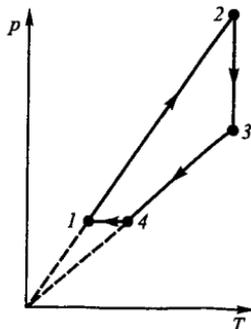


Рис. 145

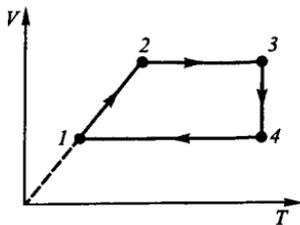


Рис. 146

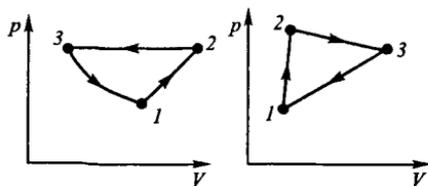


Рис. 147

20.24. Определите, на сколько изменится масса воздуха в открытом сосуде, если его нагреть от температуры $t_1 = 27^\circ\text{C}$ до $t_2 = 127^\circ\text{C}$. Начальная масса воздуха $m_1 = 100$ г. Изменением вместимости сосуда при нагревании пренебречь. Постройте график зависимости массы воздуха в открытом сосуде от температуры.

20.25. Воздух в открытом сосуде медленно нагрели до $T_1 = 400$ К, затем, герметично закрыв сосуд, охладили до $T_2 = 280$ К. Определите, на сколько при этом изменилось давление газа.

20.26. Определите, во сколько раз увеличится объем воздушного шара, если его внести с улицы в теплое помещение. Температура на улице $t_1 = -3^\circ\text{C}$, в помещении $t_2 = +27^\circ\text{C}$.

20.27. Объем некоторой массы газа при нагревании на $\Delta T = 10$ К при постоянном давлении увеличился на $n = 0,030$ своего первоначального объема. Определите начальную температуру газа.

20.28. Определите, до какой температуры при нормальном атмосферном давлении надо нагреть кислород, чтобы его плотность стала равна плотности азота при нормальных условиях.

20.29. Определите, какая масса воздуха выйдет из комнаты, если температура возросла с $t_1 = 10^\circ\text{C}$ до $t_2 = 20^\circ\text{C}$. Вместимость комнаты $V = 60$ м³, давление нормальное.

20.30. Некоторая масса молекулярного водорода занимает объем $V_1 = 1,0$ м³ при температуре $T_1 = 250$ К и давлении $p_1 = 2,0$ атм. Определите, какое давление она будет иметь при температуре $T_2 = 5000$ К и объеме $V_2 = 10$ м³, если при столь высокой температуре молекулы водорода полностью диссоциируют на атомы.

20.31. Манометр на баллоне с газом в помещении с температурой $t_1 = 17^\circ\text{C}$ показывает давление $p_1 = 350$ кПа, на улице он показывает $p_2 = 300$ кПа. Какова температура наружного воздуха, если атмосферное давление нормальное?

20.32. Давление воздуха в шине автомобиля $p_1 = 5,0$ атм при температуре $t_1 = 17^\circ\text{C}$. Во сколько раз уменьшится площадь соприкосновения колеса с дорогой, если во время движения температура в шине

повысилась до $t_2 = 57^\circ\text{C}$? Атмосферное давление нормальное. Изменением объема шины пренебречь.

20.33. В стальной баллон вместимостью $V = 10$ л нагнетается водород при температуре $T = 290$ К. Определите, сколько водорода можно поместить в баллон, если допустимое давление на его стенки $p = 50$ МПа.

20.34. Баллон, содержащий $m_a = 1,0$ кг азота, при испытании взорвался при температуре $T_1 = 630$ К. Определите, сколько водорода можно хранить в таком же баллоне при температуре $T_2 = 270$ К, имея десятикратный запас прочности.

20.35. В трубке, закрытой с одного конца, столбик воздуха заперт столбиком ртути длиной $H = 20$ см. Когда трубка расположена открытым концом вниз, длина столбика воздуха равна $h_1 = 10$ см. Если же трубку наклонить под углом $\alpha = 30^\circ$ к горизонту отверстием вниз, длина воздушного столбика становится равной $h_2 = 8,46$ см. Определите атмосферное давление.

20.36. Стекланную трубку длиной $L = 10$ см на $1/3$ погружают в ртуть. Затем ее закрывают пальцем и вынимают. Определите, какой длины столбик ртути останется в трубке. Столбик ртути в ртутном барометре находится на высоте $H = 75$ см.

20.37. Барометрическая трубка опущена в большой вертикальный сосуд с ртутью. Столб ртути в ней имеет высоту $h_1 = 40$ мм, а столб воздуха над ртутью $h_2 = 19$ см. На сколько надо опустить трубку, чтобы уровень столбика ртути в ней совпал с уровнем ртути в сосуде? Ртуть в ртутном барометре находится на высоте $H = 76$ см.

20.38. Высота столба воздуха в трубке $l = 30$ см (рис. 148), а высота столба ртути $h = 14$ см. Температура воздуха $t_1 = 27^\circ\text{C}$, а давление атмосферы соответствует уровню ртути в барометре $H = 76$ см. Как изменится уровень ртути, если давление атмосферы останется прежним, а температура понизится до $t_2 = 12^\circ\text{C}$?

20.39. Электрическая лампочка вместимостью $V = 0,50$ л наполнена азотом при давлении $p = 76$ кПа. Сколько воды войдет в лампу, если у нее отломить кончик под водой на глубине $h = 1,4$ м? Атмосферное давление нормальное.

20.40. С какой максимальной силой прижимается к телу человека банка (применяется в медицинских целях для лечения), если диаметр ее отверстия $d = 4,0$ см. В момент прикладывания банки к телу воздух в ней прогрет до температуры $t = 80^\circ\text{C}$, а температура окружающего воздуха $t_0 = 20^\circ\text{C}$. Атмосферное давление нормальное. Изменением объема воздуха в банке (из-за втягивания кожи) пренебречь.

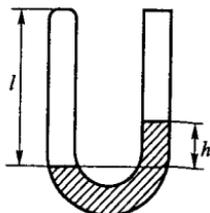


Рис. 148

20.41. Компрессор засасывает из атмосферы каждую секунду $V_1 = 4,0$ л воздуха, которые подаются в баллон вместимостью $V = 120$ л. Через сколько времени давление в баллоне будет превышать атмосферное в $n = 9,0$ раза? Начальное давление в баллоне равно атмосферному.

20.42. Сколько надо сделать ходов поршня, чтобы насосом вместимостью $V_1 = 0,50$ л откачать воздух в колбе вместимостью $V_2 = 5,0$ л от нормального давления до давления $p = 50$ Па?

20.43. В вертикальном цилиндре под сферическим поршнем радиусом $r = 10$ см находится гелий массой $m_1 = 200$ мг при температуре $t = 27$ °С. Масса поршня $m_2 = 10$ кг, атмосферное давление нормальное. Определите, с какой силой нужно надавить на поршень, чтобы он опустился до основания цилиндра.

20.44. Внутри закрытого с обоих концов горизонтального цилиндра имеется тонкий поршень, который может скользить в нем без трения. С одной стороны поршня находится водород массой $m_b = 3,0$ г, с другой — азот массой $m_a = 23$ г. Определите, какую часть объема цилиндра занимает водород.

20.45. Два одинаковых сосуда, содержащие газ при $T = 290$ К, соединены горизонтальной трубкой диаметром $d = 4,0$ мм, посередине которой находится капелька ртути. Вместимость сосудов вместе с трубкой равна $V = 0,40$ л. На какое расстояние переместится капелька ртути, если температуру одного сосуда повысить на $\Delta T = 1,0$ К, а другого на столько же понизить? Расширением стенок сосудов пренебречь.

20.46. Два сосуда, содержащие одинаковую массу одного и того же газа, соединены трубкой с краном. В первом сосуде давление $p_1 = 1,0 \cdot 10^5$ Па, а во втором $p_2 = 3,0 \cdot 10^5$ Па. Температура одинакова. Какое установится давление после открытия крана?

20.47. В сосуд вместимостью $V = 1,0$ л помещают кислород массой $m_k = 2,0$ г и азот массой $m_a = 4,0$ г. Каково давление смеси при температуре $T = 273$ К?

20.48. В сосуде вместимостью $V = 1,5$ л находится смесь O_2 и CO_2 . Масса смеси $m = 40$ г, температура $T = 300$ К, давление $p = 2,0$ МПа. Найдите массу каждого из газов.

20.49. В закрытом сосуде находятся воздух и капля воды массой $m = 1,0$ г. Вместимость сосуда $V = 75$ л, давление в нем $p_1 = 12$ кПа и температура $T = 290$ К. Каким будет давление в сосуде, когда капля испарится?

20.50. В атмосферном воздухе на долю азота приходится $n_a = 0,76$ массы, а на долю кислорода $n_k = 0,24$ (если пренебречь примесями других газов). Вычислите среднюю молярную массу воздуха.

§ 21. Свойства паров. Влажность

21.1. Пар, находящийся в цилиндре под поршнем, медленно сжимают при постоянной температуре до полного сжижения. Нарисуйте график этого процесса в координатах p , V .

21.2. Сравните поведение молекул при сжатии идеального газа и насыщенного пара.

21.3. В цилиндре под поршнем находится $m = 3,0$ г водяного пара при температуре $t = 30$ °С. Газ изотермически сжимают. При каком объеме выпадет роса?

21.4. В баллоне вместимостью $V = 50$ л находится $m = 0,30$ г водяного пара при температуре $t = 17$ °С. Как сделать пар насыщенным?

21.5. Трубка, один конец которой запаян, наполнена водой и открытым концом опущена в стакан с водой. Вода и в стакане, и в трубке постепенно нагревается до 100 °С. Что при этом происходит в трубке?

21.6. Определите плотность насыщенного пара воды при температуре $t = 100$ °С.

21.7. Определите, во сколько раз плотность воды при $t = 20$ °С больше плотности насыщенного пара.

21.8. В цилиндре под поршнем находятся вода массой $m_1 = 35$ мг и пар массой $m_2 = 25$ мг при температуре $t = 27$ °С. Пар изотермически расширяется. Определите, при каком объеме вода в цилиндре полностью испарится.

21.9. В цилиндре под поршнем находится водяной пар при температуре $t = 100$ °С и давлении $p_1 = 40$ кПа. Определите, каким будет давление пара в цилиндре, если объем его изотермически уменьшить в $n = 5,0$ раза.

21.10. В совершенно пустой сосуд вместимостью $V = 0,50$ л вводят постепенно водяной пар при комнатной температуре $t = 20$ °С. Сколько надо ввести водяного пара, чтобы давление его на стенки сосуда стало равным $p = 100$ кПа?

21.11. В барометрическую трубку наливают по капельке воду до тех пор, пока происходит ее испарение. Определите, на сколько снизится при этом уровень ртути в трубке, если температура воздуха $t = 21$ °С.

21.12. В запаянной U-образной трубке находится вода. Как узнать, воздух или только насыщенный пар присутствует над водой в трубке?

21.13. Камеру вместимостью $V = 10$ л наполнили сухим воздухом при нормальных условиях и, закрыв после введения $m = 2,0$ г воды, нагрели до $t = 100$ °С. Определите давление в камере.

21.14. В баллоне вместимостью $V = 10$ л находится сухой воздух при температуре $t_1 = 10^\circ\text{C}$ и давлении $p_1 = 0,10$ МПа. Определите, каким будет давление в баллоне, если в него ввести воду массой $m = 10$ г и нагреть до температуры $t_2 = 100^\circ\text{C}$.

21.15. В закрытом с обоих концов цилиндре вместимостью $V = 2,0$ л свободно ходит невесомый тонкий поршень. В пространство под поршнем вводят $m_v = 90$ мг воды, над поршнем $m_k = 0,16$ г кислорода. Определите положение поршня в цилиндре при температуре $t = 100^\circ\text{C}$.

21.16. Воздух имеет температуру $t_1 = 38^\circ\text{C}$ и абсолютную влажность $\rho_1 = 25$ г/м³. Определите, какой будет абсолютная влажность, если температура понизится до $t_2 = 10^\circ\text{C}$.

21.17. Определите, чему равна относительная влажность воздуха, заполняющего баллон вместимостью $V = 700$ л при температуре $t = 24^\circ\text{C}$, если до полного насыщения пара понадобилось испарить воду массой $m = 6,2$ г.

21.18. Воздух при температуре $t_1 = 20^\circ\text{C}$ имеет относительную влажность $\varphi = 70\%$. Определите, какое количество водяного пара сконденсируется из $V = 10$ м³ воздуха, если его температура понизится до $t_2 = 10^\circ\text{C}$.

21.19. В сосуде вместимостью $V = 100$ л при температуре $t = 29^\circ\text{C}$ находится воздух с относительной влажностью $\varphi_1 = 8,3\%$. Определите, какой будет относительная влажность, если в сосуд ввести воду массой $m = 15$ мг.

21.20. В вертикальном цилиндре под невесомым поршнем площадью $S = 10$ см² находится влажный воздух при температуре $t = 100^\circ\text{C}$. Расстояние от поршня до дна цилиндра $H = 40$ см. После того как на поршень положили груз массой $m = 4,0$ кг, произошло изотермическое сжатие влажного воздуха и на внутренних стенках цилиндра появились капельки воды. Поршень при этом опустился на $h = 10$ см. Атмосферное давление нормальное. Определите исходную влажность воздуха.

21.21. При каких условиях может уменьшиться относительная влажность, несмотря на увеличение абсолютной?

21.22. В цилиндре под поршнем находится воздух с относительной влажностью $\varphi_1 = 60\%$ при температуре $t_1 = 20^\circ\text{C}$. Определите, какой будет относительная влажность, если температуру повысить до $t_2 = 100^\circ\text{C}$, а объем уменьшить в $n = 4$ раза. Атмосферное давление нормальное.

21.23. Определите абсолютную влажность воздуха, если в комнате температура $t = 18^\circ\text{C}$, а относительная влажность $\varphi = 60\%$.

21.24. В комнате при температуре $t_1 = 25^\circ\text{C}$ относительная влажность $\varphi_1 = 12\%$. Определите, какой станет относительная влажность, если температура в комнате постепенно понизится до $t_2 = 14^\circ\text{C}$.

21.25. Относительная влажность воздуха в комнате $\varphi = 64\%$, а температура $t = 21^\circ\text{C}$. Определите, на сколько градусов должна понизиться температура воздуха на улице, чтобы оконные стекла в комнате запотели.

21.26. Относительная влажность воздуха вечером при температуре $t_1 = 14^\circ\text{C}$ $\varphi_1 = 80\%$. Ночью температура понизилась до $t_2 = 6^\circ\text{C}$ и выпала роса. Определите, какое количество водяного пара сконденсировалось из воздуха объемом $V = 1,0\text{ м}^3$.

21.27. Определите, какой будет относительная влажность воздуха в квартире, если открыть дверь между смежными комнатами площадью $S_1 = 15\text{ м}^2$ и $S_2 = 10\text{ м}^2$, относительные влажности в которых соответственно $\varphi_1 = 60\%$ и $\varphi_2 = 50\%$. Температура одинакова.

Дополнительные задачи

VI.1. В тонкой длинной трубке длиной $H = 114\text{ см}$, запаянной с одного конца, а с другого плотно закрытой пробкой, находится азот при давлении, составляющем $n = 2/3$ атмосферного. Трубку закрытым концом вертикально погрузили в сосуд с ртутью на глубину $h = 38\text{ см}$. Определите разность уровней ртути в трубке и сосуде, после того как вынули пробку. Атмосферное давление нормальное.

VI.2. Два сосуда одинаковой вместимости соединены длинной тонкой трубкой. Определите, какая часть газа перейдет из одного сосуда в другой, если температуру одного поддерживать постоянной, а второго увеличить в $n = 1,5$ раза. Во сколько раз изменится давление в сосудах?

VI.3. На рис. 149 изображен замкнутый цикл. Представьте этот цикл в координатах V, T и p, T .

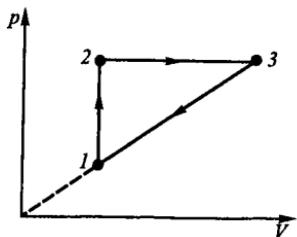


Рис. 149



Рис. 150

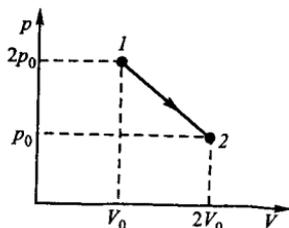


Рис. 151

VI.4. На рис. 150 изображен замкнутый цикл, проводимый с идеальным газом. Объем газа постоянен. Найдите точки, где масса газа: 1) максимальна и 2) минимальна.

VI.5. Один моль идеального газа переводят из состояния 1 в состояние 2 (рис. 151). Определите максимальную температуру, которую имел газ, если $p_0 = 750$ гПа, $V_0 = 20$ л.

VI.6. Трубку длиной $l = 60$ см, запаянную с одного конца, открытым концом вертикально погружают в ртуть. Определите, при какой глубине погружения в трубке выпадет роса. Температура в трубке не меняется. Атмосферное давление нормальное. Влажность воздуха $\varphi = 80\%$.

Глава VII

ТЕПЛОТА И РАБОТА

§ 22. Изменение внутренней энергии путем теплообмена

22.1. У какого из тел теплоемкость больше: куска свинца массой $m_c = 1,0$ кг или куска железа массой $m_{ж} = 500$ г?

22.2. Куски железа, свинца и алюминия имеют одинаковый объем. У которого из них: 1) наибольшая теплоемкость; 2) наименьшая теплоемкость?

22.3. На графике (рис. 152) показаны зависимости температуры двух тел от количества теплоты, сообщенной им. У какого из тел теплоемкость больше?

22.4. По графикам зависимости температуры тел от сообщенной им теплоты (рис. 152) определите: 1) у какого из тел удельная теплоемкость больше, если их массы равны; 2) у какого из тел больше масса, если их удельные теплоемкости равны?

22.5. Сформулируйте необходимое условие термодинамического равновесия системы из двух тел с температурами T_1 и T_2 .

22.6. Горячая вода налита в алюминиевую кружку, масса которой равна массе налитой воды. На одинаковое ли число градусов охладилась вода и нагрелась кружка? На то же число градусов охладится вода, если ее вылить в железную кружку такой же массы? Потерями теплоты в окружающее пространство пренебречь.

22.7. Нагретое металлическое тело опустили в сосуд с жидкостью. График зависимости температуры тела и сосуда с жидкостью от времени показан на рис. 153. Определите, во сколько раз отличаются теплоемкости металлического тела и сосуда с жидкостью.

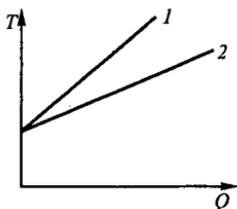


Рис. 152

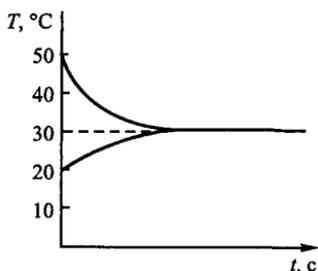


Рис. 153

22.8. Два одинаковых сосуда, содержащие равное число молекул азота, соединены краном. В первом сосуде средняя квадратичная скорость молекул равна $v_1 = 400$ м/с, а во втором $v_2 = 500$ м/с. Определите, какая установится скорость, если открыть кран.

22.9. Чтобы охладить $V_1 = 2,0$ л воды, взятой при $t_1 = 80$ °С, до $t_3 = 60$ °С, в нее добавляют холодную воду при $t_2 = 10$ °С. Сколько холодной воды требуется добавить?

22.10. Для приготовления ванны необходимо смешать холодную воду при $t_1 = 11$ °С с горячей при $t_2 = 66$ °С. Сколько той и другой воды необходимо взять для получения $V = 110$ л воды при $t_3 = 36$ °С?

22.11. В стеклянный стакан массой $m_1 = 0,12$ кг при температуре $t_1 = 15$ °С налили $m_2 = 0,20$ кг воды при $t_2 = 100$ °С. Какая температура воды установилась в стакане?

22.12. В стеклянный стакан массой $m_1 = 100$ г налито $m_2 = 200$ г воды. Температура воды и стакана $t_1 = 75$ °С. На сколько понизится температура воды при опускании в нее серебряной ложки массой $m_3 = 80$ г при $t_2 = 15$ °С?

22.13. В каком отношении должны быть взяты массы m_1 и m_2 двух жидкостей с удельными теплоемкостями c_1 и c_2 , начальными температурами T_1 и T_2 ($T_1 > T_2$), чтобы общая температура после их смешения получилась равной T_0 ? Теплоемкость сосуда, в котором находятся жидкости, не учитывать.

22.14. В калориметр массой $m_k = 75$ г при температуре $T_k = 278$ К налили жидкость массой $m_j = 32$ г, температурой $T_j = 293$ К. Когда в калориметре установилась температура $T_1 = 288$ К, в него опустили медную гирию массой $m_m = 400$ г, температурой $T_m = 281$ К. После этого температура в калориметре стала $T_2 = 285$ К. Определите удельные теплоемкости материала калориметра и жидкости. Теплообменом с окружающей средой пренебречь.

22.15. Льду $m = 1,0$ кг, взятому при температуре $t = -50$ °С, сообщили $Q = 520$ кДж теплоты. Постройте график зависимости температуры от времени поступления теплоты. Скорость поступления теплоты постоянная.

22.16. В сосуд с водой с общей теплоемкостью $C = 1,5$ кДж/К при температуре $t_1 = 20$ °С поместили $m = 56$ г льда при температуре $t_2 = -8$ °С. Определите, какая установится температура.

22.17. В сосуд с водой с общей теплоемкостью $C = 1,7$ кДж/К при $t_1 = 20$ °С поместили $m_1 = 100$ г льда при $t_2 = -8$ °С. Определите, какая температура установится в сосуде.

22.18. В медный калориметр массой $m_1 = 100$ г, содержащий воду массой $m_2 = 50$ г при температуре $t_1 = 5$ °С, опустили лед при температуре $t_2 = -30$ °С. Масса льда $m_3 = 300$ г. Определите, какая температура установится в калориметре.

22.19. Смесь, состоящую из $m_1 = 5,0$ кг льда и $m_2 = 15$ кг воды при общей температуре $t = 0$ °С, нужно нагреть до $t_1 = 80$ °С с помощью водяного пара при $t_2 = 100$ °С. Определите необходимую массу пара.

22.20. Быстро откачивая воздух из сосуда, в котором находится небольшое количество воды при 0 °С, можно превратить воду в лед. Какая часть первоначального количества воды может быть обращена в лед при 0 °С? Принять удельную теплоту парообразования при 0 °С $r = 2,3$ МДж/кг.

22.21. Определите энергию, идущую на разрыв связей между молекулами кипящей воды массой $m = 10$ кг при ее превращении в пар.

22.22. В баллон вместимостью $V = 30$ л, в котором при атмосферном давлении находится $m_1 = 4,0$ г гелия, попала льдинка массой $m_2 = 1,0$ г, имеющая температуру $t_0 = 0$ °С. Определите, каким будет давление гелия, когда льдинка растает. Стенки баллона не проводят и не поглощают тепло.

22.23. В баллоне нагревают $\nu = 2,5$ моль одноатомного идеального газа на $\Delta t = 30$ °С. Определите, какое количество теплоты потребовалось на нагрев, если теплоемкость баллона $C = 15$ Дж/К.

22.24. При изобарном нагревании одноатомного идеального газа было затрачено количество теплоты $Q = 3,0$ кДж. Определите, какое количество теплоты пришлось бы затратить, чтобы нагреть этот газ изохорно.

22.25. В цилиндре под невесомым поршнем находится $\nu = 2,0$ моль неона при температуре $t_1 = 23$ °С. Определите, какой станет его температура, если газу сообщить количество теплоты $Q = 3,2$ кДж. Как изменится внутренняя энергия единицы объема этого газа?

22.26. В баллоне вместимостью $V = 20$ л находится гелий при нормальном давлении. Определите, каким станет давление, если газу сообщить количество теплоты $Q = 0,12$ кДж.

22.27. На спиртовке нагревали воду массой $m_1 = 100$ г от $t_1 = 16$ °С до $t_2 = 71$ °С. При этом был сожжен спирт массой $m_2 = 10$ г. Найдите КПД установки.

22.28. Для нагревания воды объемом $V = 2,0$ л, находящейся в алюминиевой кастрюле массой $m_1 = 400$ г, от $t_1 = 15$ °С до $t_2 = 75$ °С был израсходован газ массой $m_2 = 30$ г. Определите КПД газовой плиты, считая теплоту, израсходованную на нагревание сосуда, полезной. Как изменится результат, если полезной считать только теплоту, израсходованную на нагревание воды?

22.29. В чайник со свистком налили воду массой $m_1 = 1,0$ кг и поставили на электрическую плитку мощностью $N = 900$ Вт. Через $\tau_1 = 7,0$ мин раздался свисток. Определите, сколько воды останется в чайнике после кипения в течение $\tau_2 = 2,0$ мин. Каков КПД плитки? Начальная температура воды $t = 20$ °С.

22.30. Определите, какое количество теплоты надо сообщить железной балке площадью сечения $S = 20$ см², чтобы она удлинилась на $\Delta l = 6,0$ мм.

22.31. Определите, какое количество теплоты сообщили медному шару, если его объем увеличился на $\Delta V = 10$ см³.

22.32. Две медные пластинки одинаковой площади, толщиной $h_1 = 4,0$ мм и $h_2 = 6,0$ мм, имеющие температуры $t_1 = 20$ °С и $t_2 = 200$ °С, сложили вместе так, что образовалась одна пластинка. Определите ее толщину, если теплообмена с окружающей средой не происходит.

§ 23. Изменение внутренней энергии в процессе совершения работы

23.1. Автомобиль массой $m = 1,0$ т, двигавшийся со скоростью $v = 36$ км/ч, резко затормозил перед светофором. Определите, какое количество теплоты выделилось при торможении.

23.2. Определите, какую надо совершить работу, чтобы расплавить трением друг о друга два куска льда массой $m = 5,0$ г, температурой $t = 0$ °С.

23.3. С одинаковой высоты на кафельный пол падают три шарика равной массы: один шарик — медный, другой — стальной, третий — железный. 1) Какой из них нагреется до более высокой температуры? 2) Какой из двух шариков, железный или стальной, нагреется быстрее?

23.4. Свинцовая пуля, летевшая со скоростью $v_1 = 500$ м/с, пробилла стенку. Определите, на сколько градусов нагрелась пуля, если после стенки ее скорость снизилась до $v_2 = 400$ м/с. Считать, что на нагревание пули пошло $n = 50$ % выделившейся теплоты.

23.5. На сколько градусов нагревается вода у основания водопада высотой $h = 10$ м? Считать, что на нагревание воды идет $n = 50$ % механической энергии.

23.6. Железнодорожный состав, идущий со скоростью $v = 36$ км/ч, резко затормозил. Определите, на сколько градусов поднялась температура перевозимых жидкостей в цистернах: керосина, воды, спирта, серной кислоты.

23.7. В опыте Румфорда при сверлении пушечного ствола, которое проводили с помощью лошадей, успели вскипятить в котле, поставленном на ствол, воду объемом $V = 10$ л. Минимальная температура воды была $t = 20$ °С, за $\tau = 6,0$ мин вода массой $m = 200$ г обратилась в пар. Какая развилась мощность при сверлении, если $n = 80$ % всей выделенной при этом теплоты пошло на нагревание воды и обращение ее в пар?

23.8. Определите, с какой скоростью должна лететь свинцовая пуля, чтобы при ударе о препятствие она расплавилась. Первоначальная температура ее равна $t = 27$ °С. Считать, что вся выделившаяся теплота сообщается пуле.

23.9. С какой высоты должен упасть молот массой $M = 1,0$ т на медную болванку массой $m = 25$ г, чтобы она полностью расплавилась? Считать, что болванке передается $n = 50$ % выделившейся теплоты. Начальная температура меди $t = 23$ °С.

23.10. Пуля пробивает ящик, стоящий на горизонтальной плоскости. Масса пули $m = 10$ г, ящика $M = 500$ г, пуля подлетает к ящику со скоростью $v_1 = 1,0$ км/с, а вылетает из него со скоростью $v_2 = v_1/4$. Определите количество теплоты, выделившееся при движении пули в ящике. Начальную и конечную скорости пули считать горизонтальными.

23.11. Свинцовая пуля массой $m = 10$ г, летящая горизонтально со скоростью $v = 100$ м/с, попадает в деревянный брусок массой $M = 1,0$ кг, подвешенный на длинной нити. Определите, на сколько градусов нагрелась пуля, если $n = 70$ % выделенной при ударе теплоты пошло на ее нагревание.

23.12. Пластилинный шар бросают горизонтально со скоростью $v_0 = 10$ м/с по направлению к вертикальной стенке, расположенной на расстоянии $l = 6,0$ м от точки бросания. Шар прилипает к стенке. Считая, что $n = 75$ % кинетической энергии шара пошло на его нагревание, найдите приращение температуры.

23.13. Человек, стоящий на неподвижной тележке, бросает горизонтально камень массой $m = 3,0$ кг со скоростью $v_1 = 1,0$ м/с. Тележка находится на горизонтальной поверхности, масса человека и тележки $M = 100$ кг. Через $t = 2,0$ с после момента бросания скорость тележки оказалась равной $v_2 = 0,01$ м/с. Определите, какое количество теплоты выделилось за это время.

23.14. С высоты H упали два тела одинаковой массы. Удар первого был абсолютно неупругим, а второе тело после удара отскочило на высоту $h = 0,2H$. Определите, при каком ударе и во сколько раз выделилось большее количество теплоты.

23.15. Алюминиевый шарик падает в воде с постоянной скоростью $v = 2,7$ см/с. Определите, на сколько повысится его температура за время $t = 10$ с, если $n = 65$ % всей выделенной теплоты пошло на нагревание.

23.16. Определите, какая масса пороха сгорает при выстреле из карабина. Масса пули $m = 10$ г, скорость при вылете из дула $v = 700$ м/с. КПД карабина $\eta = 30$ %.

23.17. Найдите расход бензина автомобиля на $s = 1,0$ км пути при скорости $v = 60$ км/ч. Мощность мотора $N = 17$ кВт, КПД $\eta = 30$ %.

23.18. Автомобиль расходует бензин массой $m = 5,67$ кг на $s = 50$ км пути. Определите мощность, развиваемую двигателем, если скорость движения $v = 90$ км/ч и КПД двигателя $\eta = 22$ %.

23.19. Определите, на сколько увеличится расход бензина на $s = 1,0$ км пути при движении автомобиля массой $M = 1,0$ т по дороге с подъемом $h = 3,0$ м на $l = 100$ м пути по сравнению с горизонтальным участком дороги. КПД двигателя $\eta = 30$ %. Скорость на всех участках дороги постоянна.

23.20. Автомобиль развивает скорость $v_1 = 72$ км/ч, расходуя при этом бензин массой $m_1 = 80$ г на $s = 1,0$ км. Определите, какое количество бензина он будет расходовать при скорости $v_2 = 90$ км/ч. Какую мощность он при этом разовьет? Сила сопротивления пропорциональна скорости. КПД двигателя $\eta = 28$ %.

§ 24. Применение первого начала термодинамики к газам

24.1. Может ли газ обмениваться энергией с окружающей средой, не изменяя своего объема?

24.2. Какое количество теплоты необходимо сообщить для нагревания на $\Delta T = 20$ К гелия массой $m = 40$ г, содержащегося в баллоне? Чему равна удельная теплоемкость газа?

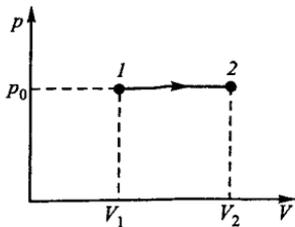


Рис. 154

24.3. Неон, находившийся при нормальных условиях в закрытом сосуде вместимостью $V = 20$ л, охладили на $\Delta T = 91$ К. Найдите изменение внутренней энергии газа и количество отданной им теплоты.

24.4. В сосуде вместимостью $V = 2,0$ л находится криптон под давлением $p_1 = 1,0$ МПа. Стенки сосуда могут выдержать давление до $p_2 = 2,0$ МПа. Определите, какое максимальное количество теплоты можно сообщить газу.

24.5. Баллон вместимостью $V = 50$ л содержит аргон при температуре $T_1 = 290$ К под давлением $p_1 = 500$ кПа. К газу подводят количество теплоты $Q = 5,0$ кДж. Определите температуру и давление газа после нагревания.

24.6. Один моль одноатомного газа нагревается при постоянном объеме до температуры $T = 870$ К. Определите, какое количество теплоты ему сообщили, если давление увеличилось в $n = 3,0$ раза.

24.7. Над гелием массой $m = 8,0$ г, находившемся при температуре $t = 18$ °С, провели два процесса. В результате первого, уравнение которого $V/T = \text{const}$, температура увеличилась в $n = 1,2$ раза. После второго давление и объем уменьшились в $n = 1,2$ раза. Определите, какое минимальное количество теплоты надо сообщить газу, чтобы вернуть его в первоначальное состояние.

24.8. Можно ли передать некоторое количество теплоты газу, не вызывая этим повышения температуры?

24.9. При изотермическом расширении кислородом была совершена работа A . Какое количество теплоты получил газ при этом?

24.10. В цилиндре под поршнем находится газ, состояние которого меняется, как показано на рис. 154. Как изменилась температура газа? Какую работу он совершил?

24.11. Найдите работу, которую совершает газ, переходя из состояния 1 в состояние 3 (рис. 155).

24.12. Какую работу совершает газ при переходе из состояния 1 в состояние 4 (рис. 156)?

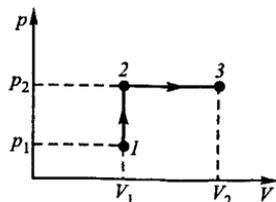


Рис. 155

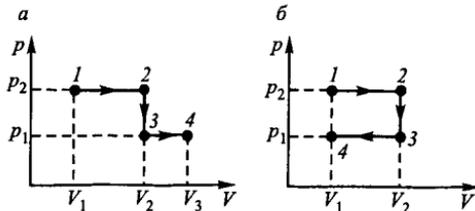


Рис. 156

24.13. Гелий нагревался при постоянном давлении. При этом ему было сообщено $Q = 20$ кДж теплоты. Определите изменение внутренней энергии газа и совершенную им работу.

24.14. Криптон массой $m = 1,0$ г был нагрет на $\Delta T = 100$ К при постоянном давлении. Определите, какое количество теплоты получил газ.

24.15. Неон, занимающий объем $V_1 = 10$ л, изобарно расширяется при давлении $p = 2,0$ атм. Определите, какой объем будет занимать газ, если ему сообщить количество теплоты $Q = 10$ кДж. Как изменится при этом его температура?

24.16. Молекулярный водород массой $m = 10$ г при начальной температуре $t_1 = 27$ °С охлаждают при постоянном объеме так, что его давление падает в $n = 3,0$ раза. Затем газ расширяют при постоянном давлении. Найдите произведенную газом работу, если в конечном состоянии его температура оказалась равной первоначальной.

24.17. Над 1 моле идеального газа, находящегося при нормальных условиях, провели два процесса. В результате первого, уравнение которого $p/T = \text{const}$, температура увеличилась в $n = 2,0$ раза. После второго давление и объем уменьшились в $n = 2,0$ раза. Определите, какое минимальное количество теплоты потребуется сообщить газу, чтобы вернуть его в исходное состояние. Какой процент от подведенного количества теплоты пойдет при этом на изменение его внутренней энергии?

24.18. При адиабатном сжатии гелия массой $m = 70$ г совершена работа $A = 3,5$ кДж. Определите конечную температуру газа, если до сжатия он находился при температуре $t_1 = 23$ °С.

24.19. В вертикально расположенном цилиндре под поршнем находится газ объемом $V = 2,0$ л при температуре $T = 299$ К. Найдите работу расширения газа при нагревании его на $\Delta T = 100$ К. Масса поршня $m = 10$ кг, его площадь $S = 50$ см², атмосферное давление нормальное.

24.20. В цилиндре под поршнем площадью $S = 1,0$ дм² находится 1 моль воздуха. К поршню через блок привешен груз массой $M = 55$ кг. Цилиндр охлаждаю на $\Delta T = 100$ К. На какую высоту поднимется груз? Масса поршня $m = 5,0$ кг, атмосферное давление нормальное.

24.21. В результате процесса, изображенного на рис. 157, 1 моль идеального одноатомного газа был приведен к нормальным условиям. Найдите: 1) работу, совершенную газом при расширении от состояния 1 до состояния 2; 2) изменение внутренней энергии; 3) количество теплоты, полученное газом.

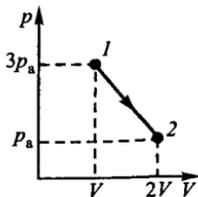


Рис. 157

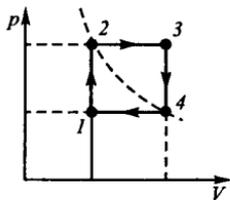


Рис. 158

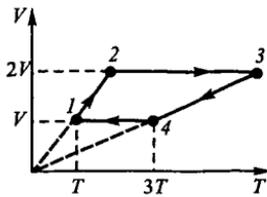


Рис. 159

24.22. Определите работу, совершаемую 1 молею идеального газа, взятого при нормальных условиях, за цикл, состоящий из двух изохор и двух изобар (рис. 158). Известно, что точки 2 и 4 лежат на одной изотерме, соответствующей температуре $T = 573 \text{ К}$.

24.23. Один моль гелия совершает цикл, изображенный на рис. 158. Известно, что точки 2 и 4 лежат на одной изотерме, а средние квадратичные скорости атомов в состоянии 1 $v_1 = 600 \text{ м/с}$ и в состоянии 3 $v_3 = 900 \text{ м/с}$. Определите количество теплоты, подводимое к газу за цикл.

24.24. Определите работу, совершаемую $\nu = 1,5$ моля идеального газа, взятого при нормальных условиях, за цикл, диаграмма которого изображена на рис. 159.

24.25. Рассмотрите энергообмен газа со средой в циклическом процессе, состоящем из изохоры, изотермы и изобары (рис. 160).

24.26. Рассмотрите энергообмен газа со средой в циклическом процессе, состоящем из двух изотерм и двух адиабат (цикл Карно) (рис. 161).

24.27. В результате циклического процесса газ совершил работу $A = 100 \text{ Дж}$ и передал холодильнику $Q = 400 \text{ Дж}$ теплоты. Определите КПД цикла.

24.28. Идеальный одноатомный газ совершает цикл, состоящий из двух изохор и двух изобар. При этом максимальное давление в

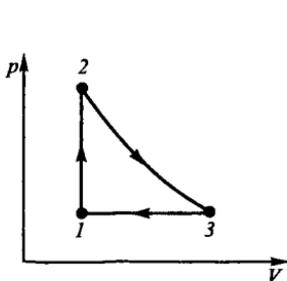


Рис. 160

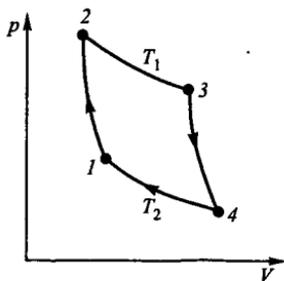


Рис. 161

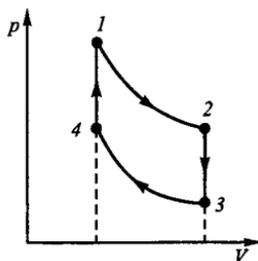


Рис. 162

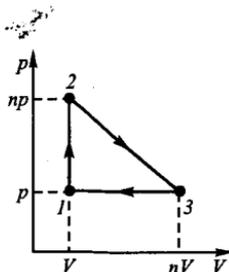


Рис. 163

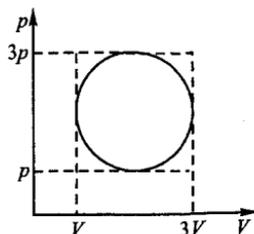


Рис. 164

$n_1 = 2,0$ раза больше минимального, а максимальный объем в $n_2 = 3,0$ раза больше минимального. Определите КПД цикла.

24.29. Определите КПД цикла, состоящего из двух адиабат и двух изохор (рис. 162), совершаемого идеальным газом, если известно, что в процессе адиабатного расширения абсолютная температура $T_2 = 0,75T_1$, а в процессе адиабатного сжатия $T_3 = 0,75T_4$.

24.30. Определите КПД цикла (рис. 163), рабочим телом которого является идеальный одноатомный газ и коэффициент увеличения $n = 4,0$.

24.31. Идеальный одноатомный газа совершает круговой процесс (рис. 164). Используя данные, приведенные на рисунке, определите КПД цикла.

24.32. КПД тепловой машины $\eta_1 = 41\%$. Определите, каким он станет, если количество теплоты, потребленное за цикл, увеличится на 18% , а отданное холодильнику, уменьшится на 6% .

24.33. Определите максимальное значение КПД теплового двигателя, работающего в температурном диапазоне от $t_1 = 20^\circ\text{C}$ до $t_2 = 300^\circ\text{C}$.

24.34. Определите, какую максимальную работу может совершить идеальный двигатель, если он в каждом цикле получает количество теплоты $Q = 1,2$ кДж от нагревателя с температурой $T_1 = 1100$ К. Температура окружающей среды (холодильника) $t_2 = 20^\circ\text{C}$.

24.35. КПД тепловой машины, работающей по циклу, состоящему из адиабатного расширения $1-2$, изотермического сжатия $2-3$ и изохорного процесса $3-1$, $\eta = 30\%$. Найдите максимальное изменение внутренней энергии в цикле, если работа при изотермическом процессе $A = 2,0$ кДж.

24.36. Газ совершает цикл Карно. Абсолютная температура нагревателя в 3 раза выше абсолютной температуры холодильника. Определите долю теплоты, отдаваемой холодильнику.

24.37. Газ, совершающий цикл Карно, $\eta = 70\%$ теплоты, полученной от нагревателя, отдает холодильнику. Температура нагревателя $T_1 = 430$ К. Определите температуру холодильника.

24.38. Газ совершает цикл Карно. Температура нагревателя $T_1 = 380$ К, холодильника $T_2 = 280$ К. Определите, во сколько раз увеличится КПД цикла, если температуру нагревателя повысить на $\Delta T = 200$ К.

24.39. В паровой турбине расходуется $m = 0,45$ кг дизельного топлива, при сгорании которого выделяется теплота на совершение работы $A = 1,4$ кВт · ч. Температура поступающего в турбину пара $T_1 = 520$ К, холодильника $T_2 = 300$ К. Сравните фактический КПД турбины и КПД идеальной тепловой машины, работающей при тех же температурных режимах.

24.40. Определите, какую максимальную полезную мощность может развивать двигатель автомашины, если он расходует в течение $\tau = 1,0$ ч $m = 5,0$ кг бензина. Температура газов в цилиндре двигателя достигает $T_1 = 1200$ К. Отработанные газы имеют температуру $T_2 = 370$ К.

Дополнительные задачи

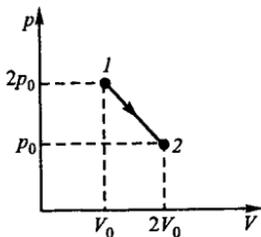
VII.1. Переохлажденная вода, имевшая температуру $t = -5$ °С, перешла в состояние термодинамического равновесия при $t_0 = 0$ °С. Определите, какая часть массы воды превратилась при этом в лед. Считать, что удельная теплоемкость воды не зависит от температуры.

VII.2. Свинцовая пуля массой $m = 10$ г, летевшая горизонтально со скоростью $v = 100$ м/с, попадает в свинцовую гирию массой $M = 0,20$ кг, покоящуюся на гладкой горизонтальной плоскости. Определите температуру системы пуля — гири, если перед ударом температура пули равна $t_1 = 230$ °С, а гири $t_2 = 20$ °С.

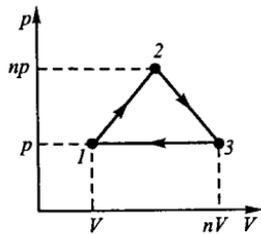
VII.3. В холодильник, потребляющий мощность $N = 200$ Вт, поместили воду массой $m = 2,0$ кг при температуре $t = 20$ °С. Через $\tau = 30$ мин вся вода превратилась в лед. Определите, какое количество теплоты выделилось при этом в комнату.

VII.4. Определите, какая работа совершается при превращении $m = 1,0$ кг воды в пар при температуре $T = 373$ К. Какая энергия идет на разрыв связей между молекулами?

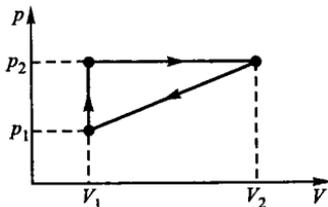
VII.5. Один моль идеального газа переводят из состояния 1 в состояние 2 (рис. 165). Определите, какое количество теплоты получает газ при нагревании и какое — при охлаждении, если $p_0 = 760$ гПа, $V_0 = 20$ л.



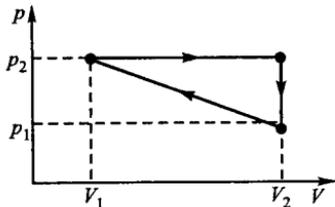
Р и с. 165



Р и с. 166



Р и с. 167



Р и с. 168

VII.6. Одноатомный идеальный газ совершает цикл, изображенный на рис. 166. Определите КПД цикла, если известно, что $n = 2,0$.

VII.7. Определите КПД цикла (рис. 167), рабочим телом которого является идеальный газ, если $p_2 = 2p_1$, $V_2 = 4V_1$.

VII.8. Тепловая машина, рабочим телом которой является идеальный газ, совершает цикл, изображенный на рис. 168. Найдите КПД машины, если $p_2 = 2p_1$, $V_2 = 4V_1$.

VII.9. В теплоизолированном сосуде под поршнем находятся вода объемом $V = 1,0$ л и насыщенный пар массой $m = 3,0$ г при температуре $t = 100^\circ\text{C}$. Вдвигая поршень, уменьшают объем пара до нуля. Определите, какая была затрачена работа. На сколько градусов нагрелась вода?

VII.10. В теплоизолированном сосуде вместимостью $V = 10$ л находится переохлажденный водяной пар массой $m = 5,85$ г при температуре $t = 89^\circ\text{C}$. Так как такое состояние неустойчиво, то пар начинает конденсироваться и при равновесии в сосуде устанавливается нормальное давление. Определите удельную теплоемкость пара. Удельную теплоту парообразования воды считать равной $r = 22,6 \cdot 10^5$ Дж/кг.

Часть третья

ЭЛЕКТРИЧЕСТВО

Глава VIII

ЭЛЕКТРОСТАТИКА

§ 25. Электрические заряды. Закон Кулона

25.1. Шарики крутильных весов Кулона (рис. 169) заряжены; вследствие этого стрелка отклонилась от положения равновесия на угол $\alpha_1 = 10^\circ$. Определите, на какой угол следует повернуть верхний микрометр кручения, чтобы отклонение уменьшилось до $\alpha_2 = 7^\circ$.

25.2. Найдите заряд всех электронов в куске меди массой $m = 1,0$ кг.

25.3. Изолированному проводящему шару сообщен положительный заряд. Изменится ли при этом его масса?

25.4. Сравните силы электростатического и гравитационного взаимодействий двух электронов.

25.5. Определите, какой величины равные положительные заряды должны быть помещены на Луне и Земле для того, чтобы электрические силы их взаимодействия уравновесили действие сил гравитационного притяжения.

25.6. На двух одинаковых каплях воды находится по одному лишнему электрону, причем сила электростатического отталкивания капелек уравновешивает силу их взаимного тяготения. Каковы радиусы капелек?

25.7. Определите, с какой силой взаимодействовали бы две капли воды на расстоянии $r = 10$ км, если бы удалось передать одной из них $n = 2,0\%$ всех электронов, содержащихся в другой капле массой $m = 50$ мг.

25.8. Каждый из двух маленьких шариков положительно заряжен так, что их общий заряд $q = 5 \cdot 10^{-5}$ Кл. Как распределен этот заряд между ними, если они, нахо-

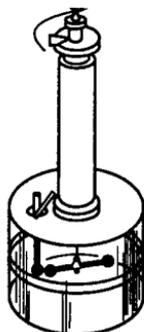


Рис. 169

дьясь на расстоянии $r = 2,0$ м друг от друга, отталкиваются с силой $F = 1,0$ Н?

25.9. Два заряда $q_1 = 1,7$ нКл и $q_2 = -2,5$ нКл находятся на расстоянии $r = 3,2$ см друг от друга. Определите, где нужно поместить заряд $q_3 = 3,4$ нКл, чтобы заряд q_2 не испытал действия силы.

25.10. Имеются два свободных отрицательных заряда $4q$ и q , находящиеся на расстоянии l друг от друга. Какой заряд и где нужно поместить, чтобы вся система находилась в равновесии?

25.11. Два разноименных заряда по $q = 25$ нКл расположены на расстоянии $l = 24$ см друг от друга. Определите силу, действующую на заряд $q_0 = 2,0$ нКл, помещенный в точку, удаленную на $r = 15$ см от каждого из зарядов.

25.12. Три одинаковых заряда $q = 1,7$ нКл помещены в вершины равностороннего треугольника со стороной $a = 3,0$ см. Определите, какая сила действует на каждый из них.

25.13. Три одинаковых заряда по $q = 10$ мкКл расположены в вершинах равностороннего треугольника. Где и какой заряд нужно поместить, чтобы вся система находилась в равновесии?

25.14. В центре тонкого проволочного кольца радиусом R , несущего заряд q , расположен одноименный заряд Q . Определите силу, растягивающую кольцо.

25.15. Четыре одинаковых заряда q размещены в углах квадрата. Какой заряд противоположного знака надо поместить в центр квадрата, чтобы вся система находилась в равновесии?

25.16. На нити подвешен шарик массой $m = 9,8$ г, которому сообщили заряд $q = 1,0$ мкКл. Когда к нему поднесли снизу обладающий таким же зарядом шарик, сила натяжения нити уменьшилась в 4 раза. Определите расстояние между центрами шариков.

25.17. Три заряженные бусинки надеты на вертикально стоящее непроводящее кольцо так, что они образуют равносторонний треугольник со стороной a . Одна бусинка находится внизу, а две другие лежат на одной горизонтали и имеют одинаковые массу m и заряд q того же знака, что и нижняя бусинка. Определите силу давления на кольцо со стороны нижней бусинки.

25.18. Наэлектризованный маленький шарик был приведен в соприкосновение с равным ему ненаэлектризованным. Помещенные затем на расстоянии $r = 9,0$ см, они отталкиваются с силой $F = 0,25$ мН. Определите первоначальный заряд шарика.

25.19. Два маленьких проводящих шарика подвешены на длинных непроводящих нитях к одному крючку. Они заряжены одинаковыми зарядами и находятся на расстоянии $r = 5,0$ см друг от друга. Что произойдет, после того как один из них разрядить?

25.20. Два заряда в вакууме взаимодействуют с такой же силой на расстоянии $r_1 = 21$ см, как в воде на расстоянии $r_2 = 3,0$ см. Определите диэлектрическую проницаемость воды.

25.21. Два заряженных шарика, подвешенных на нитях одинаковой длины, опускают в керосин. Определите, какой должна быть плотность материала шариков, чтобы угол расхождения нитей в воздухе и керосине был один и тот же.

25.22. Два электрона вращаются вокруг неподвижной α -частицы, находясь на противоположных концах диаметра орбиты, с угловой скоростью ω . Определите радиус круговой орбиты электронов. Заряд α -частицы $q = 2e$.

25.23. Шарик массой m с зарядом q , подвешенный на непроводящей нити длиной l , вращается вокруг вертикальной оси так, что нить образует с вертикалью угол α . Определите период обращения, если такой же по величине и знаку неподвижный точечный заряд находится на оси вращения на расстоянии l от шарика вниз.

25.24. Два одинаковых шарика, несущих одинаковые одноименные заряды q , подвешены на невесомых непроводящих нитях длиной l , закрепленных в одной точке. Они вращаются вокруг вертикальной оси, проходящей через точку закрепления. Определите модуль и направление ускорения, их линейную и угловую скорости, если нить образует с осью вращения угол α .

§ 26. Электрическое поле.

Его характеристики и связь между ними

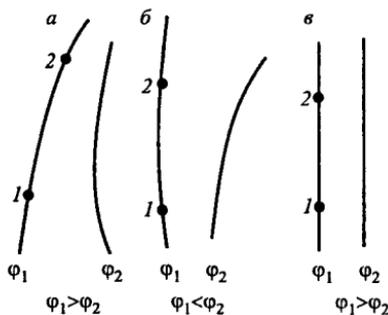
26.1. Точечный заряд q находится в начале координат. Напишите выражения для модуля вектора напряженности и потенциала поля заряда. Ответ выразите через: 1) радиус-вектор точки; 2) декартовы координаты x, y .

26.2. Нарисуйте картину силовых линий поля между двумя зарядами в случаях: 1) q и $-q$; 2) q и q ; 3) q и $-2q$.

26.3. На рис. 170 показаны эквипотенциальные линии электрического поля. В какой из точек (1 или 2) напряженность больше? Укажите направление вектора \mathbf{E} в этих точках.

26.4. Два одноименных заряда $q_1 = 0,27$ мкКл и $q_2 = 0,17$ мкКл находятся на расстоянии $l = 20$ см друг от друга. Определите, в какой точке на прямой между ними напряженность поля равна нулю.

26.5. В точке A напряженность поля точечного заряда $E_A = 36$ В/м, а в точке C — $E_C = 9,0$ В/м (рис. 171). Найдите напряженность в точке O , лежащей посередине между A и C .



Р и с. 170

26.6. Два заряда расположены на оси x . Один, равный $q_1 = 1,25$ нКл, находится в точке $x_1 = 3,0$ см, а другой, равный $q_2 = -1,25$ нКл, в точке $x_2 = -3,0$ см. Вычислите модуль и направление напряженности поля в точках $(0; 0)$, $(0; 3,0)$; $(0; -3,0)$ на оси y .

26.7. Поле создано двумя зарядами, расположенными на оси x . Один, равный $+e$, находится в точке $x = 1,0$ см, другой, равный $-4e$, в точке $x = -2,0$ см. Найдите координаты точек с нулевой напряженностью. Сколько таких точек?

26.8. Два одинаковых заряда по $q = 1,5$ нКл расположены в плоскости x, y . Один заряд находится в точке $x = 3,0$ см, $y = 0$, другой в точке $x = 0$, $y = 2,0$ см. Вычислите модуль и направление напряженности в точке $(3,0; 2,0)$.

26.9. Четыре одинаковых заряда $q = 40$ мкКл расположены в вершинах квадрата со стороной $a = 2,0$ м. Определите напряженность поля на расстоянии $l = 2a$ от центра квадрата на продолжении диагонали.

26.10. Определите напряженность поля, создаваемого точечным диполем с электрическим моментом $p = 2,0 \cdot 10^{-12}$ Кл \cdot м, на расстоянии $d = 1,0$ см от центра диполя в направлении, перпендикулярном его оси.

26.11. Расстояние между зарядами диполя $l = 1,0$ мкм. Найдите их величину, если в точке, удаленной от обоих зарядов на $d = 2,0$ см, напряженность $E = 1,8$ В/м.

26.12. Поле создано точечным зарядом. Потенциалы точек A и C равны $\varphi_A = 15$ В и $\varphi_C = 5,0$ В (рис. 171). Определите потенциал точки O , лежащей посередине между точками A и C .



Р и с. 171

26.13. Два одноименных заряда по $q = 1,0$ нКл находятся на некотором расстоянии друг от друга. Определите потенциал точки, лежащей на расстоянии $a = 9,0$ см от каждого из зарядов. Как он изменится, если все пространство, в котором находятся заряды, заполнить керосином?

26.14. В декартовой системе координат задается положение двух зарядов. Первый заряд $-q$ имеет координаты $(0, 0)$, второй $+2q$ — $(a, 0)$. Запишите уравнение всех точек на плоскости, для которых потенциал в $n = 2,0$ раза меньше потенциала, создаваемого вторым зарядом.

26.15. Три одинаковых заряда $q = 10$ нКл расположены на окружности радиусом $R = 3,0$ см на одинаковых расстояниях один от другого. Определите напряженность и потенциал на оси окружности на расстоянии R от ее центра.

26.16. Заряд q равномерно распределен по тонкому проволочному кольцу радиусом R . Найдите напряженность и потенциал электрического поля на оси кольца в зависимости от расстояния l от его центра. Определите напряженность и потенциал в центре кольца. На каком расстоянии от центра напряженность максимальна?

26.17. На поверхности шара радиусом $R = 9,0$ см равномерно распределен положительный заряд $q = 0,10$ нКл. Найдите напряженность и потенциал в центре шара и на расстоянии $r = 90$ см от центра.

26.18. Большая шарообразная капля ртути получена в результате слияния $N = 125$ одинаковых капелек. Определите, до какого потенциала были заряжены маленькие капельки, если потенциал большой капли оказался равным $\varphi = 2,5$ В.

26.19. Сфера радиусом R равномерно заряжена электричеством с поверхностной плотностью σ . Найдите модуль напряженности и потенциал как функцию расстояния от центра сферы. Постройте графики функций $E(r)$ и $\varphi(r)$.

26.20. Два шара — большой и маленький — равномерно заряжены электричеством, с поверхностной плотностью σ . Будут ли одинаковы их потенциалы?

26.21. Металлическая сфера, диаметр которой $D = 18$ см, заряжается до потенциала $\varphi = 300$ В. Определите, с какой плотностью распределен заряд по ее поверхности.

26.22. Полый шар равномерно заряжен электричеством. В его центре потенциал $\varphi_1 = 120$ В, а в точке на расстоянии $r = 36$ см от центра — $\varphi_2 = 20$ В. Определите радиус шара.

26.23. Поле создано двумя равномерно заряженными концентрическими сферами (рис. 172). Определите напряженность в точках O ,

A, C , зная, что заряды сфер равны $q_1 = 0,10$ нКл и $q_2 = -0,60$ нКл, а расстояние от центра до точки A $r_1 = 20$ см и до точки C $r_2 = 50$ см.

26.24. Поле создано двумя равномерно заряженными концентрическими сферами. Заряды сфер $q_1 = 1,0$ нКл и $q_2 = -1,0$ нКл, а их радиусы $R_1 = 10$ см и $R_2 = 30$ см. Определите потенциал в центре, а также в точках, отстоящих от центра на расстояния $r_1 = 20$ см и $r_2 = 50$ см.

26.25. Две концентрические проводящие сферы радиусами R и $2R$ заряжены соответственно зарядами одного знака $q_1 = 0,10$ мкКл и $q_2 = 0,20$ мкКл. На равном расстоянии от каждой из сфер потенциал $\varphi = 3,0$ кВ. Найдите R .

26.26. Шар радиусом R равномерно заряжен электричеством с объемной плотностью ρ . Найдите модуль напряженности поля и потенциал как функцию расстояния от центра шара. Постройте графики функций $E(r)$ и $\varphi(r)$.

26.27. Сплошной эбонитовый шар радиусом $R = 5,0$ см несет заряд, равномерно распределенный с объемной плотностью $\rho = 10$ нКл/м³. Определите напряженность в точках, отстоящих от центра шара на расстояния $r_1 = 3,0$ см, $r_2 = 5,0$ см, $r_3 = 10$ см. Постройте график зависимости $E(r)$.

26.28. Две бесконечные параллельные пластины равномерно заряжены с поверхностной плотностью заряда $\sigma_1 = 1,0$ нКл/м² и $\sigma_2 = -3,0$ нКл/м². Определите напряженность: 1) между пластинами; 2) вне пластин. Постройте график изменения напряженности вдоль линии, перпендикулярной пластинам.

26.29. Решите задачу 26.28, если $\sigma_1 = \sigma_2 = 2,65$ мкКл/м².

26.30. Определите разность потенциалов между точками, отстоящими от заряда $q = 4,0$ нКл на расстояния $r_1 = 16$ см и $r_2 = 20$ см.

26.31. Два заряда по $q = 1,0$ мкКл находятся на расстоянии $r_1 = 50$ см друг от друга. Определите, какую работу надо совершить, чтобы сблизить их до $r_2 = 5,0$ см.

26.32. Заряды $q_1 = 0,15$ мкКл и $q_2 = 3,0$ нКл находятся на расстоянии $r_1 = 10$ см друг от друга. Определите, какую работу совершат силы поля, если второй заряд, отталкиваясь от первого, удалится от него на расстояние $r_2 = 10$ м.

26.33. Заряды $q_1 = 0,10$ мкКл и $q_2 = 1,0$ нКл находятся на расстоянии $r = 10$ см друг от друга. Какова потенциальная энергия этой системы?

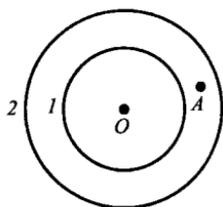


Рис. 172

26.34. Два электрона движутся под действием сил электростатического отталкивания. Определите, какую скорость они будут иметь на бесконечно большом расстоянии, если в начальный момент находились на расстоянии $r = 1,0$ см друг от друга и имели скорость, равную нулю.

26.35. Два электрона, находившиеся на бесконечно большом расстоянии один от другого, начинают двигаться навстречу друг другу с одинаковыми скоростями $v = 1,0$ км/с. Определите, на какое наименьшее расстояние они сблизятся.

26.36. Определите, какая температура необходима, чтобы протоны приблизились друг к другу на расстояние $r = 10^{-15}$ м. Постройте график зависимости энергии кулоновского взаимодействия двух протонов от расстояния между ними.

26.37. Маленький шарик массой $m = 1,0$ г, которому сообщили заряд $q_1 = 0,15$ мкКл, брошен издалека со скоростью $v = 1,0$ м/с в сферу, заряженную зарядом $q_2 = 0,30$ мкКл. Определите, при каком минимальном значении радиуса сферы шарик достигнет ее поверхности.

26.38. Заряды q , $-2q$, $3q$ расположены в вершинах правильного треугольника со стороной a . Определите потенциальную энергию этой системы.

26.39. Определите, какую скорость приобрели бы электроны, о которых говорится в задаче 26.34, если бы их было не два, а: 1) три; 2) четыре.

26.40. Электрон вылетает из точки, потенциал которой $\varphi_1 = 450$ В, со скоростью $v_1 = 190$ м/с. Определите, какую скорость он будет иметь в точке с потенциалом $\varphi_2 = 475$ В.

26.41. Протон, летящий по направлению к ядру двукратно ионизированного неподвижного атома гелия, в некоторой точке поля с напряженностью $E = 10$ кВ/см имеет скорость $v = 1,0$ км/с. Определите, на какое расстояние он сможет приблизиться к ядру.

26.42. Три равных по величине и одинаковых по знаку заряда $q = 1,0$ нКл расположены в вершинах равностороннего треугольника со стороной $a = 3,0$ см. Определите, какую работу надо совершить, чтобы расположить их по прямой на расстоянии $a/2$ друг от друга. Постройте график зависимости работы от длины стороны треугольника.

26.43. Определите, какую работу необходимо совершить, чтобы переместить заряд $q = 0,10$ мкКл внутрь металлической заряженной сферы радиусом $R = 15$ см, имеющей заряд $q_0 = 0,70$ мкКл из точки, находящейся на расстоянии $r = 25$ см от поверхности сферы.

26.44. Тело массой $m = 2,7$ г, несущее заряд $q_0 = 1,5$ мкКл, соскальзывает с наклонной плоскости высотой $h = 100$ см и углом на-

клона $\alpha = 45^\circ$. Определите, какой заряд надо расположить в вершине прямого угла, чтобы тело остановилось, пройдя горизонтальный путь, равный высоте плоскости. Трением пренебречь.

26.45. Шарик массой $m = 150$ г и зарядом $q = 2,0$ мкКл подвешен на нерастяжимой непроводящей нити длиной $l = 60$ см в поле точечного заряда $-q$, закрепленного в точке, лежащей ниже шарика на вертикали, проходящей через точку подвеса на расстоянии $2l$ от нее. Нить отклонили на угол $\alpha = 60^\circ$ от вертикали и отпустили. Определите силу натяжения в момент прохождения шариком равновесного положения.

26.46. Электрон, летевший горизонтально со скоростью $v_0 = 1,6 \cdot 10^6$ м/с, попадает в однородное электрическое поле напряженностью $E = 90$ В/см, направленное вертикально вверх. Определите значение и направление его скорости через время $t = 1,0$ нс.

26.47. Электрон движется по направлению силовых линий однородного поля, напряженность которого $E = 120$ В/м. Определите, какое расстояние он пролетит до полной остановки, если его начальная скорость $v = 1,0 \cdot 10^6$ м/с. Сколько времени электрон будет двигаться до остановки?

26.48. В однородном электрическом поле напряженностью $E = 100$ В/см, направленном вертикально вверх, находится заряженный шарик, подвешенный на тонкой непроводящей нити длиной $l = 1,0$ м. Заряд шарика $q = 3,0$ мкКл, масса $m = 10$ г. Ему сообщили начальную горизонтальную скорость $v_0 = 2,0$ м/с. Найдите натяжение нити в момент достижения шариком крайнего положения.

26.49. Шарик массой $m = 3,2$ г, несущий заряд $q = 5,0$ мкКл, отпускают без начальной скорости в горизонтальное однородное электрическое поле напряженностью $E = 160$ В/см. Запишите уравнение траектории движения. Определите изменение импульса шарика за время прохождения тормозящей разности потенциалов $\Delta\varphi = 10$ В.

26.50. Пылинка массой $m = 10$ нг покоится в однородном электростатическом поле между пластинами с разностью потенциалов $\Delta\varphi = 6,0$ кВ. Расстояние между пластинами $d = 6,0$ см. Каков заряд пылинки? Какое надо приложить напряжение к пластинам, чтобы она осталась в равновесии, потеряв заряд, равный заряду $N = 4,0 \cdot 10^3$ электронов?

§ 27. Проводники и диэлектрики в электрическом поле

27.1. Металлический шар помещают в однородное электрическое поле. Изобразите качественную картину силовых и эквипотенциальных линий.

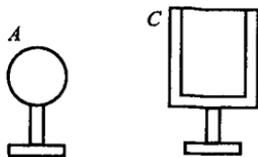


Рис. 173

27.2. Плоскопараллельную пластинку диэлектрика поместили в однородное электрическое поле. Нарисуйте картину силовых линий, если его диэлектрическая проницаемость $\epsilon = 2,0$.

27.3. Как будет двигаться небольшой незаряженный стержень в однородном и неоднородном электрическом поле? Силой тяжести пренебречь. Рассмотрите проводник и диэлектрик.

27.4. Как передать весь заряд проводника *A* полому изолированному проводнику *C* (рис. 173)?

27.5. Как получить на двух полых изолированных проводниках заряды, равные по величине и знаку?

27.6. Как, имея электрический заряд, получить равный ему по величине, но другого знака?

27.7. Почему два разноименно заряженных металлических шара взаимодействуют друг с другом с большей силой, нежели заряженные одноименно (при прочих одинаковых условиях)?

27.8. Возможно ли, чтобы два одноименно заряженных проводника притягивались?

27.9. Положительно заряженное тело притягивает подвешенный на нити шаровой проводник. Можно ли заключить отсюда, что тело заряжено отрицательно?

27.10. Положительно заряженная стеклянная палочка отталкивает подвешенное на нити тело. Следует ли отсюда, что тело заряжено положительно?

27.11. Полый металлический шар *A*, имеющий небольшое отверстие, заряжен положительно. Как известно, на его внутренней поверхности заряды отсутствуют. Зарядится ли металлический шар *C*, если соединить его проволокой с внутренней поверхностью шара *A*?

27.12. Незаряженный металлический шарик, подвешенный на шелковой нити, помещен в однородное электрическое поле напряженностью *E*. Какова напряженность поля для точек внутри шарика? Изменится ли ответ в случае заряженного шарика?

27.13. В поле отрицательного заряда внесли полый металлический шар. Что произойдет с полем заряда? Поясните с помощью рисунка.

27.14. Положительный заряд находится внутри полого сферического проводника. Изобразите с помощью силовых линий электрические поля внутри и вне его.

27.15. Определите, до какого потенциала можно зарядить уединенный металлический шарик радиусом $R = 10$ мм. Какой заряд он при этом будет нести? Напряженность поля, при которой наступает пробой воздуха, $E = 33$ кВ/см.

27.16. Металлические шары, заряженные одинаковым зарядом, имеют потенциалы $\varphi_1 = 20$ В и $\varphi_2 = 30$ В. Определите, каким будет их потенциал, если соединить их проволокой. Расстояние между шарами велико по сравнению с их радиусами.

27.17. Два одинаковых металлических шара радиусом $R = 5,0$ см каждый находятся друг от друга на расстоянии много больше их радиусов. Они несут заряды $q_1 = 95$ мкКл и $q_2 = 75$ мкКл соответственно. Определите количество теплоты, которое выделится при соединении их проволокой.

27.18. Две параллельные металлические пластинки расположены на небольшом расстоянии друг от друга. Какие заряды будут индуцированы на поверхностях второй пластинки, если первой сообщить положительный заряд q ?

27.19. Заряженная металлическая пластинка находится в электрическом поле. Результирующее поле показано на рис. 174. Заряд пластинки q . Слева от нее напряженность поля E_1 , а справа — E_2 . Определите силу, действующую на пластинку.

27.20. Маленький шарик, имеющий заряд $q = 1,0 \cdot 10^{-8}$ Кл, находится на расстоянии $r = 3,0$ см от плоской металлической заземленной стенки. Определите, с какой силой они взаимодействуют.

27.21. На расстоянии $r_1 = 2,0$ см от проводящей бесконечной плоскости находится заряд $q = 1,0 \cdot 10^{-9}$ Кл. Определите потенциал поля в точке, отстоящей от плоскости на расстояние r_1 и от заряда на расстояние $r_2 = 3,0$ см.

27.22. Металлическая пластина, расположенная в вертикальной плоскости, соединена с землей. На расстоянии $r = 10$ см от пластины помещают шарик массой $m = 0,10$ г, подвешенный на нити длиной $l = 12$ см. При сообщении ему заряда q он притянулся к пластине так, что нить отклонилась от вертикали на угол $\alpha = 30^\circ$. Найдите заряд шарика.

27.23. Небольшой шарик висит над горизонтальной проводящей плоскостью на изолирующей упругой нити. После того как ему сообщили заряд $q = 1,4 \cdot 10^{-6}$ Кл, он опустился на $\Delta r = 9,0$ мм, и расстояние до проводящей плоскости стало $r = 10$ см. Найдите коэффициент упругости нити.

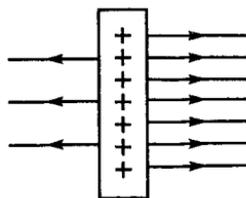


Рис. 174

27.24. Парафиновый шарик притягивается к заряженному металлическому шару в воздухе, но отталкивается от него в воде. Почему?

27.25. Металлический заряженный шар окружен толстым сферическим слоем диэлектрика. Нарисуйте картину силовых линий электрического поля внутри и вне диэлектрика.

27.26. Радиус металлического шара $R = 5,0$ см, а толщина сферического слоя эбонита, окружающего его, $d = 5,0$ см. Заряд шара $q = 6,0 \cdot 10^{-9}$ Кл. Вычислите напряженность поля в точках, лежащих на расстоянии $r_1 = 6,0$ см и $r_2 = 12$ см от центра шара, и постройте график зависимости напряженности от расстояния.

27.27. Металлический шар радиусом $R = 5,0$ см, несущий отрицательный заряд, равномерно распределенный с поверхностной плотностью $\sigma = 2,0$ нКл/м², погружают в керосин. Определите величину и знак поляризаационного заряда, наведенного на границе металл — диэлектрик.

27.28. Две вертикально расположенные пластины заряжены так, что разность потенциалов между ними равна $\Delta\varphi = 400$ В. Пластины погружают в масло. Определите поверхностную плотность связанных зарядов, если расстояние между ними $d = 2,0$ мм.

§ 28. Емкость. Конденсаторы

28.1. Два металлических шара — большой и маленький — заряжаются одинаковым количеством электричества. Будут ли одинаковыми их потенциалы? Что произойдет, если их соединить проволокой?

28.2. Два металлических шара — большой и маленький — заряжаются до одинакового потенциала. На каком шаре при этом будет больший заряд? В какую сторону будет перетекать заряд, если их соединить проволокой?

28.3. Два металлических заряженных шара соединяют проволокой. Показать, что после соединения поверхностные плотности зарядов на них будут обратно пропорциональны их радиусам.

28.4. Определите, каким должен быть радиус шара емкостью $C = 1,0$ Ф.

28.5. Вычислите емкость земного шара. На сколько увеличит потенциал Земли заряд $q = 1,0$ Кл?

28.6. Металлический шар диаметром $D = 18$ см заряжают до потенциала $\varphi = 10$ кВ. Определите величину его заряда.

28.7. Одинаковые маленькие капельки ртути числом $N = 1,0 \cdot 10^3$, заряженные равными зарядами, сливаются в одну сферическую каплю. Во сколько раз ее потенциал больше потенциала маленькой капли?

28.8. Два одинаковых шарика диаметром $D = 1,0$ см каждый заряжены один до потенциала $\varphi_1 = -6,0$ кВ, другой — до $\varphi_2 = 6,0$ кВ. Вычислите силу притяжения между ними на расстоянии $r = 1,0$ м.

28.9. Два шара, один радиусом $R_1 = 5,0$ см с зарядом $q_1 = 0,80$ нКл, другой радиусом $R_2 = 10$ см с зарядом $q_2 = -2,0$ нКл, соединяют длинной тонкой проволокой. Какой заряд переместится по ней? Каким будет общий потенциал шаров после соединения?

28.10. Заряженный до потенциала $\varphi_1 = 300$ В шар радиусом $R_1 = 15$ см соединяется с незаряженным шаром длинной тонкой проволокой. После соединения его потенциал стал $\varphi_2 = 100$ В. Определите радиус второго шара.

28.11. Металлический шарик радиусом $R_1 = 1,0$ см, заряженный до потенциала $\varphi_1 = 270$ В, вносится внутрь полого металлического шара радиусом $R_2 = 10$ см, заряженного до потенциала $\varphi_2 = 450$ В. Определите потенциалы и заряды на шарах после их прикосновения.

28.12. Металлический шар радиусом R_1 , заряженный до некоторого потенциала, окружают концентрической сферической проводящей оболочкой радиусом R_2 . Как изменится потенциал и чему станет равна емкость шара, если внешнюю оболочку заземлить?

28.13. Изолированный металлический шар радиусом $R = 5,0$ см заряжен до потенциала $\varphi = 10$ кВ. Определите объемную плотность энергии у его поверхности.

28.14. Два одинаковых шара удалены на очень большое расстояние друг от друга. Поле первого шара обладает энергией $W_1 = 1,6$ мДж, а поле второго — энергией $W_2 = 3,6$ мДж. Определите, какое количество теплоты выделится при их соединении проволокой.

28.15. Проводник емкостью C_1 заряжен до потенциала φ_1 , а проводник емкостью C_2 — до потенциала φ_2 . Проводники удалены на очень большое расстояние друг от друга. Определите, каким будет их потенциал, если соединить их проволокой.

28.16. Проводники, заряженные одинаковым зарядом, имеют потенциалы $\varphi_1 = 40$ В и $\varphi_2 = 60$ В. Каким будет их потенциал, если соединить их тонкой проволокой?

28.17. Проводник емкостью $C_1 = 1,0$ мкФ заряжен до потенциала $\varphi_1 = 6,0$ кВ, а проводник емкостью $C_2 = 2,0$ мкФ — до потенциала $\varphi_2 = 12$ кВ. Расстояние между ними велико по сравнению с их разме-

рами. Определите, какое количество теплоты выделится при соединении их проволокой.

28.18. Плоский конденсатор образован двумя квадратными пластинами, отстоящими друг от друга на расстоянии $d = 1,0$ мм. Какой должна быть ширина каждой из пластин, чтобы емкость конденсатора была $C = 0,010$ мкФ? Чему будет равна сторона пластины для получения такой же емкости, если между ними поместить гетинакс?

28.19. Имеются две медные пластины, листок слюды толщиной $d_1 = 0,10$ мм, кварцевая пластинка толщиной $d_2 = 2,0$ мм и пластинка воска толщиной $d_3 = 1,0$ см. Определите, какую из пластин надо взять для получения наибольшей емкости конденсатора.

28.20. Эталон емкостью $C = 1,0$ мкФ делается из тонких листочков металла, прослоенных листочками слюды толщиной $d = 0,10$ мм. Определите, какой должна быть площадь поверхности такого конденсатора.

28.21. Плоский конденсатор, между обкладками которого находится стеклянная пластинка, присоединен к аккумулятору. Заряд конденсатора $q_0 = 14$ мкКл. Определите, какой заряд пройдет через аккумулятор при удалении пластинки.

28.22. Определите силу взаимодействия пластинок плоского конденсатора площадью $S = 100$ см², если разность потенциалов между ними $\Delta\phi = 500$ В и расстояние $d = 3,0$ мм.

28.23. Пластины плоского конденсатора имеют заряды $+q$ и $-q$. Как изменится сила их взаимодействия, если расстояние между ними увеличить в 3 раза?

28.24. Решить задачу 28.23, считая, что пластины конденсатора присоединены к батарее аккумулятора.

28.25. Как изменится емкость C_0 плоского конденсатора, если между его обкладками поместить пластинку: 1) стеклянную; 2) металлическую? Толщина каждой пластинки равна половине расстояния между обкладками.

28.26. Тонкая металлическая пластинка помещена между обкладками плоского конденсатора параллельно обеим пластинкам. Как это повлияет на емкость? Что произойдет, если ее соединить с одной из обкладок?

28.27. Найдите емкость конденсатора, изображенного на рис. 175. Площадь каждой пластины S , а расстояние между ними d .

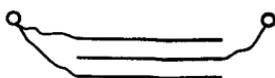


Рис. 175

28.28. Конденсатор, заряженный до напряжения $U_1 = 100$ В, соединяется с конденсатором такой же емкости, но заряженным до напряжения $U_2 = 200$ В один раз одноименно заряженными обкладками, другой — разно-

именно заряженными. Определите, какое напряжение установится между обкладками в обоих случаях.

28.29. Пространство между пластинками плоского конденсатора заполнено двумя слоями диэлектриков: фарфора толщиной $d_1 = 1,0$ см и парафина толщиной $d_2 = 2,0$ см. Разность потенциалов между обкладками $\Delta\varphi = 2,1$ кВ. Определите напряженность поля и падение потенциала в каждом из слоев.

28.30. Бумага пробивается при напряженности поля $E = 18$ кВ/см. Два плоских конденсатора с изолирующим слоем из этой бумаги толщиной $d = 2,0$ мм, один емкостью $C_1 = 1200$ пФ, другой емкостью $C_2 = 400$ пФ, соединены последовательно. При каком наименьшем напряжении будет пробита система?

28.31. Определите, какое количество теплоты выделится в проводнике, если через него разрядить конденсатор емкостью $C = 25$ пФ, заряженный до напряжения $U = 2,0$ кВ.

28.32. Определите, как изменится объемная плотность энергии поля в заряженном плоском воздушном конденсаторе при уменьшении зазора между пластинами в 2 раза: 1) после отключения от источника напряжения; 2) при подключенном источнике напряжения.

28.33. Плоский воздушный конденсатор емкостью $C = 20$ нФ заряжен до разности потенциалов $\Delta\varphi = 100$ В. Определите, какую работу надо совершить, чтобы вдвое увеличить расстояние между обкладками.

28.34. Между обкладками плоского конденсатора находится парафиновая пластинка. Емкость конденсатора $C = 4,0$ мкФ, заряд $q = 0,20$ мКл. Определите, какую работу нужно совершить, чтобы вытащить пластинку из конденсатора.

28.35. Плоский конденсатор, наполовину заполненный воском, зарядили до некоторой разности потенциалов. Найдите распределение энергии в воздушном зазоре и воске.

28.36. Найдите емкости конденсаторных батарей, изображенных на рис. 176.

28.37. Найдите емкости конденсаторных батарей, изображенных на рис. 177.

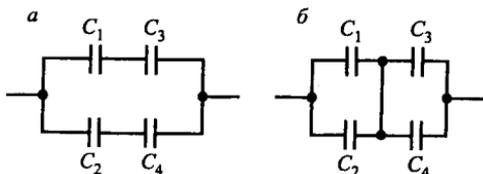
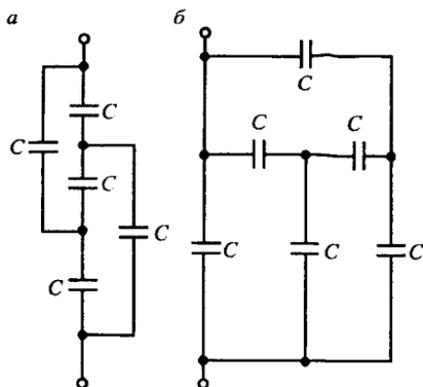
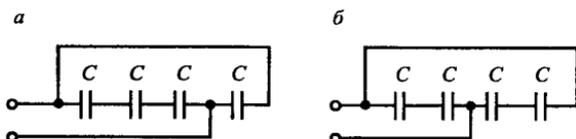


Рис. 176



Р и с. 177



Р и с. 178

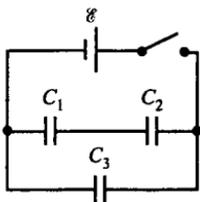
28.38. Батарея из четырех одинаковых конденсаторов включена один раз по схеме рис. 178, *а*, другой раз — по схеме рис. 178, *б*. Определите, в каком случае емкость батареи будет больше.

28.39. Два одинаковых воздушных конденсатора с емкостью $C = 3,0$ мкФ каждый заряжены до напряжения $U = 200$ В. Один из конденсаторов заполняют парафином, после чего их соединяют параллельно. Определите работу происходящего при этом разряда.

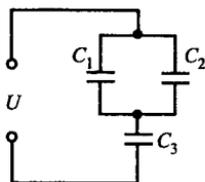
28.40. Батарея из $n = 5$ последовательно соединенных конденсаторов емкостью $C = 2,0$ нФ каждый поддерживается при постоянном напряжении $U = 10$ кВ. Один из конденсаторов пробивается. Определите заряд, протекший по цепи.

28.41. Батарея из трех последовательно соединенных воздушных конденсаторов емкостью $C = 4,2$ мкФ каждый поддерживается при постоянном напряжении $U = 100$ В. Один из конденсаторов заполняют слюдой. Определите работу источника напряжения и изменение энергии батареи конденсаторов.

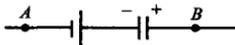
28.42. После замыкания ключа (рис. 179) источник напряжения совершил работу $A = 16$ мкДж. Определите емкость конденсатора C_1 , если $C_2 = 6,0$ мкФ, $C_3 = 2,0$ мкФ, $\mathcal{E} = 2,0$ В.



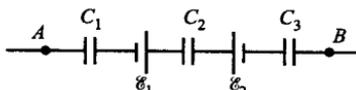
Р и с. 179



Р и с. 180



Р и с. 181



Р и с. 182

28.43. Как изменятся заряд и разность потенциалов обкладок конденсатора C_3 (рис. 180) при пробое конденсатора C_2 ? Во сколько раз? $C_1 = C_2 = 5,0$ мкФ, $C_3 = 15$ мкФ.

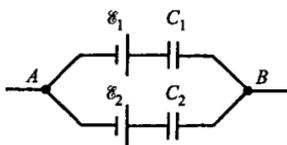
28.44. В некоторой цепи имелся участок, изображенный на рис. 181. Емкость конденсатора $C = 10$ мкФ, его заряд $q = 40$ мкКл и ЭДС источника $\mathcal{E} = 1,0$ В. Найдите разность потенциалов между точками A и B .

28.45. На участке цепи (рис. 182) $\mathcal{E}_1 = 1,0$ В, $\mathcal{E}_2 = 2,0$ В, $\varphi_A - \varphi_B = 3,0$ В, $C_1 = 20$ мкФ, $C_2 = 30$ мкФ, $C_3 = 60$ мкФ. Найдите напряжение на каждом конденсаторе.

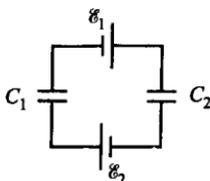
28.46. На участке цепи (рис. 183) $\mathcal{E}_1 = 1,0$ В, $\mathcal{E}_2 = 2,0$ В, $C_1 = 10$ мкФ, $C_2 = 20$ мкФ. Найдите заряд конденсатора C_2 , зная, что заряд конденсатора C_1 равен $q_1 = 10$ мкКл.

28.47. Найдите заряд каждого конденсатора в цепи, показанной на рис. 184.

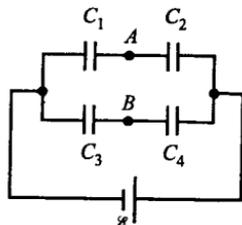
28.48. Определите разность потенциалов между точками A и B в схеме, изображенной на рис. 185.



Р и с. 183



Р и с. 184



Р и с. 185

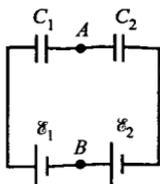


Рис. 186

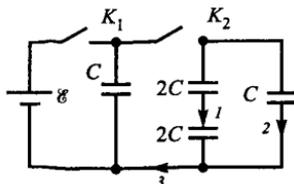


Рис. 187

28.49. Определите разность потенциалов между точками A и B в схеме, изображенной на рис. 186.

28.50. На схеме, изображенной на рис. 187, $\mathcal{E} = 0,30$ кВ, $C = 100$ пФ. Сначала замыкают ключ K_1 . Затем его размыкают и замыкают ключ K_2 . Определите, какие заряды протекут при этом в указанных стрелками направлениях.

28.51. Определите заряды, протекшие через источник ЭДС и проводник, которым замыкают точки A и B (см. рис. 185), если $C_1 = C_2 = C_3 = C_0$, $C_4 = 2C_0$.

Дополнительные задачи

VIII.1. Две проводящие сферы диаметрами $D = 5,0$ мм, $d = 2,5$ мм соединены непроводящей пружиной жесткостью $k = 100$ Н/м длиной $l = 10$ см. Одной из сфер сообщают заряд q . Затем их соединяют тонким проводником. Расстояние между ними становится равным $L = 10,5$ см. Найдите заряд q , если до сообщения этого заряда сила натяжения пружины была равна нулю.

VIII.2. Определите силу взаимодействия двух диполей (рис. 188), находящихся на расстоянии $r \gg l$ друг от друга.

VIII.3. Два точечных равных по величине отрицательных заряда закреплены на расстоянии l друг от друга. Положительный заряд движется из бесконечности по прямой, проходящей через центр отрезка l и перпендикулярной к ней. Определите, на каком расстоянии от зарядов ускорение положительного заряда: 1) максимально; 2) равно нулю.

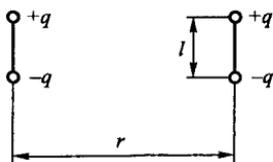


Рис. 188

VIII.4. Две металлические пластины площадью $S = 10$ см² укреплены параллельно друг другу на расстоянии $l = 1,0$ см: одна — на изолирующей подставке, другая — на пружине жесткостью $k = 0,25$ Н/м (рис. 189). Изолированной пластине сообщили заряд $q = 3,0$ нКл. Определите разность потенциалов между ними.

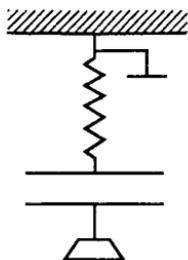


Рис. 189

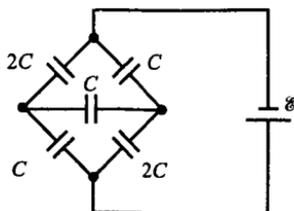


Рис. 190



Рис. 191

VIII.5. Определите, какая энергия запасена в батарее конденсаторов, изображенных на рис. 190.

VIII.6. Между пластинами 1 и 2, расположенными на небольшом расстоянии друг от друга, разность потенциалов $\Delta\varphi_0 = 120$ В. К ним поднесли две пластины на такое же расстояние (рис. 191). Определите разность потенциалов между пластинами 1 и 4, если пластины 3 и 4 соединили проводником, а затем проводник убрали.

VIII.7. Две металлические пластины, имеющие заряды q_1 и q_2 , поднесли параллельно друг другу. Определите, какие заряды наведутся на их поверхностях.

VIII.8. Две металлические пластины расположены на расстоянии L друг от друга и соединены между собой проводником. Одна из них заземлена. Между ними на расстоянии $L/3$ от одной находится тонкая непроводящая пленка, на которой равномерно распределен заряд Q (рис. 192). Определите, какой заряд потечет по проводнику, если пленку передвинуть на расстояние $L/3$ к другой пластине.

VIII.9. Два шарика с зарядами $q = 30$ нКл каждый закреплены на двух непроводящих стержнях и укреплены между собой непроводящей нитью (рис. 193). Стержни могут вращаться в плоскости рисунка вокруг точки O без трения. Длина нити и стержней одинакова и равна $l = 5,0$ см. Шарики помещают в однородное электрическое поле напряженностью $E = 100$ кВ/м, направленное перпендикулярно нити в

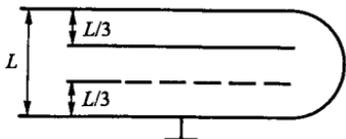


Рис. 192

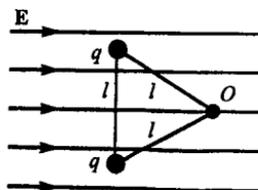


Рис. 193

плоскости рисунка. В некоторый момент времени нить пережигают. Пренебрегая действием силы тяжести, найдите силу натяжения стержней в момент, когда заряды находятся на одной прямой с осью вращения.

Глава IX

ПОСТОЯННЫЙ ТОК

§ 29. Сила тока. Закон Ома для участка цепи. Соединения проводников

29.1. Известна зависимость силы тока в проводнике от времени (рис. 194). Вычислите заряд, прошедший через сечение проводника за время от t_1 до t_2 . Покажите q_{12} на графике $I(t)$.

29.2. На рис. 195 приведены графики вольт-амперных характеристик двух проводников. Сравните их сопротивления.

29.3. Определите, чему равна сила тока в проводнике, если за $t = 1$ мин через его сечение протекает $q = 30$ мКл электричества.

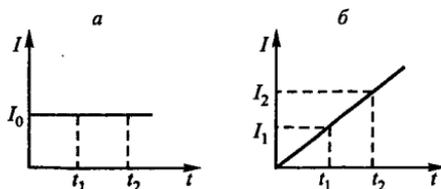
29.4. На конденсатор переменной емкости подано напряжение $U = 100$ В. Определите силу тока, текущего по проводам, если емкость конденсатора меняют равномерно со скоростью $\Delta C/\Delta t = 10$ нФ/с.

29.5. По проводнику течет ток силой $I = 0,20$ А, разность потенциалов на его концах $\Delta\phi = 7,0$ В. Чему равно сопротивление проводника?

29.6. Определите плотность тока, текущего по мотку тонкой медной проволоки длиной $l = 10$ м, на который подано напряжение $U = 17$ мВ.

29.7. Определите сопротивление мотка стальной проволоки диаметром $D = 1,0$ мм, масса которого $m = 300$ г.

29.8. Нихромовая спираль нагревательного прибора должна иметь сопротивление $R = 30$ Ом при температуре накала $t = 900$ °С.



Р и с. 194

Сколько метров проволоки надо взять для изготовления спирали, если площадь ее поперечного сечения $S = 0,30 \text{ мм}^2$?

29.9. Вольфрамовая нить электрической лампы при температуре $t_1 = 2000 \text{ }^\circ\text{C}$ имеет сопротивление $R_1 = 204 \text{ Ом}$. Определите ее сопротивление при температуре $t_2 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$.

29.10. Определите, до какой температуры нагревается нихромовая электрогрелка, если известно, что сила тока, проходящего через обмотку в момент ее включения ($t_1 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$), в $n = 1,09$ раза превышает рабочую силу тока.

29.11. Сравните напряжения на участках AB и BC электрической цепи при прохождении электрического тока (рис. 196).

29.12. Определите, какое количество лампочек, рассчитанных на $U_1 = 6,3 \text{ В}$, надо взять для елочной электрогирлянды, чтобы ее можно было включить в городскую осветительную сеть с напряжением $U = 220 \text{ В}$.

29.13. Дуговой фонарь, требующий для своего питания напряжение $U_0 = 40 \text{ В}$ и силу тока $I_0 = 10 \text{ А}$, включен в сеть с напряжением $U = 120 \text{ В}$ через реостат, изготовленный из константановой проволоки с площадью сечения $S = 2,0 \text{ мм}^2$. Определите сопротивление реостата и длину проволоки, необходимой для его изготовления.

29.14. Железный стержень соединен последовательно с угольным такой же толщины. Определите, при каком соотношении их длин сопротивление такой комбинации не зависит от температуры.

29.15. В сеть с напряжением $U = 24 \text{ В}$ подключили два последовательно соединенных резистора. При этом сила тока стала равной $I_1 = 0,60 \text{ А}$. Когда резисторы подключили параллельно, суммарная сила тока стала равной $I_2 = 3,2 \text{ А}$. Определите их сопротивления.

29.16. При последовательном подключении к сети двух проводников сила тока в $n = 6,25$ раза меньше, чем при параллельном. Определите, во сколько раз отличаются их сопротивления.

29.17. Электрическая цепь составлена из трех проводников одинаковой длины и сделанных из одного материала. Проводник с площадью сечения $S_1 = 3,0 \text{ мм}^2$ соединен последовательно с параллельно соединенными проводниками с площадью сечений $S_2 = 2,0 \text{ мм}^2$ и $S_3 = 4,0 \text{ мм}^2$. Напряжение на концах цепи $U = 12 \text{ В}$. Сила тока, текущего через проводник с S_1 , $I_1 = 1,0 \text{ А}$. Определите для каждого проводника сопротивление, силу тока и падение напряжения.

29.18. Определите, какие сопротивления можно получить, имея в своем распоряжении три резистора сопротивлением $R = 60 \text{ Ом}$ каждый.

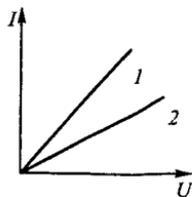
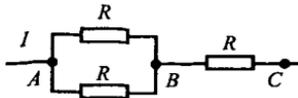


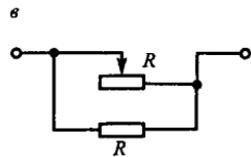
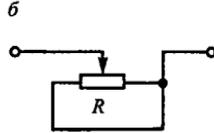
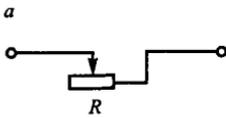
Рис. 195



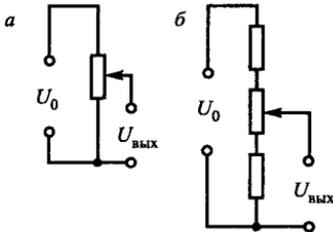
Р и с. 196



Р и с. 197



Р и с. 198



Р и с. 199

29.19. Определите сопротивление реостата, позволяющего уменьшить ток в n раз (рис. 197).

29.20. Постройте график зависимости общего сопротивления $R_{\text{общ}}$ цепи от сопротивления r правой части реостата (рис. 198).

29.21. В каких пределах можно регулировать напряжение в схемах на рис. 199?

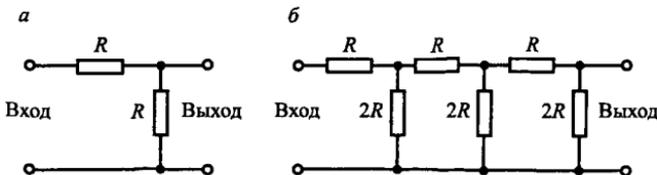
29.22. На вход цепочки из резисторов, показанной на рис. 200, подано напряжение U_0 . Определите напряжение на выходе. Какое напряжение будет на выходе, если на выход подать напряжение U_0 ?

29.23. Определите сопротивления цепей, показанных на рис. 201.

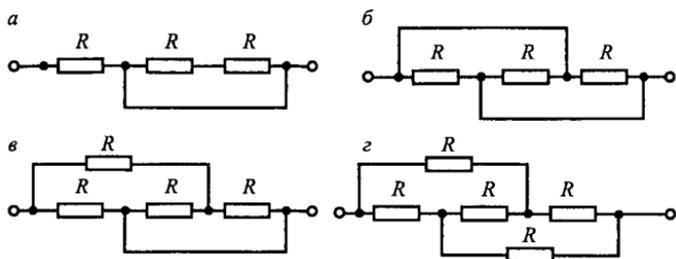
29.24. Определите сопротивления проволочных сеток (рис. 202). Сопротивление каждого звена равно r .

29.25. Когда на клеммы AB (рис. 203) подали напряжение, заряд на конденсаторе C оказался равным нулю. Определите сопротивление резистора R_x .

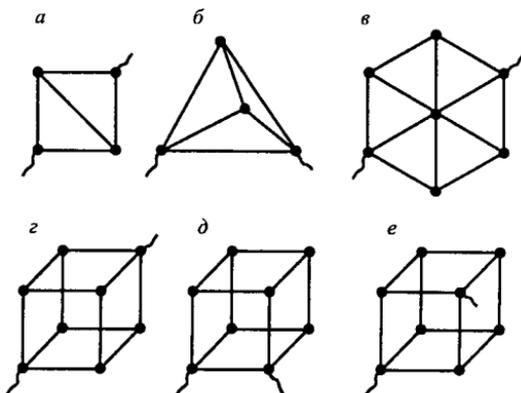
29.26. Электрическая плитка подключена к сети с напряжением $U_0 = 220$ В с помощью длинных проводов, при этом напряжение на



Р и с. 200



Р и с. 201



Р и с. 202

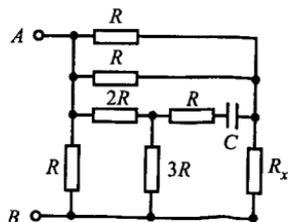
ней равно $U_1 = 210$ В. Определите, чему будет равно напряжение на плитке, если к ней подключить параллельно такую же плитку.

29.27. Как изменятся показания вольтметра при перемещении ползунка реостата вправо (рис. 204)?

29.28. Определите, какой силы ток течет через амперметр с пренебрежимо малым сопротивлением в цепи, показанной на рис. 205. $R = 400$ Ом, $U_{AB} = 0,30$ В.

29.29. Через амперметр с пренебрежимо малым сопротивлением течет ток силой $I = 10$ мА в цепи, показанной на рис. 206. Определите сопротивление резистора, если $U_{AB} = 0,75$ В.

29.30. Определите, какой силы ток идет через амперметр (рис. 207), если $U = 15$ В, $R_1 = 5,0$ Ом, $R_2 = 10$ Ом, $R_3 = 10$ Ом, $R_4 = 5,0$ Ом. Внутренним сопротивлением амперметра пренебречь.



Р и с. 203

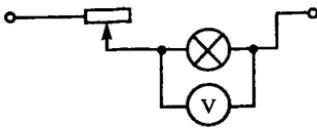


Рис. 204

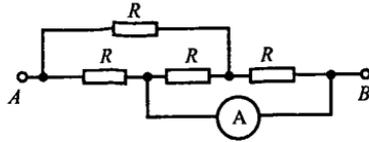


Рис. 205

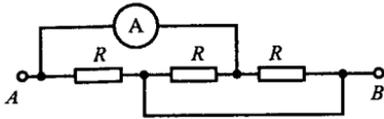


Рис. 206

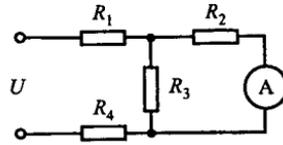


Рис. 207

29.31. Определите, какой шунт нужно присоединить к гальванометру со шкалой на $N = 100$ делений, ценой деления $I_0 = 1,0$ мкА и сопротивлением $r = 180$ Ом, чтобы им можно было измерять токи до $I = 1,0$ мА. Постройте график зависимости измеряемого тока от сопротивления шунта.

29.32. Параллельно амперметру, имеющему сопротивление $r = 20$ мОм, включен медный проводник длиной $l = 20$ см и площадью сечения $S = 3,4$ мм². Определите силу тока в цепи, если амперметр показывает $I_A = 0,30$ А.

29.33. Амперметр сопротивлением $r = 10$ Ом рассчитан на силу тока $I_0 = 30$ мА. Какие добавочные сопротивления R_1, R_2, R_3, R_4 надо взять, чтобы можно было измерить напряжение U в четырех пределах: 3, 15, 75 и 150 В?

29.34. Определите показания вольтметров, подключенных к потенциометру сопротивлением $R = 100$ Ом (рис. 208). Напряжение $U = 60$ В. Ползунок потенциометра находится посередине. Сопротивления вольтметров $r_1 = 60$ Ом, $r_2 = 40$ Ом.

29.35. Вольтметр, включенный последовательно с сопротивлением $R_1 = 70$ Ом, показывает напряжение $U_1 = 100$ В при напряжении в

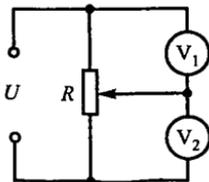


Рис. 208

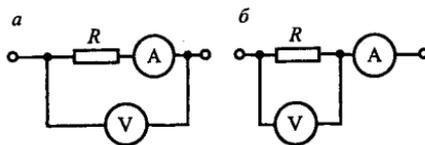


Рис. 209

цепи $U = 240$ В. Что покажет вольтметр, если его включить последовательно с сопротивлением $R_2 = 35$ кОм в ту же сеть?

29.36. На рис. 209 изображены схемы для измерения сопротивления. Какую из них следует предпочесть, когда измеряемое сопротивление: 1) велико; 2) мало?

§ 30. Закон Ома для замкнутой цепи

30.1. Постройте для цепи, состоящей из источника тока с ЭДС \mathcal{E} , внутренним сопротивлением r и внешнего сопротивления R , графики зависимостей тока в цепи и напряжения на зажимах источника от внешнего сопротивления.

30.2. Во сколько раз внешнее сопротивление источника тока должно быть больше внутреннего, чтобы при расчетах (пренебрегая внутренним сопротивлением источника) ошибка не превышала $\eta = 1,0\%$?

30.3. Как изменяются показания электрических приборов при движении ползунка реостата в направлении, указанном стрелкой (рис. 210)?

30.4. К батарее с ЭДС $\mathcal{E} = 4,5$ В и внутренним сопротивлением $r = 1,0$ Ом подключили резистор сопротивлением $R = 8,0$ Ом. Какой силы ток течет в цепи? Чему равно напряжение на внешнем сопротивлении?

30.5. В цепи, состоящей из источника тока с ЭДС $\mathcal{E} = 6,0$ В, внутренним сопротивлением $r = 2,0$ Ом и внешнего сопротивления, идет ток силой $I_1 = 1,0$ А. Какой силы ток пойдет по цепи, если внешнее сопротивление увеличить в $n = 2,0$ раза?

30.6. К батарее с ЭДС $\mathcal{E} = 3,0$ В подключили резистор сопротивлением $R = 20$ Ом. Падение напряжения на резисторе оказалось $U = 2,0$ В. Определите ток короткого замыкания.

30.7. Когда к источнику тока подключили резистор сопротивлением $R_1 = 5,0$ Ом, сила тока стала $I_1 = 1,0$ А, а когда подключили ре-

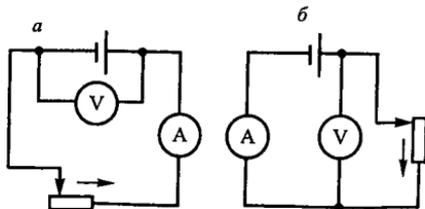
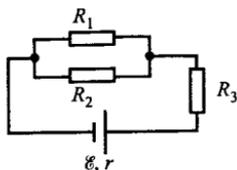
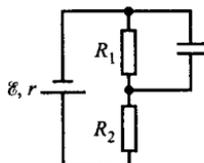


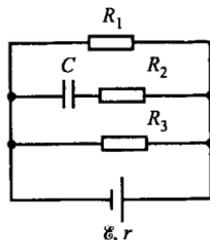
Рис. 210



Р и с. 211



Р и с. 212



Р и с. 213

зистор сопротивлением $R_2 = 15$ Ом, то $I_2 = 0,50$ А. Определите ЭДС источника тока и его внутреннее сопротивление.

30.8. К батарее подключено сопротивление $R = 20$ Ом. Вольтметр с внутренним сопротивлением $r = 2,0$ кОм включают сначала последовательно, а затем параллельно сопротивлению R . В обоих случаях его показания оказались одинаковы. Определите внутреннее сопротивление батареи.

30.9. Цепь состоит из аккумулятора с внутренним сопротивлением $r = 5,0$ Ом и нагрузки $R = 15$ Ом. При подключении к нагрузке некоторого резистора параллельно, а затем последовательно ток через этот резистор не меняется. Чему равно его сопротивление?

30.10. К генератору подключено $n = 100$ ламп, соединенных параллельно, имеющих сопротивление $R = 1,2$ кОм каждая. Напряжение на лампах $U = 220$ В. Внутреннее сопротивление генератора $r = 6,0$ Ом. Определите ЭДС генератора.

30.11. Определите падение напряжения на резисторах и источнике тока, а также силы токов через них, если $R_1 = 6,0$ Ом, $R_2 = 12$ Ом, $R_3 = 5,0$ Ом, $r = 3,0$ Ом, $\mathcal{E} = 12$ В (рис. 211).

30.12. Какова должна быть ЭДС батареи в схеме (рис. 212), чтобы напряженность поля в плоском конденсаторе была $E = 2,0$ кВ/м? Сопротивление $r = R_1 = R_2$. Расстояние между пластинами конденсатора $d = 5,0$ мм.

30.13. Когда параллельно конденсатору, подключенному к клеммам батареи, подключили резистор сопротивлением $R = 15$ Ом, заряд на нем уменьшился в $n = 1,2$ раза. Определите, чему равно внутреннее сопротивление батареи.

30.14. Определите заряд на конденсаторе емкостью $C = 1,0$ мкФ (рис. 213). ЭДС источника тока $\mathcal{E} = 6,0$ В, внутреннее сопротивление $r = 5,0$ Ом, $R_1 = R_2 = R_3 = 20$ Ом.

30.15. Определите, каким должно быть сопротивление R (рис. 214), чтобы заряд плоского воздушного конденсатора оказался равным $q = 4,5$ мкКл. Как изменится заряд конденсатора, если расстоя-

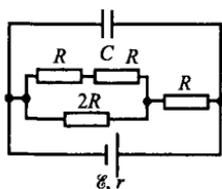


Рис. 214

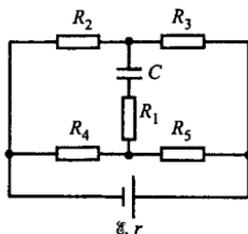


Рис. 215

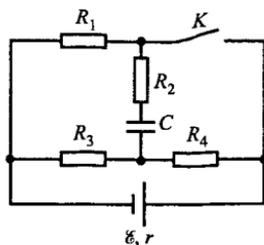


Рис. 216

ние между его пластинами увеличить вдвое? $\mathcal{E} = 5,0$ В, $r = 0,50$ Ом, $C = 1,0$ мкФ.

30.16. Определите заряд на конденсаторе $C = 15$ мкФ в схеме, показанной на рис. 215. $R_1 = R_3 = R_4 = 12$ Ом, $R_2 = R_5 = 18$ Ом, ЭДС источника тока $\mathcal{E} = 7,5$ В, внутреннее сопротивление $r = 1,0$ Ом.

30.17. Определите, какой заряд протечет через сопротивление R_2 после размыкания ключа K (рис. 216), если $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R = 20$ Ом, $\mathcal{E} = 100$ В, $r = 10$ Ом, $C = 10$ мкФ.

30.18. Определите разность потенциалов между точками A и B в цепи, изображенной на рис. 217.

30.19. Определите разность потенциалов между точками A и B в цепи, изображенной на рис. 218.

30.20. Источник тока с ЭДС $\mathcal{E} = 3,0$ В и внутренним сопротивлением $r = 5,0$ Ом подключили к клеммам A и B некоторого устройства, причем плюс источника присоединили к клемме B , а минус — к клемме A . При этом через источник в направлении от A к B пошел ток силой $I_1 = 1,0$ А. Когда минус источника подключили к клемме B , а плюс — к клемме A , то через источник пошел ток силой $I_2 = 0,60$ А в направлении от A к B . Определите напряжение на источнике тока в первом и втором случаях.

30.21. Определите ЭДС и внутреннее сопротивление устройства, описанного в задаче 30.20.

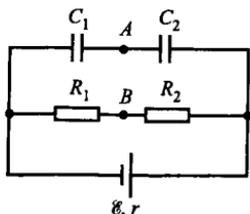


Рис. 217

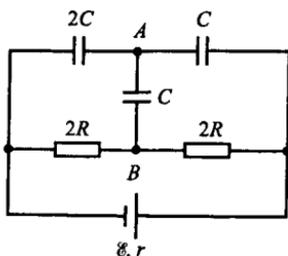


Рис. 218

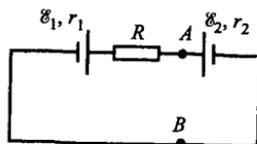


Рис. 219

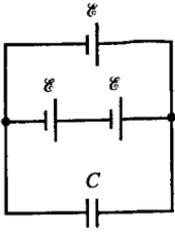


Рис. 220

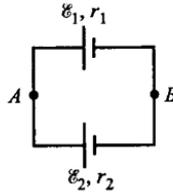


Рис. 221

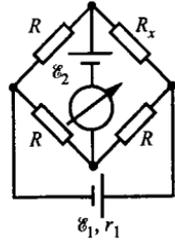


Рис. 222

30.22. Определите разность потенциалов между точками A и B (рис. 219). ЭДС источника тока $\mathcal{E}_1 = 1,0$ В и $\mathcal{E}_2 = 1,3$ В, внутренние сопротивления $r_1 = 3,0$ Ом и $r_2 = 5,0$ Ом, внешнее сопротивление $R = 7,0$ Ом.

30.23. В схеме (рис. 220) включены три одинаковых источника постоянного тока, ЭДС которых равны $\mathcal{E} = 15$ В, и конденсатор емкостью $C = 1,0$ мкФ. Найдите заряд на конденсаторе. Сопротивлением соединительных проводов пренебречь. Постройте график зависимости заряда на конденсаторе от ЭДС источника.

30.24. Какое сопротивление R надо подключить между точками A и B , чтобы ток через батарею с ЭДС $\mathcal{E}_2 = 4,0$ В и внутренним сопротивлением $r_2 = 3,0$ Ом был равен нулю (рис. 221)? $\mathcal{E}_1 = 6,0$ В, $r_1 = r_2$.

30.25. В цепи, показанной на рис. 222, ток через гальванометр не течет. Определите, чему равно сопротивление R_x . $R = 9,0$ Ом, $\mathcal{E}_1 = 15$ В, $r_1 = 2,8$ Ом, $\mathcal{E}_2 = 2,7$ В.

30.26. Заряд на конденсаторе C равен нулю. Как подключен источник тока и чему равна его ЭДС? $R_1 = 12$ Ом, $R_2 = 6,0$ Ом, $R_3 = 3,0$ Ом, $R_4 = 15$ Ом, $\mathcal{E}_1 = 5,0$ В, $r_1 = 1,0$ Ом (рис. 223).

30.27. Схема составлена из семи одинаковых источников тока с ЭДС $\mathcal{E} = 4,0$ В и внутренним сопротивлением $r = 3,0$ Ом, четырех одинаковых конденсаторов емкостью $C = 100$ пФ и сопротивления

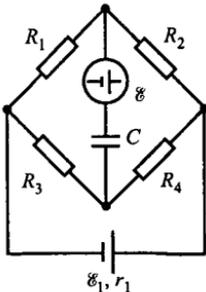


Рис. 223

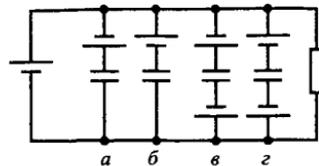


Рис. 224

$R = 1,0 \text{ Ом}$. Определите заряд на верхней пластине каждого конденсатора (рис. 224).

30.28. Два источника тока с ЭДС \mathcal{E}_1 и \mathcal{E}_2 и внутренними сопротивлениями r_1 и r_2 соединены параллельно. Определите ЭДС полученного источника тока (напряжение на клеммах источников). Какой силы ток будет течь через сопротивление R , если его подключить к клеммам источников?

30.29. Определите ЭДС трех параллельно соединенных источников тока.

30.30. Три одинаковые батареи с внутренним сопротивлением $r = 6,0 \text{ Ом}$ замкнули, один раз соединив параллельно, а другой раз — последовательно на некоторое сопротивление. При этом сила тока в обоих случаях была одинакова. Определите внешнее сопротивление.

30.31. Несколько одинаковых источников тока соединены последовательно и замкнуты накоротко. Определите напряжение на источнике тока.

30.32. Три источника с ЭДС $\mathcal{E}_1 = 1,0 \text{ В}$, $\mathcal{E}_2 = 2,0 \text{ В}$ и $\mathcal{E}_3 = 3,0 \text{ В}$ и внутренними сопротивлениями соответственно $r_1 = 1,0 \text{ Ом}$, $r_2 = 2,0 \text{ Ом}$ и $r_3 = 3,0 \text{ Ом}$ соединены последовательно и замкнуты накоротко. Определите силу тока в цепи и падение напряжения на каждом из них. Чему равны сила тока и падение напряжения, если все три источника тока имеют одинаковую ЭДС $\mathcal{E} = 2,0 \text{ В}$?

30.33. Даны два источника тока с ЭДС $\mathcal{E}_1 = 4,0 \text{ В}$ и внутренним сопротивлением $r_1 = 2,0 \text{ Ом}$ и $\mathcal{E}_2 = 5,0 \text{ В}$, $r_2 = 4,0 \text{ Ом}$. При каком внешнем сопротивлении ток через него не зависит от способа соединения элементов? Какую максимальную силу тока можно получить через резистор сопротивлением $R_1 = 12 \text{ Ом}$?

30.34. Аккумулятор с внутренним сопротивлением $r = 2,0 \text{ Ом}$ и ЭДС $\mathcal{E} = 3,5 \text{ В}$ подзаряжается от сети с напряжением $U = 12 \text{ В}$. Какое ограничивающее сопротивление R надо поставить, чтобы сила тока в цепи не превышала $I = 1,0 \text{ А}$? Какое напряжение U_1 будет при этом на клеммах аккумулятора?

30.35. Два аккумулятора с ЭДС \mathcal{E}_1 и \mathcal{E}_2 и внутренними сопротивлениями r_1 и r_2 соединены параллельно. Определите ЭДС батареи (напряжение на клеммах аккумуляторов). Как будет изменяться со временем ЭДС батареи аккумуляторов?

30.36. Найдите связь между кулоном и применяемой на практике (для аккумуляторов и гальванических элементов) единицей заряда «ампер-час».

30.37. Емкость одного аккумулятора $Q = 50 \text{ А} \cdot \text{ч}$. Определите емкость четырех таких аккумуляторов, включенных: 1) последовательно; 2) параллельно.

30.38. Два аккумулятора емкостью $Q_1 = 60 \text{ А} \cdot \text{ч}$ и $Q_2 = 65 \text{ А} \cdot \text{ч}$ соединены последовательно. Определите емкость такой батареи.

§ 31. Работа и мощность тока

31.1. Напишите известные вам выражения для работы тока на однородном участке цепи.

31.2. Два резистора сопротивлениями R и $2R$ включены в цепь: 1) последовательно; 2) параллельно. На каком резисторе и во сколько раз выделится большее количество теплоты за одинаковое время?

31.3. Постройте графики зависимостей мощности, выделяемой на сопротивлении: от напряжения при постоянном сопротивлении, от сопротивления при постоянном напряжении. Как надо изменять сопротивление, чтобы зависимость мощности от напряжения была линейной?

31.4. Определите, какую работу произвел электрический ток, если через сечение проводника прошел заряд $q = 1,5$ Кл и падение напряжения на проводнике $U = 2,0$ В.

31.5. За время $t = 10$ с через проводник, падение напряжения на котором $U = 12$ В, прошел заряд $q = 24$ Кл. Определите: 1) работу, совершенную током; 2) мощность тока; 3) сопротивление проводника.

31.6. На одной лампочке написано $U_1 = 127$ В, $P_1 = 60$ Вт, на второй — $U_2 = 220$ В, $P_2 = 60$ Вт. Какая мощность будет выделяться в каждой из лампочек, если первую вставить в сеть с напряжением 220 В, а вторую — с напряжением 127 В?

31.7. Две лампочки сопротивлениями $R_1 = 180$ Ом и $R_2 = 360$ Ом подключили параллельно к сети с напряжением $U = 120$ В. Какая мощность выделяется в каждой из них? Какая будет выделяться мощность, если их подключить последовательно?

31.8. Перегоревшую спираль электрического утюга мощностью $P = 300$ Вт укоротили на четверть. Какой стала при этом его мощность?

31.9. Прибор имеет три нагревательные спирали по $R = 120$ Ом каждая. Какие мощности можно получить, используя различные соединения спиралей? Напряжение в сети $U = 120$ В.

31.10. Какое дополнительное сопротивление надо поставить к лампе мощностью $P = 300$ Вт, рассчитанной на напряжение $U = 110$ В, чтобы при напряжении в сети $U_1 = 127$ В лампа работала в нормальном режиме?

31.11. Какое напряжение надо поддерживать в сети и какая мощность должна потребляться, чтобы питать током $n = 30$ ламп мощностью $P = 60$ Вт каждая, соединенных параллельно, при напряжении $U = 20$ В, если сопротивление проводов, подводящих ток к лампам, $r = 4,0$ Ом? Каков КПД электросети?

31.12. Электроплитка мощностью $P = 1,0$ кВт, рассчитанная на напряжение $U = 120$ В, подключена в сеть с напряжением $U_1 = 127$ В. Сопротивление подводящих проводов $r = 4,0$ Ом. Какая мощность выделяется плиткой? Параллельно к плитке подключили вторую такую же. Какая мощность стала выделяться двумя плитками?

31.13. В сеть с напряжением $U = 220$ В с помощью проводов сопротивлением $r = 5,0$ Ом подключен реостат. При какой силе тока на нем выделяется такая же мощность, как и при силе тока $I_1 = 2,0$ А? Какая часть расходуемой энергии выделяется в реостате в том и другом случаях?

31.14. Источник тока с ЭДС \mathcal{E} и внутренним сопротивлением r замкнут на реостат. Постройте графики зависимостей от силы тока в цепи: 1) мощности, выделяемой источником; 2) мощности, выделяемой во внешней цепи; 3) КПД источника тока. При какой силе тока мощность, выделяемая во внешней цепи, будет наибольшей?

31.15. К аккумуляторной батарее с внутренним сопротивлением r подключен резистор сопротивлением R . Со временем батарея садится — уменьшается ее ЭДС. Постройте графики зависимостей от ЭДС источника тока: 1) мощности, выделяемой источником; 2) мощности, выделяемой во внешней цепи; 3) КПД источника.

31.16. Источник тока с ЭДС \mathcal{E} и внутренним сопротивлением r замкнут на реостат. Постройте графики зависимостей от внешнего сопротивления: 1) силы тока; 2) напряжения; 3) мощности, выделяемой во внешней цепи; 4) мощности, выделяемой источником; 5) мощности, выделяющейся внутри источника; 6) КПД источника. При каком внешнем сопротивлении во внешней цепи выделяется максимальная мощность?

31.17. Мощность, выделяемая на резисторе, подключенном к источнику тока с ЭДС $\mathcal{E} = 3,0$ В и внутренним сопротивлением $r = 1,0$ Ом, равна $P = 2,0$ Вт. Определите силу тока в цепи.

31.18. ЭДС источника тока $\mathcal{E} = 2,0$ В, внутреннее сопротивление $r = 1,0$ Ом. Определите сопротивление внешней цепи, если в ней выделяется мощность $P = 0,75$ Вт.

31.19. Определите, какое количество энергии запасено в аккумуляторе емкостью $Q = 50$ А · ч, имеющем ЭДС $\mathcal{E} = 12$ В.

31.20. Источник тока замкнут на реостат. При силе тока $I_1 = 0,20$ А и $I_2 = 2,4$ А на реостате выделяется одинаковая мощность. При какой силе тока на реостате выделяется максимальная мощность? Чему равна сила тока короткого замыкания?

31.21. Определите силу тока короткого замыкания батареи, если при силе тока $I_1 = 2,0$ А во внешней цепи выделяется мощность $P_1 = 24$ Вт, а при силе тока $I_2 = 5,0$ А — мощность $P_2 = 30$ Вт.

31.22. По условию предыдущей задачи определите максимальную мощность, которая может выделяться во внешней цепи.

31.23. Максимальная мощность во внешней цепи равна $P_{\max} = 12$ Вт при силе тока $I = 2,0$ А. Определите ЭДС и внутреннее сопротивление источника тока.

31.24. При подключении к источнику тока с ЭДС $\mathcal{E} = 15$ В сопротивления $R = 15$ Ом КПД источника $\eta = 75$ %. Определите, какую максимальную мощность во внешней цепи может выделять данный источник.

31.25. При изменении внешнего сопротивления с $R_1 = 6,0$ Ом до $R_2 = 21$ Ом КПД схемы увеличился в $n = 2,0$ раза. Чему равно внутреннее сопротивление источника тока?

31.26. При каком сопротивлении мощность, выделяемая во внешней цепи, такая же, как и при сопротивлении $R_1 = 10$ Ом. Чему равен КПД в каждом случае? Внутреннее сопротивление источника тока $r = 2,5$ Ом.

31.27. Когда во внешней цепи выделяется мощность $P_1 = 18$ Вт, КПД источника тока $\eta_1 = 64$ %. При изменении внешнего сопротивления КПД источника стал $\eta_2 = 36$ %. Определите, какая мощность выделяется при этом внутри источника тока.

31.28. При замыкании аккумулятора сначала на резистор сопротивлением R_1 , а затем на R_2 мощность, выделяемая на них, в обоих случаях оказалась одинаковой. Определите внутреннее сопротивление аккумулятора.

31.29. Два сопротивления по $R = 10$ Ом подключаются к источнику тока с ЭДС $\mathcal{E} = 3,0$ В сначала последовательно, а затем параллельно. В обоих случаях тепловая мощность, выделяемая каждым сопротивлением, оказалась одинаковой. Чему равна сила тока в каждом случае?

31.30. Батарея состоит из $n = 3$ последовательно соединенных источников тока с ЭДС $\mathcal{E} = 2,0$ В и внутренним сопротивлением $r = 3,0$ Ом каждый. Чему равна максимальная мощность, выделяемая во внешней цепи такой батареи? Какую максимальную мощность во внешней цепи можно получить, соединив элементы параллельно?

31.31. N одинаковых элементов с ЭДС \mathcal{E} и внутренним сопротивлением r каждый соединены последовательно и замкнуты коротко. Определите, какое количество теплоты выделяется в единицу времени.

31.32. При подзарядке аккумулятора с внутренним сопротивлением r от зарядного устройства с напряжением U ЭДС аккумулятора повышается. Постройте графики зависимостей от ЭДС аккумулятора: 1) мощности, потребляемой от зарядного устройства; 2) мощности, расходуемой на подзарядку аккумулятора; 3) мощности, расходуемой на тепло; 4) КПД зарядного устройства. При каком значении ЭДС мощность, расходуемая на подзарядку, максимальна?

31.33. Аккумулятор с ЭДС $\mathcal{E} = 8,0$ В и внутренним сопротивлением $r = 10$ Ом заряжается от подзарядного устройства напряжением $U = 12$ В. Какая мощность расходуется внутри на выделение теплоты? Какую мощность аккумулятор потребляет от сети?

31.34. Аккумулятор с ЭДС $\mathcal{E} = 12$ В и внутренним сопротивлением $r = 15$ Ом заряжается от подзарядного устройства напряжением $U = 15$ В. Определите, какая часть потребляемой мощности идет на его подзарядку и чему она равна.

31.35. Определите ЭДС аккумулятора, подзаряжаемого от сети с напряжением $U = 12$ В, если половина потребляемой энергии расходуется на теплоту.

31.36. Два аккумулятора с ЭДС, равными $\mathcal{E}_1 = 8,0$ В и $\mathcal{E}_2 = 3,0$ В, соединили параллельно. При этом получилось, что один аккумулятор подзаряжает другой и мощность, расходуемая на подзарядку, $P = 1,5$ Вт. Определите, какой силы ток течет через аккумуляторы.

31.37. Электродвигатель подключен к сети с напряжением U . Сопротивление обмотки якоря двигателя r . Постройте графики зависимостей от силы тока, текущего через двигатель: 1) мощности, получаемой двигателем; 2) механической мощности; 3) мощности, расходуемой на теплоту; 4) КПД двигателя. При какой силе тока двигатель развивает максимальную механическую мощность?

31.38. В сеть постоянного тока с напряжением $U = 110$ В включен электродвигатель, сопротивление обмотки $R = 2,0$ Ом. Двигатель потребляет ток силой $I = 8,0$ А. Определите: 1) мощность, потребляемую двигателем; 2) механическую мощность; 3) КПД двигателя.

31.39. Через электродвигатель, подключенный к сети с напряжением $U = 12$ В, течет ток силой $I = 6,0$ А. Определите мощность на валу двигателя, если при полном затормаживании якоря по цепи течет ток силой $I_0 = 30$ А.

31.40. Двигатель, подключенный к сети с напряжением $U = 220$ В, развивает мощность $P = 3,0$ кВт, сопротивление обмотки $R = 4,0$ Ом. Определите силу тока, потребляемую двигателем.

31.41. При силе тока $I_1 = 10$ А электродвигатель развивает мощность $P_1 = 0,50$ кВт, при $I_2 = 20$ А — мощность $P_2 = 0,80$ кВт. Опреде-

лите КПД двигателя при данных значениях тока. Какой силы ток течет через обмотку якоря, если электродвигатель заклинит?

31.42. Определите, через какое время закипит $m = 200$ г воды, если кипятильник потребляет ток силой $I = 0,50$ А при напряжении в сети $U = 220$ В. Начальная температура воды $t_0 = 20$ °С.

31.43. К концам свинцовой проволоки длиной $l = 1,0$ м приложено напряжение $U = 10$ В. Определите, сколько времени пройдет с начала пропускания тока до момента, когда свинец начнет плавиться. Начальная температура свинца $t_0 = 20$ °С. Потерей теплоты в окружающее пространство пренебречь.

31.44. Определите, на сколько нагреется медный стержень за время $\tau = 50$ с, если по нему течет ток плотностью $j = 4,0$ А/мм². Потерей теплоты в окружающее пространство пренебречь.

31.45. Определите мощность нагревателя, если на нем можно вскипятить за время $\tau = 10$ мин воду объемом $V = 2,0$ л. Начальная температура воды $t_0 = 20$ °С. КПД нагревателя $\eta = 75$ %.

31.46. С помощью нагревательной спирали сопротивлением $R = 2,0$ Ом, подключенной к аккумулятору с ЭДС $\mathcal{E} = 36$ В, нагревают воду массой $m = 500$ г. За время $\tau = 10$ мин вода нагрелась на $\Delta t = 29$ °С. Определите внутреннее сопротивление аккумулятора.

31.47. Электрический чайник имеет две нагревательные спирали. При включении одной из них вода в чайнике закипает через $\tau_1 = 8,0$ мин, при включении другой — через $\tau_2 = 24$ мин. Определите, через какое время будет закипать в чайнике вода, если спирали соединить: 1) последовательно; 2) параллельно.

31.48. Определите, какое количество нефти сжигается на электростанции, чтобы по телевизору мощностью $P = 250$ Вт посмотреть 1,5-часовой фильм. Считать КПД электростанции $\eta = 35$ %.

31.49. Трамвай массой $m = 22,5$ т движется со скоростью $v = 36$ км/ч по горизонтальному пути. Коэффициент трения $\mu = 0,010$, напряжение в линии $U = 500$ В, КПД двигателя и передачи $\eta = 75$ %. Определите силу тока, проходящего через двигатель. Определите, с какой скоростью будет двигаться трамвай вверх по горе с уклоном $\gamma = 0,030$ (3 м на каждые 100 м пути), расходуя ту же мощность.

31.50. Электровоз массой $m = 300$ т движется вниз по горе со скоростью $v = 72$ км/ч. Уклон горы $\gamma = 0,010$ (1 м на каждые 100 м пути). Коэффициент сопротивления движению $\mu = 0,020$, напряжение в линии $U = 3,0$ кВ, КПД электровоза $\eta = 80$ %. Определите силу тока, проходящего через двигатель электровоза.

31.51. Электродвигатель подъемного крана работает под напряжением $U = 380$ В и потребляет ток силой $I = 20$ А. Определите сопротивление обмотки двигателя, если груз массой $m = 1,0$ т кран поднимает на высоту $h = 19$ м за время $\tau = 50$ с.

§ 32. Электрический ток в различных средах

32.1. К концам медного провода диаметром d и длиной l приложено напряжение U . Как изменится скорость упорядоченного движения электронов в проводнике, если удвоить: 1) U ; 2) l ; 3) d ?

32.2. Как удельное сопротивление металлов изменяется с понижением температуры?

32.3. По проводнику течет ток силой $I = 10$ А. Найдите массу электронов, проходящих через его поперечное сечение за время $t = 1,0$ ч.

32.4. Электрическая цепь состоит из двух последовательно соединенных кусков медного провода с площадью сечений $S_1 = 2,0$ мм² и $S_2 = 3,0$ мм². Сравните скорости упорядоченного движения электронов в проводах.

32.5. Определите среднюю скорость упорядоченного движения электронов в медном проводнике при силе тока $I = 10$ А и площади сечения $S = 1,5$ мм². Принять, что на каждый атом меди приходится два электрона проводимости.

32.6. По вольфрамовой проволоке диаметром $d = 0,50$ мм протекает ток силой $I = 60$ мА. Определите напряженность электрического поля в проводнике.

32.7. Два электрода опустили в сосуд со слабым раствором поваренной соли и подвели к ним постоянное напряжение. Как будет меняться сила тока, проходящего через раствор, если в сосуд постепенно подсыпать соль?

32.8. Как изменится сила тока, проходящего через насыщенный раствор соли, если увеличится температура?

32.9. Как изменится количество вещества, выделяемого на электродах при электролизе, если: 1) увеличить напряжение; 2) сблизить электроды; 3) увеличить площадь погруженной части электродов; 4) увеличить температуру?

32.10. Определите химические и электрохимические эквиваленты веществ: водорода, натрия, кислорода, двухвалентной меди. Каков физический смысл постоянной Фарадея?

32.11. На что затрачивается больше электричества: на выделение моля никеля из раствора NiSO_4 или на выделение моля железа из раствора FeCl_2 ?

32.12. Медь выделяется из раствора CuSO_4 при напряжении $U = 8,0$ В. Найдите расход энергии на выделение $m = 1,0$ кг меди, если КПД установки $\eta = 80$ %.

32.13. Определите, сколько времени потребуется для покрытия изделия слоем золота толщиной $h = 5$ мкм, если плотность тока в растворе хлорида золота AgCl_3 равна $j = 20$ А/м².

32.14. Определите, какой толщины слой серебра образовался на изделии за время $t = 3$ мин, если плотность тока в растворе нитрата серебра AgNO_3 равна $j = 2,6$ кА/м².

32.15. Определите, сколько оксида алюминия Al_2O_3 разлагает ток силой $I = 3,0$ А в течение времени $t = 1,0$ ч.

32.16. Определите, какой силы ток должен проходить через электролит, чтобы хлорид меди CuCl_2 массой $m = 100$ г разложить за время $t = 10$ ч.

32.17. При электролизе сульфата цинка ZnSO_4 в течение времени $t = 4,0$ ч выделилось $m = 24$ г цинка. Определите сопротивление электролита, если на электроды подано напряжение $U = 10$ В.

32.18. При электролизе воды течет ток силой $I = 59$ А. Какой объем гремучего газа (при нормальных условиях) получился за время $t = 1$ мин?

32.19. Определите, сколько электроэнергии надо затратить, чтобы при нормальных условиях заполнить водородом воздушный шар с подъемной силой $F = 3,0$ кН. Напряжение на зажимах электролитической ванны $U = 2,2$ В.

32.20. Пары ртути в ртутной лампе ионизируются рентгеновскими лучами. При увеличении напряжения между электродами лампы достигается сила тока насыщения $I = 0,80$ нА. Какое количество пар ионов создают рентгеновские лучи за время $t = 1,0$ с?

32.21. Можно ли увеличить ток насыщения в газоразрядной трубке (не выходя на участок самостоятельного разряда)?

32.22. При какой напряженности поля начнется самостоятельный разряд в газоразрядной трубке, заполненной неонам, если энергия ионизации атома неона $W = 21,5$ эВ, а средняя длина свободного пробега электронов $\lambda = 0,40$ мкм? Какова наименьшая скорость электронов при столкновении с атомом?

32.23. Концентрация ионизированных молекул в воздухе при нормальных условиях $n_0 = 2,7 \cdot 10^{22}$ м⁻³. Сколько процентов молекул ионизовано?

32.24. Электрический пробой воздуха наступает при напряженности поля $E = 3,0$ МВ/м. Определите потенциал ионизации воздуха и скорость электронов перед ударом о молекулы, если длина их свободного пробега $\lambda = 5,0$ мкм.

32.25. На каком расстоянии от Земли должно находиться грозовое облако, обладающее потенциалом $\varphi = 0,90$ ГВ, чтобы ударила молния? Воздух становится проводящим при напряженности электрического поля $E = 30$ кВ/см.

32.26. До какого потенциала можно зарядить уединенный металлический шарик радиусом $r = 5,0$ мм? Какой заряд он при этом будет нести? Напряженность поля, при которой наступает пробой воздуха, $E = 3,0$ МВ/м.

32.27. Почему искровой разряд происходит при высоких, а дуговой — при достаточно малых напряжениях?

32.28. Какую минимальную скорость должен иметь электрон, чтобы вылететь из вольфрама?

32.29. Определите скорость электрона, попадающего на анод диода, если напряжение между анодом и катодом $U = 200$ В. Температура катода $T = 3\ 000$ К.

32.30. В электровакуумном диоде сила тока насыщения $I_{\text{нас}} = 40$ мА. Определите число электронов, вылетающих с катода за время $t = 1,0$ с.

32.31. Почему в мощных электронных лампах анод делают охлаждаемым и перед включением накала катода включают анодное напряжение?

32.32. Мощность тока в электронно-лучевой трубке $P = 0,50$ Вт. Энергия электронов в луче $W = 8,0 \cdot 10^{-16}$ Дж. Определите силу анодного тока.

32.33. Как изменяется с температурой удельная электропроводность полупроводников?

32.34. В германии n -типа средняя скорость упорядоченного движения электронов при напряженности поля $E = 10$ мВ/м составляет $v = 4,5 \cdot 10^{-3}$ м/с. Для концентрации электронов $n = 1,0 \cdot 10^{16}$ см $^{-3}$ вычислить: 1) плотность тока; 2) удельное сопротивление; 3) удельную электропроводность.

32.35. Какие из примесей — фосфор, алюминий, мышьяк, бор, галлий, индий, сурьму — нужно ввести в кремний, чтобы получить: 1) электронную проводимость; 2) дырочную проводимость?

Дополнительные задачи

IX.1. Десять точек соединили друг с другом проводниками сопротивлением $R = 40$ Ом каждый. К двум точкам подключили источник с ЭДС $\mathcal{E} = 10$ В и внутренним сопротивлением $r = 2,0$ Ом. Определите силу тока в каждом из проводников.

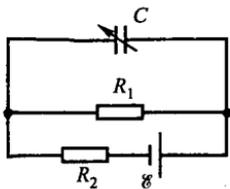


Рис. 225

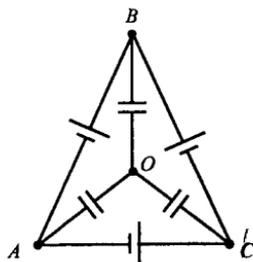


Рис. 226

IX.2. Цепь составлена из резисторов сопротивлениями $R_1 = 0,25$ МОм, $R_2 = 50$ кОм, конденсатора переменной емкости, у которого емкость изменяется по закону $C = C_0 + \alpha t$, где $\alpha = 1,0$ мкФ/с, и источника тока с ЭДС $\mathcal{E} = 15$ В (рис. 225). Определите силу тока, текущего через сопротивление R_1 . Внутренним сопротивлением источника пренебречь.

IX.3. Три одинаковых источника тока с ЭДС $\mathcal{E} = 1,5$ В и три одинаковых конденсатора емкостью $C = 2,0$ мкФ соединены, как показано на рис. 226. Определите заряд каждого из конденсаторов. Если точки A и O замкнуть накоротко, то какой заряд пройдет по проводнику, соединяющему эти точки?

IX.4. Источник тока с ЭДС $\mathcal{E} = 100$ В с внутренним сопротивлением $R_0 = 10$ Ом подключен к электрическому чайнику. Определите, с какой скоростью вырывается из носика чайника пар, когда вода кипит, если мощность, выделяемая в чайнике, максимальна. Площадь носика $S = 4,0$ см².

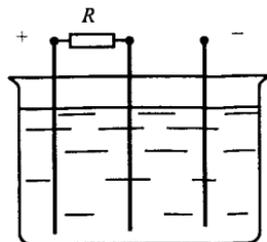
IX.5. В сеть с напряжением $U = 24$ В включен электродвигатель. Нагруженный двигатель потребляет мощность, в $k = 10$ раз большую, чем при работе вхолостую. Разность потенциалов на клеммах мотора при нагрузке падает на $n = 20\%$ по сравнению с разностью потенциалов при холостом ходе. Определите мощность тепловых потерь в подводящих проводах при холостом ходе, если сила нагрузочного тока $I = 5,0$ А.

IX.6. Электродвигатель подъемного крана работает под напряжением $U = 380$ В и потребляет ток силой $I_1 = 10$ А, когда кран поднимает груз массой $M = 1,4$ т со скоростью $v_1 = 20$ см/с. Определите, с какой скоростью поднимается груз, когда через мотор течет ток силой $I_2 = 15$ А. КПД механических передач крана $\eta = 90\%$.

IX.7. Через раствор CuSO_4 в течение времени $t = 1,0$ мин пропускают ток, изменяющийся по закону $I = \alpha t$, где $\alpha = 4,0$ А/с. Сколько

меди выделится при этом на катоде? Постройте график зависимости массы выделившейся меди от времени пропускания тока.

IX.8. В раствор AgCl поместили два одинаковых широких электрода и приложили к ним постоянное напряжение $U = 100 \text{ В}$ (рис. 227). При этом на отрицательном электроде стало выделяться $m = 1,0 \text{ мг}$ серебра в секунду. Посередине между ними поместили третий такой же электрод и через резистор сопротивлением $R = 50 \text{ Ом}$ соединили его с положительным электродом. Что и в каком количестве будет выделяться на среднем электроде?



Р и с. 227

Глава X

ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМ. ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ

§ 33. Взаимодействие магнитного поля с током

33.1. Как будут вести себя два прямолинейных длинных проводника, расположенных: 1) параллельно друг другу с токами, текущими в одном направлении; 2) параллельно друг другу с токами, текущими в противоположных направлениях; 3) перпендикулярно друг другу и лежащих в одной плоскости?

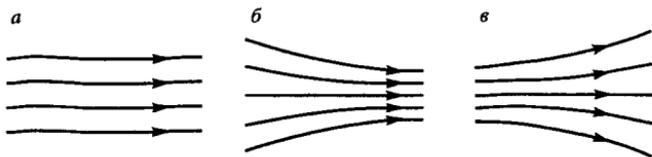
33.2. Почему два параллельных проводника, по которым текут токи в одном направлении, притягиваются, а два параллельных электронных пучка отталкиваются?

33.3. Проволоку протаскивают между двумя зажимами, к которым подключен источник ЭДС, со скоростью, равной скорости дрейфа электронов и направленной в противоположную сторону. Будет ли этот проводник с током создавать вокруг себя магнитное поле?

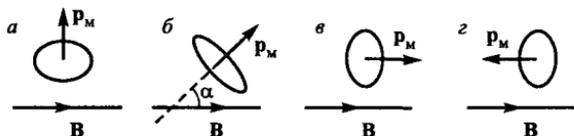
33.4. В каком случае посередине между двумя параллельными проводами магнитное поле больше, если токи текут: 1) в одном направлении; 2) в противоположных направлениях?

33.5. Как будет вести себя рамка с током, помещенная в магнитное поле, показанное на рис. 228?

33.6. Рамка с током, имеющая магнитный момент p_m , ориентирована по отношению к внешнему однородному магнитному полю с индукцией B , как показано на рис. 229. Найдите момент сил, действующих на рамку с током. Какое положение рамки является положением устойчивого равновесия?



Р и с. 228



Р и с. 229

33.7. Определите индукцию магнитного поля, если максимальный вращающий момент сил, действующий на рамку площадью $S = 1,0 \text{ см}^2$, равен $M = 5 \cdot 10^{-4} \text{ Н} \cdot \text{м}$ при силе тока $I = 1,0 \text{ А}$. На рамке намотано $N = 100$ витков провода.

33.8. К двум диагонально противоположным точкам квадрата, сделанного из одинаковых кусков проволоки, подключен источник ЭДС. Определите индукцию магнитного поля в центре квадрата.

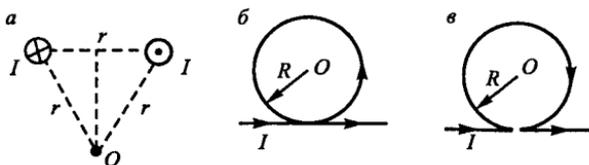
33.9. Для проводников, изображенных на рис. 230, найдите магнитную индукцию в точке O . Геометрические размеры и направление тока указаны на рисунке.

33.10. Два прямолинейных длинных проводника расположены на расстоянии $r = 10 \text{ см}$ друг от друга. По ним текут одинаковые токи $I = 2,9 \text{ А}$ в одном направлении. Найдите индукцию магнитного поля в точке, находящейся на расстоянии r от каждого проводника.

33.11. Длинный провод образует круговой виток радиусом $R = 10 \text{ см}$. Определите ток, текущий по проводнику, если индукция магнитного поля в центре витка $B = 34 \text{ мТл}$.

33.12. Силовые линии магнитного поля — замкнутые кривые. Как можно создать «однородное» магнитное поле?

33.13. Внутри длинного соленоида необходимо создать магнитное поле с индукцией $B = 21 \text{ мТл}$. Провод диаметром $d = 1,2 \text{ мм}$ мо-



Р и с. 230

жет выдержать силу тока $I = 4,5$ А. Из какого минимального числа слоев должна состоять обмотка соленоида?

33.14. Проводник с током помещен в однородное магнитное поле с индукцией $B = 20$ мТл. Определите силу, действующую на него, если его длина $l = 0,10$ м, сила тока $I = 3,0$ А, а угол между направлением тока и вектором индукции $\alpha = 45^\circ$.

33.15. Два бесконечных провода, расположенных на расстоянии $r = 10$ см друг от друга, взаимодействуют между собой с силой $F/l = 2 \cdot 10^{-5}$ Н/м. Определите силу тока в проводах, если известно, что сила тока в одном из них в $n = 2$ раза больше, чем в другом.

33.16. В горизонтальном однородном магнитном поле с индукцией $B = 10$ мТл подвешен на двух легких нитях горизонтальный проводник длиной $l = 10$ см, перпендикулярный магнитному полю. Как изменится сила натяжения каждой из нитей, если по нему пропустить ток силой $I = 10$ А?

33.17. По горизонтальному проводнику длиной $l = 20$ см и массой $m = 2,0$ г течет ток силой $I = 5,0$ А. Определите индукцию магнитного поля, в которое нужно его поместить, чтобы он висел не падая.

33.18. На горизонтальных рельсах, расстояние между которыми $l = 60$ см, лежит перпендикулярно им стержень. Определите силу тока, который надо пропустить по стержню, чтобы он начал двигаться. Рельсы и стержень находятся в вертикальном однородном магнитном поле с индукцией $B = 60$ мТл. Масса стержня $m = 0,5$ кг, коэффициент трения стержня о рельсы $\mu = 0,10$.

33.19. Стержень лежит перпендикулярно рельсам, расстояние между которыми $l = 50$ см. Рельсы составляют с горизонтом угол $\alpha = 30^\circ$. Какой должна быть индукция магнитного поля, перпендикулярного плоскости рельсов, чтобы стержень начал двигаться, если по нему пропускать ток силой $I = 40$ А? Коэффициент трения стержня о рельсы $\mu = 0,60$, масса стержня $m = 1,0$ кг.

33.20. Проводник длиной l и массой m подвешен на тонких проволочках. При прохождении по нему тока силой I он отклонился в однородном вертикальном магнитном поле так, что проволочки образовали угол α с вертикалью. Какова индукция магнитного поля?

33.21. Медный провод диаметром $d = 2,0$ мм изгибают в равносторонний треугольник и подключают к источнику постоянного тока (рис. 231). Плоскость контура расположена перпендикулярно магнитному полю с индукцией $B = 10$ мТл. Опреде-

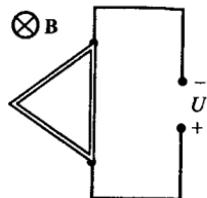


Рис. 231

лите значение и направление силы, действующей на контур со стороны поля, если известно, что $U = 5,1$ В.

33.22. Проводник длиной $l = 30$ см с током силой $I = 20$ А расположен под углом $\alpha = 30^\circ$ к однородному магнитному полю с индукцией $B = 0,40$ Тл. Найдите работу, которая была совершена при перемещении его на расстояние $x = 25$ см перпендикулярно магнитному полю.

33.23. Рамка площадью $S = 16$ см² может вращаться вокруг оси, проходящей через середины противоположных сторон. На рамке намотано $N = 100$ витков провода, по которому течет ток $I = 1,5$ А. Ее помещают в однородное магнитное поле с индукцией $B = 25$ мТл, располагают перпендикулярно линиям магнитной индукции и удерживают в положении неустойчивого равновесия. Какую работу совершат силы магнитного поля, если рамку отпустить и она перейдет в положение устойчивого равновесия?

33.24. Зная мощность двигателя и частоту вращения якоря, оцените механический момент сил на валу двигателя. Оценку провести для двигателя постоянного тока мощностью $P = 0,37$ кВт с частотой вращения $n = 750$ об/мин.

33.25. Движущийся электрический заряд можно рассматривать как электрический ток. Определите магнитный момент кругового тока, образованного электроном, влетевшим под прямым углом со скоростью v в однородное магнитное поле с индукцией B .

33.26. Может ли заряженная частица двигаться: а) равномерно прямолинейно, б) равноускоренно прямолинейно, в) по окружности в однородном: 1) электрическом поле; 2) магнитном поле?

33.27. По какой траектории движется в общем случае заряженная частица в: 1) однородном электрическом поле; 2) однородном магнитном поле? Докажите, что сила, действующая на заряженную частицу в магнитном поле, не совершает работы.

33.28. Определите частоту обращения электрона по окружности в однородном магнитном поле с индукцией $B = 4,0$ мТл.

33.29. Электрон, ускоренный разностью потенциалов $\Delta\varphi = 800$ В, влетает в поперечное однородное магнитное поле. Определите изменение импульса электрона при отклонении его от первоначального направления движения на угол $\varphi = \pi/2$.

33.30. Протон, ускоренный разностью потенциалов $\Delta\varphi = 1,0$ кВ, влетает в однородное магнитное поле с индукцией $B = 0,20$ Тл перпендикулярно линиям индукции. Определите путь, пройденный частицей за время, равное половине периода.

33.31. Протон и α -частица влетают в однородное магнитное поле перпендикулярно линиям индукции. Во сколько раз отличаются радиусы окружностей, которые описывают частицы и их угловые скорости, если у частиц одинаковы: 1) скорости; 2) энергии?

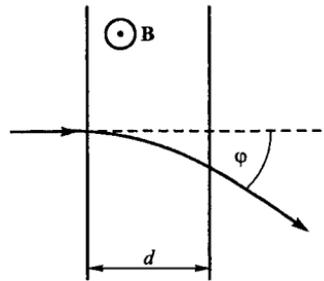


Рис. 232

33.32. α -Частица, ускоренная разностью потенциалов $\Delta\varphi = 250$ кВ, пролетает поперечное однородное магнитное поле с индукцией $B = 0,51$ Тл. Толщина области с полем $d = 10$ см (рис. 232). Определите угол φ отклонения α -частицы от первоначального направления движения.

33.33. Протон ускоряется в циклотроне до энергии $W = 5,0$ МэВ. Определите наибольший радиус орбиты, по которой он движется в циклотроне, если частота ускоряющего электрического поля $\nu = 1,8 \cdot 10^7$ Гц.

33.34. Электрон влетает в однородное магнитное поле со скоростью $v = 10$ км/с под углом $\alpha = 30^\circ$ к линиям магнитной индукции. Индукция магнитного поля $B = 0,10$ мТл. Расстояние от начального положения электрона до экрана $l = 40$ см. Определите, сколько оборотов он сделает, прежде чем попадет на экран.

33.35. Частица, имеющая заряд $q = 3,2 \cdot 10^{-19}$ Кл, влетает в однородное магнитное поле под углом $\alpha = 60^\circ$ к линиям индукции и движется по винтовой линии с шагом $h = 10$ см. Определите ее импульс, если индукция поля $B = 1,2$ мТл.

33.36. Спираль, по которой движется электрон в однородном магнитном поле, имеет диаметр $d = 80$ мм и шаг $h = 20$ см. Определите его скорость, если индукция поля $B = 0,51$ мТл.

33.37. Электрон, пройдя ускоряющую разность потенциалов $\Delta\varphi_0 = 1,8$ кВ, влетает в середину между пластинами плоского горизонтального конденсатора параллельно им. К пластинам конденсатора приложена разность потенциалов $\Delta\varphi = 10$ кВ. Отклонившись от своего первоначального направления на максимальный угол, электрон вылетает из конденсатора и попадает в вертикальное магнитное поле с индукцией $B = 4,8$ мТл. Определите радиус и шаг винтовой траектории.

33.38. Заряженная частица влетает под углом α к направленным параллельно электрическому и магнитному полям. Как она будет двигаться?

33.39. Электрон влетает со скоростью $v = 1,0$ км/с перпендикулярно в одинаково направленные электрическое и магнитное поля. Напряженность электрического поля $E = 25$ В/м, индукция магнитного — $B = 50$ мТл. Определите величину и направление ускорения электрона в начальный момент.

33.40. Отрицательная частица влетает со скоростью $v_0 = 4,5 \cdot 10^7$ м/с под углом $\alpha = 60^\circ$ к параллельно направленным электрическому и магнитному полям. Напряженность электрического поля $E = 39$ В/см, индукция магнитного — $B = 5,2$ мТл. Определите число оборотов, совершенных частицей при движении ее в направлении полей. Во сколько раз шаг первого витка ее траектории больше последнего?

33.41. Однородные магнитное и электрическое поля расположены взаимно перпендикулярно. Напряженность электрического поля $E = 0,50$ кВ/м, а индукция магнитного — $B = 1,0$ мТл. Определите, с какой скоростью и в каком направлении должен лететь электрон, чтобы двигаться прямолинейно.

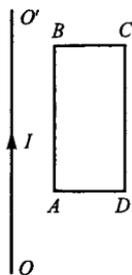
§ 34. Электромагнитная индукция. Самоиндукция

34.1. Определите поток вектора магнитной индукции, пронизывающий плоскую поверхность площадью $S = 100$ см² при индукции $B = 0,20$ Тл, если поверхность: 1) перпендикулярна вектору магнитной индукции; 2) параллельна; 3) расположена под углом $\alpha_1 = 45^\circ$ к вектору магнитной индукции; 4) расположена под углом $\alpha_2 = 30^\circ$ к вектору магнитной индукции.

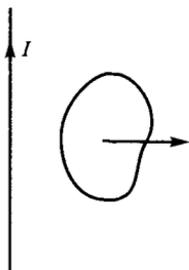
34.2. Электрон движется со скоростью $v = 2,0 \cdot 10^7$ м/с по круговой орбите в однородном магнитном поле с индукцией $B = 20$ мТл. Определите магнитный поток, пересекающий плоскость орбиты.

34.3. Около проводника с током находится прямоугольная рамка $ABCD$ (рис. 233), лежащая в одной плоскости с проводником ($OO' \parallel AB$). Поток вектора магнитной индукции, пронизывающий рамку и созданный магнитным полем проводника, равен Φ . Определите изменение магнитного потока, если: 1) отключить ток в проводнике; 2) изменить направление тока на обратное; 3) повернуть рамку вокруг оси, проходящей через проводник OO' ; 4) повернуть рамку вокруг оси, проходящей через середины сторон AD и BC , на 90° ; 5) на 180° .

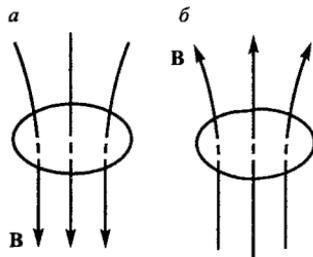
34.4. Замкнутый виток провода находится у проводника с током (рис. 234). Будет ли возникать в витке ток, если: 1) вращать виток вокруг оси, проходящей через проводник; 2) вращать вокруг оси, параллельной проводнику; 3) вращать вокруг оси, перпендикулярной про-



Р и с. 233



Р и с. 234



Р и с. 235

воднику; 4) двигать поступательно параллельно проводнику; 5) двигать поступательно перпендикулярно проводнику?

34.5. Определите направление индукционного тока в проводящем кольце (рис. 235), если индукция магнитного поля: 1) увеличивается; 2) уменьшается.

34.6. Определите направление сил, действующих на проводящее кольцо (рис. 235), если индукция магнитного поля: 1) увеличивается; 2) уменьшается.

34.7. Виток провода площадью S расположен перпендикулярно силовым линиям магнитного поля. Определите закон изменения ЭДС индукции в витке, если индукция магнитного поля изменяется со временем по закону: 1) $B = At^2$; 2) $B = B_0 - Ct$; 3) $B = B_0$; 4) $B = B_0 \cos \omega t$, где B_0 , A , C и ω — размерные константы.

34.8. Виток провода площадью $S = 50 \text{ см}^2$ замкнут на конденсатор емкостью $C = 20 \text{ мкФ}$. Плоскость витка перпендикулярна однородному магнитному полю. Определите скорость изменения магнитного поля, если заряд на конденсаторе равен $q = 1,0 \text{ нКл}$.

34.9. Тонкий медный обруч радиусом $r = 4,0 \text{ см}$ разрезан и в разрез включен конденсатор емкостью $C = 2,0 \text{ мкФ}$. Индукция магнитного поля (Тл), пронизывающего обруч, изменяется по закону $B = 0,2 - 0,05t$ и составляет с плоскостью обруча угол $\alpha = 30^\circ$. Определите заряд конденсатора.

34.10. В однородном магнитном поле, индукция которого $B = 0,15 \text{ Тл}$, перпендикулярно вектору индукции расположен проводящий виток радиусом $r = 10 \text{ см}$, сопротивлением $R = 0,31 \text{ Ом}$. Какой заряд протечет по витку при повороте его на угол $\alpha = \pi/2$? Постройте график зависимости протекшего заряда от угла поворота α .

34.11. Плоский виток провода расположен перпендикулярно однородному магнитному полю. Когда он повернулся на $\alpha_1 = 180^\circ$, по

нему прошел заряд $q_1 = 1,2$ мКл. На какой угол повернулся виток, если по нему прошел заряд $q_2 = 1,8$ мКл?

34.12. Квадратную проволочную рамку со стороной $l = 10$ см помещают в однородное магнитное поле с индукцией $B = 0,15$ Тл так, что ее плоскость параллельна линиям индукции. Рамку поворачивают вокруг оси симметрии на угол $\alpha = 90^\circ$. При этом гальванометр, замкнутый на рамку, показывает индуцированный в ней заряд $q = 14$ мКл. Определите сопротивление проволоки. Внутреннее сопротивление гальванометра $R_g = 100$ Ом.

34.13. Виток медного провода помещен в однородное магнитное поле перпендикулярно линиям магнитной индукции. Диаметр витка $D = 20$ см, диаметр провода $d = 2,0$ мм. С какой скоростью изменяется индукция магнитного поля, если по кольцу течет ток силой $I = 5,0$ А?

34.14. Контур площадью $S = 12$ см² и сопротивлением $R = 0,10$ Ом помещают в однородное магнитное поле с индукцией $B_0 = 300$ мТл перпендикулярно линиям магнитной индукции. В некоторый момент времени индукция стала убывать по закону $B = B_0 - kt$, где $k = 10$ Тл/мин. Определите количество теплоты, выделяющееся в контуре за время исчезновения поля.

34.15. Квадратная проволочная рамка со стороной $l = 10$ см и сопротивлением $R = 0,24$ Ом помещена в однородное магнитное поле с индукцией $B = 12$ мТл перпендикулярно линиям индукции. Какой заряд протекает по проволоке, если рамку трансформировать в круг, лежащий в той же плоскости, что и рамка?

34.16. Проволочный виток диаметром $D = 20$ см помещен в однородное магнитное поле с индукцией $B = 56$ мкТл перпендикулярно линиям индукции. Его вытягивают в сложенную вдвое прямую линию. Определите сопротивление проволоки, если в результате такой трансформации витка по нему протекает заряд $q = 1,2$ мКл.

34.17. Плоскую рамку, изготовленную из медной проволоки с площадью сечения $S = 18$ мм², помещают в однородное магнитное поле перпендикулярно линиям индукции. Рамка представляет собой квадрат со стороной $l = 10$ см. Затем ее трансформируют в прямоугольник с отношением сторон 1:2. При этом по ней протекает заряд $q = 10$ мКл. Определите индукцию магнитного поля.

34.18. Из провода длиной $l = 2,0$ м сделан квадрат, который расположен горизонтально. Какое количество электричества пройдет по проводу, если его потянуть за две диагонально противоположные вершины так, чтобы он сложился? Сопротивление провода $R = 0,10$ Ом, вертикальная составляющая индукции магнитного поля Земли $B_1 = 50$ мкТл.

34.19. Кольцо радиусом $r = 6,0$ см из провода сопротивлением $R = 0,20$ Ом расположено перпендикулярно однородному магнитному полю с индукцией $B = 20$ мТл. Оно складывается так, что получаются два одинаковых кольца в виде восьмерки, лежащей в той же плоскости. После этого магнитное поле выключают. Определите, какое количество электричества протечет по проволоке за время: 1) когда кольцо складывают; 2) когда выключают магнитное поле.

34.20. Магнитный поток через соленоид, содержащий $N = 500$ витков провода, равномерно убывает со скоростью $\Delta\Phi/\Delta t = 60$ мВб/с. Определите ЭДС индукции в соленоиде.

34.21. Соленоид, содержащий $N = 1,0 \cdot 10^3$ витков провода, находится в однородном магнитном поле, индукция которого изменяется со скоростью $\Delta B/\Delta t = 20$ мТл/с. Его ось составляет с вектором индукции магнитного поля угол $\alpha = 60^\circ$, радиус $r = 2,0$ см. Определите ЭДС индукции, возникающей в соленоиде.

34.22. Однослойная катушка площадью $S = 10$ см², содержащая $N = 100$ витков провода, помещена в однородное магнитное поле с индукцией $B = 8,0$ мТл параллельно линиям магнитной индукции. Сопротивление катушки $R = 10$ Ом. Определите, какой заряд пройдет по ней, если отключить магнитное поле.

34.23. Рамка, на которой намотано $N = 100$ витков провода сопротивлением $R = 10$ Ом, равномерно вращается в однородном магнитном поле с индукцией $B = 50$ мТл. Ось вращения лежит в плоскости рамки и перпендикулярна линиям индукции. Площадь рамки $S = 100$ см². Определите, какой заряд протечет через нее при повороте ее от угла α_1 до α_2 : 1) $0 \dots 30^\circ$; 2) $30 \dots 60^\circ$; 3) $60 \dots 90^\circ$; 4) $0 \dots 180^\circ$ (α — угол между вектором индукции и нормалью к рамке).

34.24. Круглую рамку диаметром $D = 60$ мм, содержащую $N = 20$ витков проволоки сопротивлением $R = 1,2$ Ом, поместили в однородное магнитное поле так, что плоскость рамки составляет с направлением магнитного поля угол $\alpha = 30^\circ$. Определите скорость изменения индукции магнитного поля, если по ней течет ток $I = 1,8$ мкА.

34.25. Круглая проволочная рамка, состоящая из нескольких витков площадью $S = 6,0$ см² и общим сопротивлением $R_1 = 10$ Ом, замкнута на гальванометр с сопротивлением $R_2 = 290$ Ом. Рамку помещают в однородное магнитное поле с индукцией $B = 0,10$ Тл так, что линии индукции перпендикулярны ее плоскости. При изменении магнитного поля на обратное по цепи гальванометра протек заряд $q = 2,0$ мкКл. Определите число витков.

34.26. Соленоид, содержащий $N = 1,0 \cdot 10^3$ витков медной проволоки с площадью сечения $S = 0,20$ мм², находится в однородном маг-

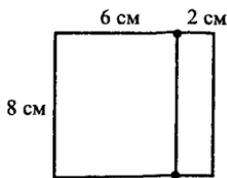


Рис. 236

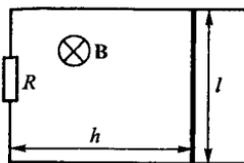


Рис. 237

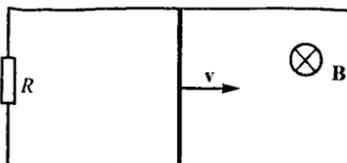


Рис. 238

нитном поле параллельно линиям магнитной индукции, которая равномерно изменяется со скоростью $\Delta B/\Delta t = 10$ мТл/с. Диаметр соленоида $D = 5,0$ см. Определите тепловую мощность, выделяющуюся в соленоиде, концы которого замкнуты между собой.

34.27. Квадрат сделан из четырех проводников длиной $l = 8,0$ см и сопротивлением $R = 4,0$ Ом каждый. На расстоянии $l/4$ от одного из проводников он замкнут перемычкой сопротивлением $r = 1,0$ Ом (рис. 236). Плоскость квадрата перпендикулярна однородному магнитному полю, изменяющемуся со скоростью $\Delta B/\Delta t = 200$ мТл/с. Определите силу тока, текущего по перемычке.

34.28. Проводящая перемычка массой $m = 49$ г лежит на двух горизонтальных проводящих рейках, замкнутых на резистор с сопротивлением $R = 120$ Ом (рис. 237). Система находится в вертикальном магнитном поле, индукция которого изменяется по закону $B = At$, где $A = 7,0$ Тл/с. Определите момент времени, в который перемычка начнет двигаться по рейкам. Коэффициент трения между перемычкой и рейками $\mu = 0,15$. Геометрические размеры: $l = 20$ см; $h = 30$ см.

34.29. Определите ЭДС индукции в проводнике длиной $l = 20$ см, движущемся в однородном магнитном поле с индукцией $B = 10$ мТл со скоростью $v = 1,0$ м/с под углом $\alpha = 30^\circ$ к вектору магнитной индукции.

34.30. Проводящий стержень длиной $l = 1,0$ м равномерно вращается в горизонтальной плоскости с частотой $n = 10$ об/с. Ось вращения проходит через его конец. Вертикальная составляющая магнитного поля Земли равна $B_\perp = 50$ мкТл. Определите разность потенциалов между концами проводника.

34.31. Проводник длиной $l = 20$ см и сопротивлением $r = 1,0$ Ом скользит без трения со скоростью $v = 10$ м/с по двум рейкам в однородном магнитном поле с индукцией $B = 0,25$ Тл, направленном перпендикулярно плоскости, в которой лежат рейки (рис. 238). Они замкнуты на резистор сопротивлением $R = 24$ Ом. Определите силу тока в цепи и его направление. С какой силой тянут проводник?

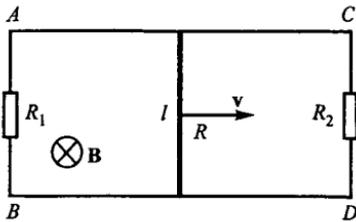


Рис. 239

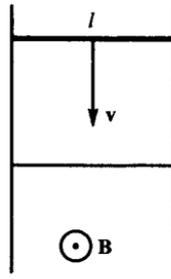


Рис. 240

34.32. Проводник массой m , длиной l лежит на двух горизонтальных рейках, замкнутых на резистор сопротивлением R . Вся система находится в вертикальном магнитном поле с индукцией B (рис. 238). Коэффициент трения между рейками и проводником μ . Какую силу следует приложить к проводнику, чтобы он двигался равномерно со скоростью v ?

34.33. Прямоугольный контур находится в однородном магнитном поле с индукцией B , перпендикулярном его плоскости. Перемычка длиной l имеет сопротивление R , стороны AB и CD — сопротивления R_1 и R_2 (рис. 239). Определите силу тока, который течет по перемычке при ее движении с постоянной скоростью v .

34.34. В однородном горизонтальном магнитном поле с индукцией $B = 60$ мТл находится вертикальная H-образная конструкция из толстых металлических стержней, перпендикулярная магнитному полю (рис. 240). По стержням свободно, без нарушения контакта, скользит проводник длиной $l = 50$ см, массой $m = 1,0$ г и сопротивлением $R = 0,80$ Ом. Определите, с какой скоростью движется проводник, и направление тока в перемычке.

34.35. H-образную конструкцию (см. задачу 34.34) наклонили под углом $\alpha = 30^\circ$ к горизонту так, что угол между вектором магнитного поля и проводником остался прямым. Определите, с какой скоростью движется проводник.

34.36. По двум гладким, замкнутым между собой металлическим шинам, установленным под углом $\alpha = 30^\circ$ к горизонту, скользит медный проводник (рис. 241). Система находится в однородном магнитном поле с индукцией $B = 40$ мТл, перпендикулярном плоскости, в которой перемещается проводник. Какой максимальной скорости он достигнет? Сопротивлением конструкции по сравнению с сопротивлением проводника пренебречь.

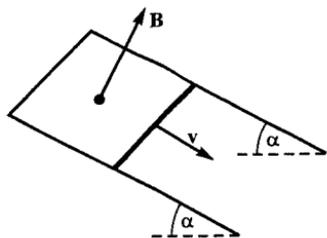


Рис. 241

34.37. Проводник длиной $l = 1,0$ м и сопротивлением $R = 2,0$ Ом лежит на двух горизонтальных шинах, замкнутых на источник тока, ЭДС которого $\mathcal{E} = 1,0$ В. Вся конструкция находится в вертикальном магнитном поле с индукцией $B = 0,10$ Тл (рис. 242). Определите силу тока в проводнике, если он: 1) покоится; 2) движется вправо со скоростью $v = 4,0$ м/с; 3) движется влево с той же скоростью. В каком

направлении и с какой скоростью надо перемещать проводник, чтобы ток через него не шел? Внутренним сопротивлением источника и сопротивлением шин пренебречь.

34.38. Проводник длиной $l = 1,0$ м лежит на двух гладких горизонтальных шинах, расположенных в вертикальном магнитном поле с индукцией $B = 0,10$ Тл. С какой установившейся скоростью и в каком направлении он будет двигаться, если к шинам подключить источник тока с ЭДС $\mathcal{E} = 0,50$ В (рис. 242)?

34.39. В однородное магнитное поле с индукцией $B = 2,0$ Тл помещено горизонтальное металлическое кольцо радиусом $R = 5,0$ см, причем его ось совпадает с направлением поля. По кольцу может свободно двигаться стержень. Определите установившуюся угловую скорость вращения стержня, когда между его центром и кольцом подключили источник тока с ЭДС $\mathcal{E} = 1,0$ В.

34.40. На двух горизонтальных рельсах, расстояние между которыми $l = 1,0$ м, лежит проводник массой $m = 0,50$ кг, сопротивлением $R = 2,0$ Ом. Коэффициент трения между ним и рельсами $\mu = 0,10$. Вся система находится в вертикальном магнитном поле с индукцией $B = 0,10$ Тл (рис. 242). Рельсы подключают к источнику тока с ЭДС $\mathcal{E} = 10$ В. Пренебрегая сопротивлением рельсов, определите: 1) силу тока, проходящего по проводнику в начальный момент; 2) с какой установившейся скоростью будет двигаться проводник; 3) мощность, потребляемую от источника; 4) количество теплоты, выделяющейся в проводнике за секунду; 5) какую механическую мощность развивает такой «двигатель».

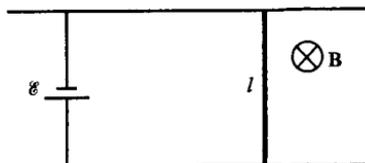
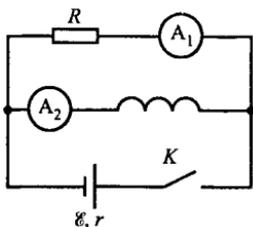
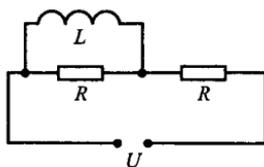


Рис. 242



Р и с. 243



Р и с. 244

34.41. Как изменяется со временем ЭДС самоиндукции в соленоиде с индуктивностью L , если ток в нем изменяется со временем по закону: 1) $I = I_0 + At$; 2) $I = Ct^2$; 3) $I = I_0 \sin \omega t$; 4) $I = I_0$, где I_0 , A , C и ω — размерные константы?

34.42. Геометрические размеры соленоида уменьшили в два раза, сохранив число витков, а силу тока в обмотке увеличили в два раза. Как при этом изменятся его: 1) индуктивность; 2) энергия магнитного поля; 3) средняя плотность энергии магнитного поля?

34.43. Что показывают амперметры в схеме, изображенной на рис. 243, если ключ K замкнут? Катушка сделана из толстой проволоки. Что покажут амперметры в момент размыкания ключа K ?

34.44. Найдите индуктивность проводника, в котором равномерное изменение силы тока на $\Delta I = 2,0$ А в течение $t = 0,50$ с возбуждает ЭДС самоиндукции $\mathcal{E} = 20$ мВ.

34.45. Через длинный соленоид, индуктивность которого $L = 4,0$ мГн и площадь поперечного сечения $S = 10$ см², проходит ток силой $I = 0,50$ А. Какова индукция поля внутри соленоида, если он содержит $N = 1\,000$ витков провода?

34.46. В однородном магнитном поле находится катушка из сверхпроводника. Поток вектора магнитной индукции через нее $\Phi = 0,20$ мВб. После выключения магнитного поля в катушке возник ток силой $I = 20$ А. Чему равна ее индуктивность? Какое количество теплоты выделится в ней, если сверхпроводимость нарушится?

34.47. В катушке индуктивностью $L = 0,20$ Гн сила тока $I = 10$ А. Какова энергия магнитного поля? Как изменится энергия поля, если сила тока увеличится вдвое?

34.48. Определите энергию магнитного поля соленоида, в котором при силе тока $I = 5,0$ А возникает магнитный поток $\Phi = 0,50$ Вб.

34.49. Электрическая цепь, состоящая из двух резисторов сопротивлением $R = 20$ Ом каждый и соленоида, подключена к напряжению $U = 14$ В (рис. 244). Определите магнитный поток через соленоид.

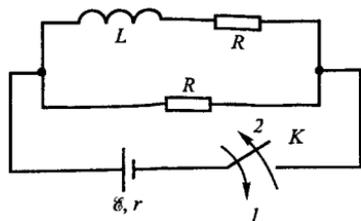


Рис. 245

ид, если после отключения напряжения в резисторе выделилось количество теплоты $Q = 3,5$ мДж.

34.50. Катушка индуктивностью $L = 0,30$ Гн, намотанная толстым медным проводом, соединена параллельно с резистором сопротивлением R и подключена к источнику тока с ЭДС $\mathcal{E} = 4,0$ В и внутренним сопротивлением $r = 2,0$ Ом. Какое количество теплоты выделится в

резисторе после отключения источника тока?

34.51. Электрическая цепь, состоящая из двух резисторов сопротивлением $R = 10$ Ом каждый и соленоида индуктивностью $L = 64$ мГн, подключена к источнику постоянного тока с ЭДС $\mathcal{E} = 3,0$ В и внутренним сопротивлением $r = 1,0$ Ом (рис. 245). Определите количество теплоты, выделившейся в каждом резисторе при отключении источника тока.

§ 35. Переменный ток. Трансформаторы

35.1. Проволочная рамка площадью S равномерно вращается в однородном магнитном поле с индукцией B вокруг оси, перпендикулярной направлению поля. Частота вращения ν . Как со временем изменяются: 1) магнитный поток Φ , проходящий через рамку; 2) ЭДС индукции \mathcal{E} в рамке?

35.2. Виток провода площадью S равномерно вращается в однородном магнитном поле с индукцией B вокруг оси, перпендикулярной направлению поля. Частота вращения ν . Чему равно максимальное значение ЭДС индукции, возникающей в рамке? Постройте график зависимости ЭДС от времени. Как изменятся максимальное значение ЭДС и график, если: 1) вместо одного витка намотать N витков; 2) частоту вращения увеличить в n раз?

35.3. Рамка площадью $S = 400$ см² имеет $N = 100$ витков провода и вращается в однородном магнитном поле с индукцией $B = 10$ мТл вокруг оси, перпендикулярной магнитному полю. Период вращения $t = 20$ мс. Концы провода через скользящие контакты замкнуты на сопротивление $R = 50$ Ом. Определите силу тока, протекающего через сопротивление. Чему равно максимальное значение силы тока? Какова частота тока?

35.4. Почему при получении переменного тока удобнее вращать индуктор, а якорь оставлять неподвижным?

35.5. Полагая, что напряжение переменного тока изменяется по закону синуса и начальная фаза равна нулю, определите напряжение в моменты времени 5,0; 10 и 15 мс. Амплитуда напряжения $U_0 = 200$ В, частота $\nu = 50$ Гц.

35.6. В сеть переменного тока включили резистор сопротивлением R . Амплитудное значение напряжения U_0 . Как изменяются со временем: 1) напряжение на резисторе; 2) сила тока, текущего через резистор; 3) мощность, выделяемая в резисторе?

35.7. Вольтметр переменного тока, включенный в сеть, показывает напряжение $U = 220$ В. Найдите максимальное значение напряжения в сети.

35.8. Определите, на какое напряжение надо рассчитывать изоляторы линии электропередачи, если действующее значение напряжения $U_d = 500$ кВ.

35.9. Электроплитка мощностью $P = 0,50$ кВт включена в промышленную сеть с напряжением $U = 127$ В. Напишите уравнения зависимости напряжения и силы тока в цепи электроплитки от времени. Какая максимальная мощность выделяется в плитке?

35.10. Неоновая лампа начинает светиться и гаснуть, когда напряжение на ее электродах достигнет строго определенного значения. Какую часть периода будет светиться лампа, если ее включить в сеть, действующее значение напряжения в которой равно этому напряжению?

35.11. В сеть переменного тока стандартной частоты напряжением $U = 220$ В последовательно включены резистор сопротивлением $R = 150$ Ом и конденсатор емкостью $C = 20$ мкФ. Определите: 1) полное сопротивление цепи; 2) силу тока в ней; 3) напряжения на резисторе и конденсаторе; 4) тепловую мощность, выделяющуюся в резисторе и конденсаторе; 5) сдвиг фаз между током и напряжением.

35.12. В сеть переменного тока стандартной частоты напряжением $U = 220$ В последовательно включены резистор сопротивлением $R = 33$ Ом и катушка индуктивностью $L = 0,15$ Гн. Определите: 1) полное сопротивление цепи; 2) силу тока в ней; 3) напряжения на резисторе и катушке; 4) тепловую мощность, выделяющуюся в резисторе и катушке; 5) сдвиг фаз между током и напряжением.

35.13. В цепь переменного тока стандартной частоты напряжением $U = 127$ В последовательно включены резистор сопротивлением $R = 68$ Ом, конденсатор емкостью $C = 20$ мкФ и катушка, индуктивность которой $L = 0,10$ Гн. Определите: 1) полное сопротивление цепи; 2) силу тока в ней; 3) напряжения на резисторе, конденсаторе и катушке; 4) сдвиг фаз между током и напряжением; 5) индуктивность, при которой ток в цепи максимален, и сдвиг фаз при этом.

35.14. Как изменяются напряжение и сила тока в первичной и вторичной обмотках трансформатора, подключенного к сети, при увеличении полезной нагрузки (уменьшении сопротивления) во вторичной обмотке?

35.15. Как изменится сила тока в первичной и вторичной обмотках работающего трансформатора, если железный сердечник разомкнуть?

35.16. Трансформатор повышает напряжение с $U_1 = 220$ В до $U_2 = 1,1$ кВ и содержит $N_1 = 700$ витков в первичной обмотке. Каков коэффициент трансформации? Сколько витков во вторичной обмотке? В какой обмотке провод большего сечения?

35.17. Трансформатор повышает напряжение с $U_1 = 100$ В до $U_2 = 5,6$ кВ. На одну из обмоток надели виток провода, а его концы подсоединили к вольтметру, который показал напряжение $U = 0,40$ В. Сколько витков имеют обмотки трансформатора?

35.18. Понижающий трансформатор с коэффициентом трансформации $k = 5,0$ включен в сеть с напряжением $U_1 = 220$ В. Определите КПД трансформатора, если потерь энергии в первичной обмотке не происходит, а напряжение на вторичной обмотке $U_2 = 42$ В.

35.19. Первичная обмотка трансформатора имеет $N_1 = 2,4 \cdot 10^3$ витков. Сколько витков должна иметь вторичная обмотка, чтобы при напряжении на зажимах $U_2 = 11$ В передавать во внешнюю цепь мощность $P_2 = 22$ Вт? Сопротивление вторичной обмотки $R_2 = 0,20$ Ом, напряжение в сети $U_1 = 380$ В.

35.20. Первичная обмотка трансформатора содержит $N_1 = 120$ витков провода с площадью сечения $S_1 = 20$ мм². Ее сопротивление $R_1 = 80$ мОм и при нагрузке сила тока в ней $I_1 = 40$ А. Сколько витков содержит вторичная обмотка и какова площадь сечения ее провода, если коэффициент трансформации $k = 4$? Определите сопротивление вторичной обмотки и потери мощности на нагрев обмоток трансформатора.

35.21. Понижающий трансформатор с коэффициентом трансформации $k = 2$ и КПД $\eta = 95$ % включен в сеть с напряжением $U_1 = 220$ В. В его вторичную цепь, имеющую сопротивление $R_2 = 7,0$ Ом, включен амперметр сопротивлением $R_A = 15$ Ом. Определите показание амперметра.

35.22. Ко вторичной обмотке включенного в сеть понижающего трансформатора с коэффициентом трансформации $k = 2$ подключена нагрузка с сопротивлением $R_n = 8,8$ Ом. Напряжение в сети $U_1 = 220$ В, сопротивление первичной обмотки трансформатора $R_1 = 3,2$ Ом, вторичной — $R_2 = 1,4$ Ом. Определите напряжение на нагрузке.

35.23. Определите, до какого значения надо повысить напряжение в линии электропередачи сопротивлением $R = 36 \text{ Ом}$, чтобы от электростанции мощностью $P = 5,0 \text{ МВт}$ было передано $\eta = 95 \%$ энергии.

35.24. От подстанции к потребителю передается мощность $P = 62 \text{ кВт}$. Сопротивление линии $R = 5,0 \text{ Ом}$. Для случаев осуществления передачи при напряжениях $U_1 = 620 \text{ В}$ и $U_2 = 6\ 200 \text{ В}$ определите: 1) часть мощности, получаемую потребителем; 2) напряжение у потребителя.

35.25. Определите период и частоту электромагнитных колебаний в контуре, содержащем индуктивность $L = 10 \text{ мкГн}$ и емкость $C = 250 \text{ пФ}$.

35.26. Как изменится частота электромагнитных колебаний в колебательном контуре, если: 1) в его катушку ввести ферритовый стержень; 2) увеличить расстояние между пластинами конденсатора?

35.27. Как изменится частота электромагнитных колебаний в контуре, если индуктивность катушки увеличить в 16 раз, а емкость конденсатора уменьшить в 9 раз?

35.28. Частота электромагнитных колебаний в колебательном контуре равна ν_0 . С какой частотой изменяются энергии электрического поля конденсатора и магнитного поля катушки?

35.29. Чем отличаются свободные колебания в двух контурах с одинаковыми параметрами, если их конденсаторы заряжены от источников тока с различными ЭДС?

35.30. Заряженный конденсатор замкнули на катушку индуктивности. Через какое время (в долях периода) после подключения энергия в конденсаторе будет равна энергии в катушке индуктивности?

35.31. Колебательный контур состоит из катушки индуктивности и двух одинаковых конденсаторов, включенных параллельно. Период собственных колебаний контура $T_1 = 20 \text{ мкс}$. Чему будет равен период, если конденсаторы включить последовательно?

35.32. Конденсатор $C = 50 \text{ пФ}$ сначала подключили к источнику тока с ЭДС $\mathcal{E} = 3,0 \text{ В}$, а затем к катушке индуктивностью $L = 5,1 \text{ мкГн}$. Чему равна частота колебаний, возникших в контуре? Чему равно максимальное значение силы тока в контуре? действующее значение?

35.33. Конденсатор емкостью $C = 10 \text{ нФ}$ зарядили до разности потенциалов $\Delta\phi = 4,5 \text{ В}$ и замкнули на катушку индуктивности. Определите, какое количество теплоты выделится в колебательном контуре к моменту времени, когда колебания затухнут полностью.

35.34. Электромагнитные колебания происходят в колебательном контуре генератора незатухающих колебаний. Определите, во сколь-

ко раз надо увеличить мощность, потребляемую от источника питания, чтобы амплитуда колебаний увеличилась вдвое.

35.35. Две катушки с индуктивностями $L_1 = 10$ мГн и $L_2 = 20$ мГн соединены параллельно. Какими будут максимальные токи в катушках, если параллельно им подключить конденсатор с емкостью $C = 3,0$ мкФ, предварительно заряженный до напряжения $U = 100$ В?

35.36. Конденсатор емкостью $C = 4,0$ мкФ с зарядом $q = 8,0$ мкКл разряжается на две катушки с индуктивностями $L_1 = 0,10$ Гн и $L_2 = 0,90$ Гн, соединенные последовательно. Найдите закон изменения напряжения на конденсаторе и определите максимальные значения энергии магнитного поля в катушках.

35.37. Две катушки с индуктивностями $L_1 = 0,50$ мГн и $L_2 = 2,0$ мГн соединены параллельно. Какими будут максимальные значения энергии магнитного поля в катушках, если параллельно им подключить конденсатор с емкостью $C = 2,0$ мкФ, которому сообщили заряд $q = 400$ мкФ?

35.38. Два последовательно соединенных конденсатора с емкостями $C_1 = 4,0$ мкФ и $C_2 = 14$ мкФ, заряженные от источника напряжения $U = 200$ В, разряжаются на две катушки с индуктивностями $L_1 = 30$ мГн и $L_2 = 50$ мГн, соединенные последовательно. Найдите закон изменения тока в катушках и определите максимальные значения энергии электрического поля в конденсаторах.

35.39. Колебательный контур состоит из катушки индуктивностью $L = 80$ мкГн, конденсатора емкостью $C = 100$ пФ и резистора сопротивлением $R = 0,50$ Ом. Какую мощность должен потреблять контур, чтобы в нем поддерживались незатухающие колебания, при которых максимальное напряжение на конденсаторе равно $U = 4,0$ В?

35.40. Почему при подключении генератора к линии передач электрический ток через нагрузку начинает протекать практически мгновенно? Определите, через какое время это происходит, если длина линии $l = 6,0$ км.

35.41. Длина линии электропередач стандартной частоты $l = 600$ км. Чему равна разность фаз напряжения на этом расстоянии?

35.42. Электромагнитная волна с частотой $\nu = 3,0$ МГц переходит из вакуума в немагнитную среду с диэлектрической проницаемостью $\epsilon = 4,0$. Определите изменение длины волны.

35.43. Индуктивность колебательного контура $L = 0,50$ мГн. Определите, какова должна быть электроемкость, чтобы он резонировал на длину волны $\lambda = 300$ м.

35.44. Определите резонансную частоту контура, если отношение максимального заряда на конденсаторе к максимальной силе тока в контуре равно n .

35.45. Радиоприемник может принимать в коротковолновом диапазоне с длинами волн от $\lambda_1 = 1,0$ м до $\lambda_2 = 100$ м. Определите диапазон частот настройки приемника.

35.46. В каких пределах меняется емкость переменного конденсатора во входном контуре радиоприемника, рассчитанного на прием волн в диапазоне от $\lambda_1 = 60$ м до $\lambda_2 = 600$ м? Индуктивность контура $L = 0,50$ мГн.

35.47. В приемнике емкость в колебательном контуре можно менять в пределах $0,10 \dots 5,0$ нФ, а индуктивность — $0,50 \dots 1,0$ мГн. Какой диапазон частот и длин волн можно охватить настройкой этого приемника?

35.48. Радиостанция работает на длине волны $\lambda = 30$ м. Сколько колебаний несущей частоты происходит в течение одного периода звуковых колебаний с частотой $\nu = 5,0$ кГц?

35.49. Радиолокатор работает на волне $\lambda = 15$ см и испускает импульсы с частотой $\nu = 4,0$ кГц. Длительность каждого импульса $\tau = 2,0$ мкс. Какова наибольшая дальность обнаружения цели? Сколько колебаний содержится в одном импульсе?

Дополнительные задачи

X.1. Квадратная рамка, сделанная из медного провода с площадью сечения $S = 2,0$ мм², может поворачиваться вокруг одной горизонтальной оси OO' (рис. 246). Она находится в однородном вертикальном магнитном поле с индукцией $B = 30$ мТл. Определите силу тока, протекающего по проводам, если угол отклонения $\alpha = 30^\circ$.

X.2. Если к точкам C и D прямоугольного проводника, по которому течет ток, подключить чувствительный электрометр, то в случае наличия магнитного поля, перпендикулярного образцу (рис. 247), он покажет возникновение разности потенциалов. Определите разность потенциалов между точками C и D , если заданы сила тока I через об-

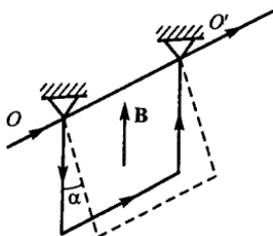


Рис. 246

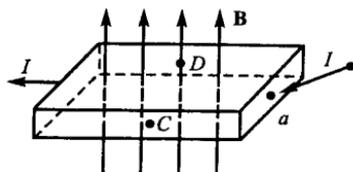


Рис. 247

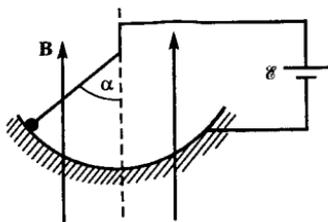


Рис. 248

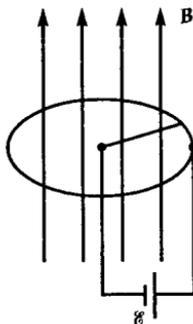


Рис. 249

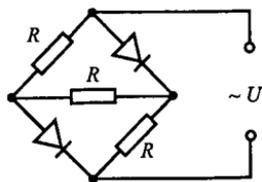


Рис. 250

разец, индукция B магнитного поля, толщина образца a , концентрация n электронов в проводнике.

Х.3. Электрон влетает со скоростью $v_0 = 100$ км/с в область, в которой созданы однородные параллельные электрическое и магнитное поля с напряженностью $E = 10$ кВ/м и индукцией $B = 10$ мТл под прямым углом к ним. Найдите зависимость радиуса кривизны траектории движения электрона от времени. Чему равен радиус кривизны траектории, когда электрон сделал один оборот?

Х.4. На конце невесомого проводящего стержня укреплен металлический шарик, который касается проводящей сферы радиусом $R = 1,0$ м. Второй конец стержня укреплен в центре сферы так, что он может вращаться без трения в любом направлении. Вся система помещена в однородное магнитное поле с индукцией $B = 0,50$ Тл. Когда между сферой и концом закрепления стержня подключили источник тока, угол между стержнем и вертикалью стал равен $\alpha = 60^\circ$ (рис. 248). Определите ЭДС источника тока.

Х.5. Стержень длиной l скользит по кольцу, сопротивление которого ничтожно мало (рис. 249). Контур находится в однородном магнитном поле с индукцией B , перпендикулярной плоскости кольца. Между концом стержня и кольцом подключен источник тока с ЭДС \mathcal{E} . Определите, при какой угловой скорости вращения стержня развивается максимальная мощность.

Х.6. В сеть переменного тока с напряжением U включена схема, состоящая из двух идеальных диодов и трех одинаковых резисторов сопротивлением R (рис. 250). Какая мощность выделяется на резисторах?

Х.7. Определите, во сколько раз отличаются амплитуды колебания через период. Колебательный контур состоит из катушки индуктивностью $L = 40$ мГн, конденсатора емкостью $C = 0,25$ мкФ. Сопротивление контура $R = 4,0$ Ом.

Часть четвертая

ОПТИКА. СТРОЕНИЕ АТОМА

Глава XI

ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ ОПТИКА. ФОТОМЕТРИЯ

§ 36. Отражение и преломление света на плоской границе

36.1. Найдите построением точку на горизонтальной поверхности, в которой отражается луч, идущий из точки A и после отражения от поверхности попадающий в точку B (рис. 251).

36.2. Два луча пересекаются в точке A и расходятся под углом $\alpha = 120^\circ$ друг к другу. На их пути ставят зеркало так, что его плоскость перпендикулярна плоскости, в которой лежат лучи. Определите расстояние от точки A до ее изображения в зеркале, если длина пути лучей до зеркала одинакова и равна $l = 15$ см.

36.3. Луч света составляет с поверхностью стола угол $\alpha = 64^\circ$. Как надо расположить плоское зеркало, чтобы изменить направление луча на горизонтальное?

36.4. На какой угол повернется луч, отраженный от плоского зеркала, при повороте последнего на угол α ?

36.5. Плоское зеркало движется со скоростью $v = 1,5$ см/с. С какой по модулю и направлению скоростью должен двигаться точечный источник света S , чтобы его отражение в плоском зеркале было неподвижным?

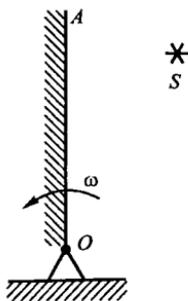
36.6. Зеркало OA вращается с угловой скоростью ω (рис. 252). С какой скоростью движется отражение точки S ? $OS = l$.

36.7. Плоское зеркало движется со скоростью $v = 2,0$ см/с (рис. 253), точечный источник света S — со скоростью $u = 3,0$ см/с. С какой скоростью и в каком направлении движется отражение точки S ?

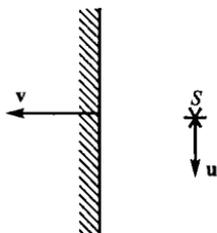
36.8. Предмет AB и зеркало OO' расположены, как указано на рис. 254. Где следует расположить глаз, чтобы увидеть изображение всего предмета целиком?



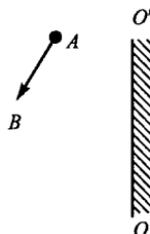
Рис. 251



Р и с. 252



Р и с. 253



Р и с. 254

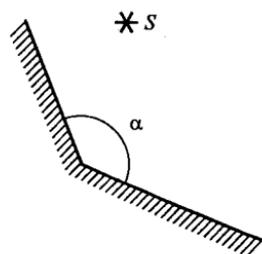
36.9. Какова наименьшая высота вертикального зеркала, чтобы человек мог в нем видеть свое изображение во весь рост, не меняя положения головы?

36.10. Два зеркала расположены под углом $\alpha = 120^\circ$ друг к другу (рис. 255), и перед ними помещен точечный источник света S . Где следует находиться наблюдателю, чтобы одновременно видеть все изображения, даваемые зеркалами?

36.11. Светящаяся точка расположена на расстоянии $l_0 = 12$ см от линии пересечения плоских зеркал, помещенных под углом $\alpha = 30^\circ$ друг от друга. На каком расстоянии друг от друга находятся два первых изображения светящейся точки в этих зеркалах?

36.12. Два источника света S_1 и S_2 находятся на расстоянии $a = 41$ см друг от друга. Два плоских зеркала расположены так, что изображения совпадают, причем расстояния от S_1 до одного зеркала и от S_2 до другого одинаковы и равны $b = 25$ см. Определите угол между зеркалами.

36.13. Предмет помещен между двумя взаимно перпендикулярными зеркалами. Сколько получается изображений? Постройте их. Сколько изображений дадут два параллельных зеркала? Найдите решение для случая, когда угол между зеркалами α , причем $360^\circ/\alpha$ — есть целое число.



Р и с. 255

36.14. Почему окна домов днем кажутся темными, т. е. темнее наружных стен, даже если стены выкрашены темной краской?

36.15. При переходе из воздуха в воду луч света отклоняется на угол α . Как изменится этот угол, если поверх воды налить слой масла?

36.16. В какой среде лучи света могут быть криволинейными?

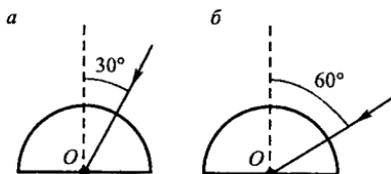


Рис. 256

36.17. Под каким углом должен падать свет на границу вода — стекло, чтобы отраженный луч оказался перпендикулярным преломленному?

36.18. На границу алмаз — спирт падает луч света под углом $\alpha = 30^\circ$. Определите угол между отраженным и преломленным лучами. При каком наименьшем значении угла падения он отразится полностью?

36.19. Взаимно перпендикулярные лучи идут из воздуха в жидкость. Каков показатель преломления жидкости, если один луч преломляется под углом $\beta_1 = 36^\circ$, а другой — под углом $\beta_2 = 20^\circ$?

36.20. В дно водоема глубиной $H = 2,0$ м вбита свая, на $h = 0,75$ м выступающая из воды. Найдите длину тени от сваи на поверхности и дне водоема, если высота солнца равна $\alpha = 45^\circ$.

36.21. Каков дальнейший путь луча (рис. 256), падающего на плоскую грань полуцилиндра, изготовленного из кварцевого стекла?

36.22. На дно сосуда, наполненного водой до высоты $h = 15$ см, помещен точечный источник света. Определите наименьший диаметр непрозрачной пластинки, которую надо поместить на поверхности воды, чтобы свет не выходил из нее.

36.23. Наблюдатель смотрит на свое изображение в плоском зеркале, положенном на дно сосуда с водой. На какой глубине находится зеркало, если глаз расположен на высоте $h = 20$ см над уровнем воды и аккомодирован на расстояние $l = 60$ см?

36.24. Какова истинная глубина бассейна, если при определении «на глаз» по вертикальному направлению глубина его кажется равной $h = 2,0$ м?

36.25. Водолаз ростом $h = 1,7$ м стоит на дне реки и воспринимает отраженные от водной поверхности изображения предметов, удаленных от него на расстояние $l = 15$ м. Определите глубину реки.

36.26. Вертикальный луч света, падающий на стеклянный шар диаметром $D = 12$ см, расположенный на горизонтальной зеркальной поверхности, после преломления и отражения в точке касания шара с зеркалом вышел из него параллельно первоначальному направлению. Определите путь луча в шаре.

36.27. Луч света падает на плоскопараллельную стеклянную пластинку толщиной $d = 3,0$ см под углом $\alpha = 60^\circ$. Определите длину пути луча в пластинке. Под каким углом он выйдет из нее?

36.28. Луч падает на плоскопараллельную пластинку из флинт-гласа под углом $\alpha = 45^\circ$. Какова толщина пластинки, если луч при выходе из нее сместился на $l = 2,0$ см?

36.29. У призмы с преломляющим углом $\varphi = 35^\circ$ одна грань посеребрена. Луч, падающий на другую грань под углом $\alpha = 60^\circ$, после преломления и отражения от посеребренной грани вернулся назад по прежнему направлению. Определите показатель преломления материала призмы.

36.30. На грань стеклянной призмы нормально падает луч света. Определите угол его отклонения, если преломляющий угол призмы $\varphi = 30^\circ$.

36.31. Луч света выходит из стеклянной призмы под тем же углом, что и входит в нее. Зная, что преломляющий угол призмы $\varphi = 45^\circ$, найдите угол отклонения луча от первоначального направления.

§ 37. Сферические зеркала и линзы

37.1. Почему в настоящее время на транспорте применяют не плоские, а выпуклые зеркала?

37.2. Как определить в солнечный день радиус кривизны вогнутого зеркала?

37.3. На выпуклое зеркало падает луч, как показано на рис. 257. Построением найдите его дальнейший ход.

37.4. На рис. 258 дан ход луча в сферическом зеркале. Найдите построением положение фокуса зеркала.

37.5. Светящаяся точка S находится на главной оптической оси вогнутого зеркала (рис. 259), фокусное расстояние которого равно F . Найдите графическим построением изображение. Какое оно: действительное или мнимое?

37.6. На рис. 260 даны положения главной оптической оси сферического зеркала, светящейся точки S и ее изображения S' . Найдите



Рис. 257

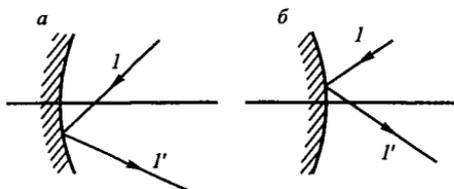
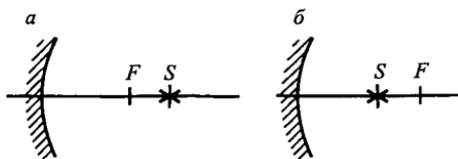
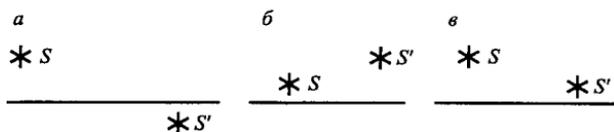


Рис. 258



Р и с. 259



Р и с. 260

построением положения центра кривизны и полюса зеркала. Какое использовано зеркало: вогнутое или выпуклое?

37.7. Предмет помещают на оси вогнутого зеркала так, что на экране получается увеличенное действительное изображение. Как оно изменится, если половину зеркала закрыть непрозрачной ширмой?

37.8. Докажите, что для сферического зеркала произведение расстояний предмета и изображения до главного фокуса всегда равно квадрату фокусного расстояния.

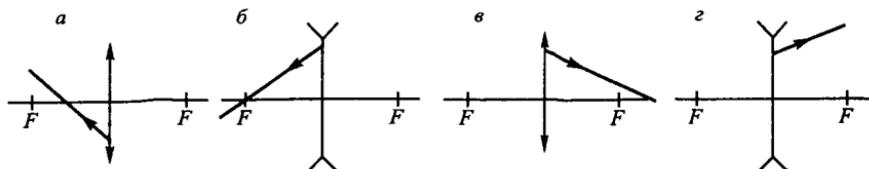
37.9. Светящаяся точка находится на расстоянии $a = 36$ см, ее изображение — на расстоянии $b = 9,0$ см от главного фокуса выпуклого зеркала. Найдите главное фокусное расстояние зеркала. Постройте изображение точки в зеркале.

37.10. Где нужно поставить предмет, чтобы получить действительное изображение в $\Gamma = 0,50$ натуральной величины в вогнутом сферическом зеркале, радиус кривизны которого $R = 40$ см?

37.11. На вогнутое зеркало, радиус кривизны которого $R = 30$ см, падают сходящиеся лучи света так, что их продолжения пересекаются в точке, находящейся за зеркалом на расстоянии $d = 30$ см. На каком расстоянии от зеркала сойдутся эти лучи после отражения? Будет ли точка их пересечения действительной?

37.12. Сходящиеся лучи падают на выпуклое зеркало так, что их продолжения пересекаются на его оси на расстоянии $d = 30$ см. После отражения лучи расходятся так, что их продолжения пересекаются в точке, отстоящей от зеркала на расстояние $f = 60$ см. Определите радиус кривизны зеркала.

37.13. Предмет находится на расстоянии $d = 30$ см от вогнутого зеркала. Его изображение в $\Gamma = 1,5$ раза больше самого предмета. Оп-



Р и с. 261

ределите расстояние изображения до зеркала и радиус кривизны зеркала.

37.14. Вогнутое зеркало дает обратное и увеличенное в $\Gamma = 4,0$ раза изображение предмета. Определите главное фокусное расстояние зеркала, если расстояние между предметом и его изображением равно $l = 90$ см.

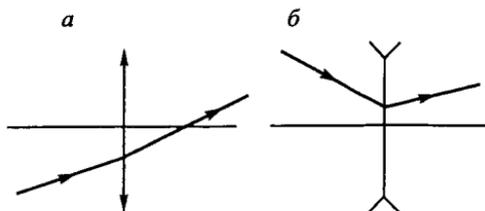
37.15. Изображение, даваемое вогнутым зеркалом, в $\Gamma_1 = 3,0$ раза меньше предмета. Если предмет передвинуть на расстояние $a = 10$ см ближе к зеркалу, то изображение будет меньше предмета только в $\Gamma_2 = 2,0$ раза. Чему равно его главное фокусное расстояние?

37.16. На расстоянии $a = 8,0$ см от выпуклого зеркала помещена тонкая плоская стеклянная пластинка. За пластинкой на расстоянии $b = 12$ см от нее помещают точечный источник света. Изображение, даваемое лучами, отраженными от передней поверхности пластинки, совпало с изображением, даваемым лучами, отраженными от зеркала. Определите радиус кривизны зеркала.

37.17. На главной оптической оси вогнутого сферического зеркала радиусом $R = 50$ см помещен точечный источник света S на расстоянии $d = 30$ см от него. На каком расстоянии от источника надо поставить плоское зеркало, чтобы лучи, отраженные вогнутым, а затем плоским зеркалом, вернулись в точку S ?

37.18. На рис. 261 дан луч, прошедший сквозь линзу с фокусным расстоянием F . Постройте ход луча до линзы.

37.19. На рис. 262 дан ход луча в линзе. Найдите построением положения главных ее фокусов.



Р и с. 262

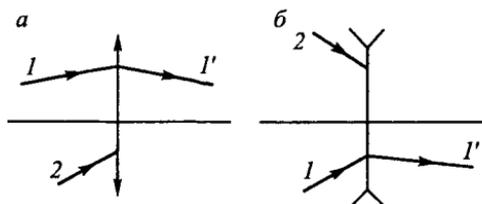


Рис. 263

37.20. На рис. 263 дан ход луча 1 в линзе. Найдите построением ход луча 2 .

37.21. На рис. 260 даны положение главной оптической оси линзы, светящаяся точка S и ее изображение S' . Найдите построением положение центра линзы и ее фокусов. Какие это линзы?

37.22. Как надо расположить две линзы, чтобы параллельные лучи, пройдя через них, остались параллельными? 1) Линзы собирающие; 2) одна линза рассеивающая, другая — собирающая.

37.23. Можно ли с помощью двояковогнутой стеклянной линзы получить действительное изображение?

37.24. Для изготовления плосковыпуклой линзы с главным фокусным расстоянием $F = 10$ см был использован флинтглас. Определите радиус кривизны выпуклой поверхности линзы.

37.25. Фокусное расстояние линзы, сделанной из флинтгласа, в $k = 1,6$ раза меньше, чем у точно такой же по форме линзы, сделанной из плексигласа. Найдите показатель преломления плексигласа.

37.26. Каковы радиусы кривизны стеклянной вогнуто-выпуклой рассеивающей линзы с оптической силой $D = 2,5$ дптр, если один из них больше другого в $k = 1,6$ раза?

37.27. Как изменится фокусное расстояние собирающей линзы, сделанной из кварцевого стекла, если ее поместить в воду?

37.28. Мнимый источник находится в главном фокусе F собирающей линзы. Где находится его изображение?

37.29. Предмет находится перед рассеивающей линзой на расстоянии $d = 4F$. На каком расстоянии от линзы получится мнимое изображение и во сколько раз оно будет меньше самого предмета?

37.30. Линза дает увеличение $\Gamma = 3,0$ предмета, находящегося на расстоянии $d = 10$ см от нее. Найдите ее фокусное расстояние.

37.31. Расстояние от предмета до экрана $l = 5,0$ м. Какой оптической силы надо взять линзу и где ее следует поместить, чтобы получить изображение предмета, увеличенное в $\Gamma = 4,0$ раза?

37.32. С помощью тонкой линзы на экране получено изображение с увеличением $\Gamma_1 = 2,0$. Предмет передвинули на $l = 1,5$ см. Что-

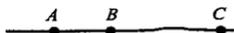


Рис. 264

бы получить четкое изображение, пришлось передвинуть экран. При этом увеличение предмета оказалось равным $\Gamma_2 = 3,0$. Определите, на какое расстояние передвинули экран.

37.33. С помощью тонкой линзы получают действительное изображение с увеличением $\Gamma = 3,0$. Затем ее передвигают на $l = 10$ см и получают мнимое изображение такого же размера. Определите фокусное расстояние линзы. Постройте график зависимости увеличения линзы от расстояния между нею и предметом.

37.34. Точечный источник света находится на главной оптической оси собирающей линзы. Когда он помещался в точке A (рис. 264), его изображение находилось в точке B , а когда источник поместился в точку B , его изображение оказалось в точке C . Зная, что $AB = 10$ см и $BC = 20$ см, найдите фокусное расстояние линзы.

37.35. Предмет и экран находятся на расстоянии $l = 1,0$ м друг от друга. Перемещая между ними собирающую линзу, получают два положения, разделенных расстоянием $a = 60$ см, при которых она дает четкое изображение предмета на экране. Найдите фокусное расстояние линзы.

37.36. Определите минимально возможное расстояние между предметом и его действительным изображением, полученным с помощью линзы с фокусным расстоянием $F = 10$ см. Каково при этом увеличение линзы?

37.37. Линзы 1 и 2 сделаны из одного сорта стекла (рис. 265). Найдите оптическую силу линзы 1 , зная, что линза 2 имеет оптическую силу $D_2 = 2,25$ дптр.

37.38. Вогнутое зеркало радиусом $R = 53,2$ см наполнено водой. Определите фокусное расстояние этой системы.

37.39. Линза с фокусным расстоянием $F = 60$ см вплотную прилегает к плоскому зеркалу. На оптической оси находится светящаяся точка S на расстоянии $d = 15$ см от линзы. Какое изображение дает эта система и где оно находится?

37.40. Слева от линзы с оптической силой $D = 2,0$ дптр на расстоянии $d = 25$ см от нее находится светящаяся точка. Справа на таком же расстоянии поставили плоское зеркало перпендикулярно главной оптической оси. На каком расстоянии от линзы соберет лучи полученная система?

37.41. С помощью положительной линзы с фокусным расстоянием $F = 21$ см получено мнимое изображение свечи с увеличением $\Gamma_1 = 2$. По другую сторону линзы перпендикулярно главной оптической оси установили плоское



Рис. 265

зеркало. Изображение свечи в этой системе получилось с увеличением $\Gamma = 3$. Определите расстояние от линзы до зеркала.

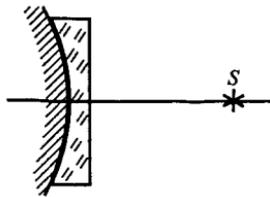


Рис. 266

37.42. С помощью рассеивающей линзы с фокусным расстоянием $F_1 = 10$ см получают изображение предмета с увеличением $\Gamma_1 = 1/2$. По другую сторону линзы на расстоянии $l = 15$ см от нее помещают вторую собирающую линзу с фокусным расстоянием $F_2 = 16$ см.

Определите увеличение изображения предмета в системе линз.

37.43. Линзы с оптическими силами $D_1 = 5,0$ дптр и $D_2 = 2,5$ дптр находятся на расстоянии $a = 0,90$ м друг от друга. Какое изображение даст эта система, если предмет расположить на расстоянии $d = 30$ см перед первой линзой?

37.44. На расстоянии $d = 0,50$ м перед линзой с фокусным расстоянием $F_1 = 30$ см помещен предмет высотой $h = 15$ см. Вторая линза с фокусным расстоянием $F_2 = 20$ см расположена на расстоянии $a = 45$ см от первой. Где находится изображение предмета? Какова высота этого изображения?

37.45. К выпуклому сферическому зеркалу приложена стеклянная линза (рис. 266). Перед ним на расстоянии $d = 40$ см помещают светящуюся точку S . Зная, что изображение точки находится на расстоянии $f = 15$ см от зеркала, определите радиус его кривизны.

§ 38. Оптические приборы

38.1. Высота здания на фотопленке равна $h = 36$ мм, фокусное расстояние объектива аппарата $F = 5,0$ см. Определите высоту здания, если фотограф находился от него на расстоянии $d = 50$ м.

38.2. Можно ли сфотографировать мнимое изображение?

38.3. Какая экспозиция допустима при съемке велосипедной гонки, если на негативе размытие изображения не должно превышать $\Delta x = 0,50$ мм? Скорость велогонщика $v = 36$ км/ч. Фотографирование проводится с расстояния $d = 10$ м аппаратом с оптической силой объектива $D = 20$ дптр.

38.4. При наибольшем удалении объектива от пленки фотоаппарат дает резкие снимки предметов, находящихся на расстоянии $d = 3,0$ м. С какого наименьшего расстояния можно будет получать резкие снимки, если на объектив насадить собирающую линзу с оптической силой $D = 5,0$ дптр?

38.5. С помощью фотоаппарата с объективом, оптическая сила которого $D = 10$ дптр, фотографируют предмет, находящийся на дне

водоема глубиной $h_1 = 1,2$ м. Каково расстояние между объективом и пленкой? Объектив расположен на расстоянии $h_2 = 0,50$ м от поверхности воды.

38.6. Объектив проекционного аппарата имеет фокусное расстояние $F = 15$ см. На каком расстоянии от него нужно поместить диапозитив размером 9×12 см, чтобы получить на экране изображение размером 45×60 см?

38.7. Какое линейное увеличение можно получить с помощью проекционного аппарата, объектив которого имеет фокусное расстояние $F = 20$ см, если экран находится на расстоянии $f = 6,0$ м от объектива?

38.8. Рисунок в книге имеет высоту $h = 5,0$ см, а на экране $H = 0,95$ м. Определите фокусное расстояние объектива эпидиаскопа, если расстояние от объектива до экрана $f = 4,0$ м.

38.9. Как изменится кривизна хрусталика глаза, если перевести взгляд с облаков, плывущих в небе, на проезжающую близко автомашину?

38.10. Почему, открыв глаза под водой, мы видим только неясные очертания предметов, а в маске для ныряния предметы видны совершенно отчетливо?

38.11. Вычислите наименьшее расстояние между делениями шкалы измерительного прибора, которые бы отчетливо различались с расстояния $l = 5,0$ м. Наименьший угол зрения принять равным $\varphi = 1'$.

38.12. Какой недостаток зрения у человека, для которого расстояние наилучшего зрения $d = 12,5$ см? Как этот недостаток можно исправить?

38.13. Для ликвидации недостатка зрения человек пользуется очками оптической силы $D = +2,75$ дптр. Каков ближний предел аккомодации глаза дальнорядного человека?

38.14. Пределы аккомодации у близорядного человека лежат между $d_1 = 10$ см и $d_2 = 50$ см. Определите, на каком наименьшем расстоянии он сможет читать книгу, если наденет очки, с помощью которых хорошо видит удаленные предметы.

38.15. При некотором положении предмета лупа дала увеличение $\Gamma_1 = 4,0$. Как изменится это число, если расстояние от предмета до лупы уменьшить в $n = 1,5$ раза?

38.16. Определите оптическую силу лупы, дающей двукратное увеличение.

38.17. Какому зрителю приходится больше раздвигать трубку театрального бинокля — дальнорядному или близорядному?

38.18. Зрительная труба Кеплера с фокусным расстоянием объектива $F = 24$ см установлена на бесконечность. На какое расстояние надо передвинуть окуляр трубы, чтобы ясно видеть предметы на расстоянии $d = 10$ м?

38.19. Труба Галилея (с рассеивающей линзой в качестве окуляра) десятикратного увеличения при установке на бесконечность имеет длину $l = 54$ см. Определите фокусные расстояния объектива и окуляра. На какое расстояние нужно сместить окуляр, чтобы четко видеть предметы, находящиеся на расстоянии $d = 60$ м?

38.20. Телескоп, объектив которого имеет фокусное расстояние $F_1 = 1,0$ м, а окуляр — $F_2 = 5,0$ см, наведен на Луну, и ее изображение сфокусировано на экран, расположенный на расстоянии $f = 25$ см от окуляра. Определите расстояние между объективом и окуляром, а также диаметр изображения, если угловой размер Луны $\alpha = 30'$.

38.21. Из астрономической трубы, у которой фокусное расстояние объектива $F = 2,5$ м, вынули окуляр и просто глазом рассматривают изображение удаленного предмета. Каково увеличение трубы в этом случае?

38.22. Можно ли получить на экране изображение, даваемое микроскопом? телескопом? Что нужно для этого сделать?

38.23. Фокусное расстояние объектива микроскопа $F_1 = 8,0$ мм, окуляра — $F_2 = 4,0$ см. Предмет находится от объектива на расстоянии $d = 8,5$ мм. Определите линейное увеличение микроскопа для нормального глаза и расстояние между объективом и окуляром.

38.24. Микроскоп имеет длину $l = 20$ см. Фокусное расстояние объектива и окуляра соответственно равны $F_1 = 0,40$ см и $F_2 = 2,0$ см. На каком расстоянии от объектива надо поместить предмет, чтобы его отчетливо видеть человеку с нормальным зрением?

38.25. У микроскопа длина тубуса $l = 18,9$ см. Оптическая сила объектива $D_1 = 250$ дптр и окуляра $D_2 = 20$ дптр. Расстояние от предмета до объектива $d = 4,1$ мм. Найдите линейное увеличение микроскопа.

§ 39. Фотометрия

39.1. Поясните рисунками, почему в полдень освещенность поверхности Земли наибольшая.

39.2. Лампа, сила света которой $I = 25$ кд, укреплена на потолке лифта. Определите световой поток, падающий на пол и стены.

39.3. Над центром круглого стола радиусом $R = 60$ см на высоте $h = 0,80$ м висит лампа силой света $I = 100$ кд. Определите освещенность в центре и на краю стола.

39.4. Лампу силой света $I = 100$ кд, висящую над столом на высоте $h = 1,2$ м, опустили и получили освещенность под ней $E = 100$ лк. На какую высоту опустили лампу?

39.5. На столбе высотой $h = 6,0$ м висит фонарь, сила света которого $I = 500$ кд. На каком расстоянии от столба освещенность поверхности земли $E = 3,0$ лк?

39.6. На какой высоте следует поместить лампу над центром круглого стола, чтобы на его краях получить наибольшую освещенность?

39.7. Светильник из матового стекла имеет форму шара диаметром $d = 20$ см. Сила света источника $I = 60$ кд. Определите полный световой поток и светимость светильника.

39.8. Светильник, имеющий форму шара радиусом $r = 10$ см, находится на расстоянии $l = 50$ см от стола. Его светимость $R = 4,0 \cdot 10^3$ лм/м². Какова освещенность стола непосредственно под светильником?

39.9. Освещенность поверхности, покрытой черным сукном, равна $E = 120$ лк. Светимость одинакова во всех направлениях и равна $R = 6,0$ лм/м². Определите коэффициент поглощения сукна.

39.10. Две лампы силой света $I_1 = 25$ кд и $I_2 = 40$ кд находятся друг от друга на расстоянии $l = 1,2$ м. Где между ними надо поместить фотометрический экран, чтобы освещенность была одинаковой с той и другой стороны?

39.11. На расстоянии $l = 4,0$ м друг от друга и на высоте $h = 3,0$ м над землей висят два фонаря силой света $I = 200$ кд каждый. Определите освещенность под фонарем.

39.12. При печатании фотографического снимка негатив освещался лампой, помещенной на расстоянии $l = 0,60$ м, в течение $\tau_1 = 9,0$ с. Как надо изменить время экспозиции, если лампу приблизить на $\Delta l = 20$ см?

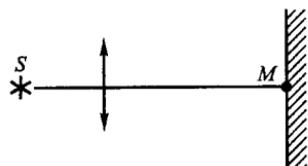
39.13. На линзу фотообъектива села муха. Как это отразится на качестве снимка?

39.14. Диаметр объектива телескопа $d_1 = 75$ мм, а диаметр зрачка глаза $d_2 = 3,0$ мм. Во сколько раз этот телескоп увеличивает видимую яркость звезд?

39.15. На киноэкран размером $5 \times 3,6$ м из объектива киноаппарата падает световой поток $\Phi = 1,8 \cdot 10^3$ лм. Определите освещенность и светимость киноэкрана, если коэффициент отражения $\rho = 0,80$.

39.16. Проекционный аппарат имеет объектив с фокусным расстоянием $F = 20$ см. Диапозитив размером 3×4 см, находящийся на

расстоянии $d = 20,6$ см от линзы, пропускает световой поток $\Phi = 12$ лм. Определите освещенность и светимость изображения диапозитива на экране, если коэффициент отражения равен $\rho = 0,75$.



Р и с. 267

39.17. Сначала фотографируют дальний объект, потом близкий. Куда надо переместить объектив? Как надо изменить экспозицию?

39.18. На некотором расстоянии от точечного источника света помещен экран. Как изменится освещенность в центре экрана, если по другую сторону от источника на таком же расстоянии поставить плоское зеркало?

39.19. В главном фокусе вогнутого сферического зеркала с радиусом кривизны $R = 1,0$ м находится точечный источник света. Определите освещенность в центре экрана, расположенного на расстоянии $l = 2,0$ м от зеркала, если освещенность в этом месте в отсутствие зеркала $E_0 = 40$ лк.

39.20. Лампочка силой света $I_0 = 40$ кд находится на расстоянии $d = 30$ см от линзы с фокусным расстоянием $F = 50$ см. Какой будет сила света лампы в результате действия линзы?

39.21. Точечный источник света S освещает экран с помощью линзы (рис. 267). Определите освещенность экрана в точке M , если сила света источника $I = 25$ кд, оптическая сила линзы $D = 2,0$ дптр, расстояние от источника до линзы $d = 0,80$ м, а от линзы до экрана $f = 1,0$ м.

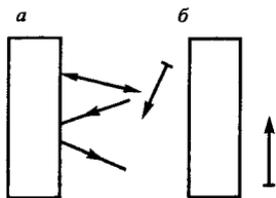
Дополнительные задачи

XI.1. Человек рассматривает зрачок своего глаза в плоском зеркале толщиной $d = 1,5$ см на расстоянии наилучшего зрения. На каком расстоянии от зеркала расположен глаз человека?

XI.2. На горных дорогах и в городах с узкими улицами у поворотов иногда устанавливают выпуклые зеркала. Определите, на сколько увеличивает угол зрения зеркало, диаметр которого равен радиусу его кривизны, по сравнению с плоским зеркалом того же диаметра.

XI.3. На воздухе у аквалангиста в маске угол обзора $\varphi = 110^\circ$. Определите угол обзора в воде.

XI.4. Сферическое зеркало и линза закрыты полосками бумаги. Лучи, падающие и отраженные от зеркала, показаны на рис. 268, а, предмет и его изображение в линзе — на рис. 268, б. Определите построением положения и все характеристики зеркала и линзы.



Р и с. 268

XI.5. Две одинаковые собирающие линзы диаметром $d = 6,0$ см и фокусным расстоянием $F = 6,0$ см имеют общую главную оптическую ось. Расстояние между ними равно F . Слева от левой линзы на расстоянии $l_1 = 9,0$ см от нее на главной оптической оси находится точечный источник света. Справа от правой линзы на расстоянии $l_2 = 6,0$ см находится экран, перпендикулярный главной оптической оси. Оп-

ределите диаметр светового пятна на экране.

XI.6. Двояковыпуклая линза с фокусным расстоянием $F = 10$ см создает изображение точечного источника, расположенного на расстоянии $b = 2,0$ см от главной оптической оси и $d = 28$ см от линзы. За линзой помещают плоское зеркало так, что отраженные от него лучи после прохождения линзы создают изображение, совпадающее с источником. На какой угол нужно повернуть зеркало вокруг оси, проходящей через точку пересечения зеркала с главной оптической осью линзы и перпендикулярной плоскости, в которой лежат источник и главная оптическая ось, чтобы изображение, ранее совпадавшее с источником, сместилось на $a = 2,0$ см дальше от линзы?

XI.7. Если сложить вместе линзы из телескопа, дающего увеличение $\Gamma_T = 4,0$, то получится лупа с фокусным расстоянием $F = 1,6$ см. Какой длины надо взять тубус, чтобы получить микроскоп с увеличением $\Gamma_M = 25$?

Г л а в а XII

ВОЛНОВЫЕ И КВАНТОВЫЕ СВОЙСТВА СВЕТА

§ 40. Волновая природа света

40.1. Вода освещена зеленым светом, для которого длина волны в воздухе $\lambda = 0,50$ мкм. Какой будет длина волны в воде? Какой цвет видит человек, открывший глаза под водой?

40.2. Какие лучи сильнее рассеиваются земной атмосферой?

40.3. Объясните происхождение цвета красного стекла и кумача.

40.4. На белом фоне написан текст синими буквами. Через стекло какого цвета нельзя увидеть надпись? Какими будут казаться буквы, если их рассматривать через красное стекло?

40.5. Луч белого света падает на поверхность воды под углом $\alpha = 60^\circ$. Чему равен угол между направлениями крайних красных и

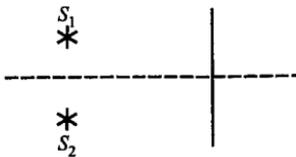


Рис. 269

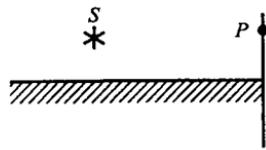


Рис. 270

крайних фиолетовых лучей в воде, если показатели преломления их равны соответственно $n_1 = 1,329$ и $n_2 = 1,344$?

40.6. На призму с преломляющим углом $\varphi = 60^\circ$ падает луч белого света под углом $\alpha = 45^\circ$. Определите угол между крайними лучами видимого спектра при выходе из призмы, если их показатели преломления равны $n_1 = 1,624$ и $n_2 = 1,671$.

40.7. Определите величину продольной хроматической аберрации двояковыпуклой линзы с радиусами кривизны $R = 50$ см. Линза сделана из стекла, показатели преломления которого для крайних лучей видимого спектра равны $n_1 = 1,575$ и $n_2 = 1,597$.

40.8. Два когерентных источника (рис. 269) испускают белый свет. Что представляет собой картина интерференции на экране, расположенном на расстоянии $l = 0,50$ м от источников? Как изменится картина интерференции, если экран отодвинуть еще на $\Delta l = 0,50$ м?

40.9. Разность хода двух интерферирующих лучей монохроматического света $\Delta r = \lambda/4$. Определите разность фаз колебаний.

40.10. Два когерентных источника (рис. 269) испускают монохроматический свет с длиной волны $\lambda = 0,60$ мкм. Определите, на каком расстоянии от точки, расположенной на экране на равном расстоянии от источников, будет первый максимум освещенности. Экран удален от источников на $l = 3,0$ м, расстояние между ними $d = 0,50$ мм.

40.11. Источник света S и плоское зеркало расположены, как показано на рис. 270. Будут ли интерферировать лучи, пришедшие в точку P ?

40.12. На мыльную пленку падает нормально пучок лучей белого света. Какова наименьшая толщина пленки, если в отраженном свете она кажется зеленой ($\lambda = 532$ нм)?

40.13. Лучи белого света падают нормально на тонкую прозрачную плоскопараллельную пластинку. Как будет меняться окраска пластинки, если увеличивать угол падения?

40.14. На тонкий стеклянный клин падает нормально пучок монохроматического света с длиной волны $\lambda = 0,60$ мкм. Найдите угол

клина, если расстояние между интерференционными полосами $s = 4,0$ мм.

40.15. Как изменится картина дифракционного спектра, если решетку с периодом $d_1 = 0,020$ мм заменить решеткой с периодом $d_2 = 0,010$ мм?

40.16. Определите постоянную дифракционной решетки, если на решетке длиной $l = 2,5$ см нанесено $N = 12\ 500$ штрихов.

40.17. На дифракционную решетку с периодом $d = 3,0$ мкм нормально падает свет с длиной волны $\lambda = 500$ нм. Определите, под каким углом наблюдается максимум третьего порядка.

40.18. Дифракционная решетка содержит $N = 500$ штрихов на $l = 1$ мм. Определите длину волны монохроматического света, нормально падающего на решетку, если угол между двумя спектрами второго порядка $\alpha = 90^\circ$. Какой наибольший порядок спектра можно при этом наблюдать?

40.19. Определите длину волны для линии в дифракционном спектре четвертого порядка, совпадающей с линией $\lambda_1 = 0,68$ мкм спектра третьего порядка.

40.20. Найдите наибольший порядок спектра для белого света (длины волн заключены в пределах от $\lambda_1 = 380$ нм до $\lambda_2 = 760$ нм), если постоянная дифракционной решетки равна $d = 2,5$ мкм.

§ 41. Квантовая природа света

41.1. Определите энергию и массу фотонов, соответствующих красной ($\lambda_1 = 0,76$ мкм) и фиолетовой ($\lambda_2 = 0,38$ мкм) границам видимого спектра.

41.2. Определите массу и импульс фотона, соответствующего рентгеновскому излучению с частотой $\nu = 3,0 \cdot 10^{17}$ Гц.

41.3. Определите импульс фотона, энергия которого равна $E = 3,0$ эВ.

41.4. Определите длину волны света в среде с абсолютным показателем преломления $n = 1,5$, если энергия фотонов $E = 2,0$ эВ.

41.5. Определите скорость света в среде, в которой свет с энергией фотонов $E = 2,5$ эВ имеет длину волны $\lambda = 290$ нм.

41.6. Определите длину волны, соответствующую фотону, масса которого равна массе покоящегося электрона.

41.7. Определите длину волны, соответствующую фотону, энергия которого равна энергии покоя протона.

41.8. Определите длину волны фотона, импульс которого равен импульсу электрона, пролетевшего разность потенциалов $\Delta\varphi = 4,9$ В.

41.9. Мощность светового потока ($\lambda = 500$ нм), падающего нормально на поверхность площадью $S = 1,0$ дм², равна $P = 100$ Вт. Сколько фотонов падает каждую секунду на 1 см² этой поверхности?

41.10. Определите, какое давление оказывает на абсолютно зеркальную поверхность площадью $S = 10$ см² световой поток ($\lambda = 600$ нм) из $N = 10^{18}$ фотонов, падающих каждую секунду под углом $\alpha = 30^\circ$ к поверхности.

41.11. На каком максимальном расстоянии в космосе точечный источник света ($\lambda = 500$ нм) мощностью $P = 10$ Вт будет замечен человеком, если глаз реагирует на световой поток $N = 60$ фотонов в секунду. Диаметр зрачка $d = 5,0$ мм.

41.12. Солнечные лучи в течение года приносят на Землю $W = 5,4 \cdot 10^{24}$ Дж энергии. На сколько изменилась бы масса Земли за $\tau = 100$ лет, если бы она эту энергию не излучала в пространство?

41.13. Изменится ли «жесткость» излучения рентгеновской трубки, если, не меняя анодного напряжения, изменить накал нити катода?

41.14. Под каким напряжением работает рентгеновская трубка, если минимальная длина волны в спектре рентгеновского излучения равна $\lambda = 60$ нм?

41.15. Определите красную границу фотоэффекта для калия и платины.

41.16. Произойдет ли фотоэффект, если медь облучать светом с длиной волны $\lambda = 400$ нм?

41.17. С какой максимальной скоростью вылетают электроны из цинка, если его облучать ультрафиолетовым светом ($\lambda = 320$ нм)?

41.18. Какой частоты свет следует направить на поверхность лития, чтобы максимальная скорость фотоэлектронов была равна $v = 2500$ км/с?

41.19. Серебряная пластинка освещена монохроматическим излучением с длиной волны $\lambda = 180$ нм. Определите максимальный импульс, передаваемый ее поверхности при вырывании фотоэлектрона.

41.20. Определите красную границу фотоэффекта для металла, если задерживающая разность потенциалов при облучении светом с некоторой длиной волны $\Delta\varphi_1 = 4,0$ В, а при облучении светом с длиной волны в два раза большей $\Delta\varphi_2 = 1,0$ В.

41.21. Каким светом облучали цезий, если для прекращения эмиссии электронов потребовалось приложить задерживающую разность потенциалов $\Delta\varphi_3 = 1,75$ В?

41.22. Какую задерживающую разность потенциалов надо приложить к фотоэлементу, чтобы «остановить» электроны, испускаемые

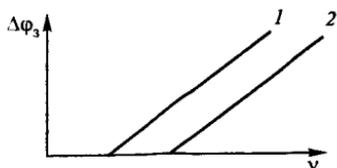


Рис. 271

вольфрамом под действием ультрафиолетовых лучей длиной волны $\lambda = 130$ нм?

41.23. У металла фотоэффект начинается при частоте света $\nu_0 = 6 \cdot 10^{14}$ Гц. Определите частоту облучения, если вылетающие с его поверхности фотоэлектроны полностью задерживаются сеткой, потенциал которой относительно металла равен

$\varphi = 3,0$ В. Постройте график зависимости задерживающего потенциала от частоты облучения.

41.24. На рис. 271 представлены зависимости задерживающей разности потенциалов от частоты облучающего света для двух различных материалов катода фотоэлемента. Какой из материалов имеет меньшую работу выхода? Почему зависимость линейная? Чему равен тангенс угла наклона линии графика?

41.25. Уединенный шарик радиусом $r = 0,50$ см осветили светом с длиной волны $\lambda_1 = 250$ нм. Сколько электронов покинет шарик, если его дополнительно осветить светом с длиной волны $\lambda_2 = 200$ нм?

41.26. Медный шарик радиусом $r = 1,0$ см облучают светом частотой $\nu = 1,5 \cdot 10^{15}$ Гц. Определите максимально возможную напряженность поля шарика.

41.27. Медный шарик, излучая фотоэлектроны, зарядился до потенциала $\varphi = 1,7$ В. Определите длину волны монохроматического излучения, которым его облучают.

41.28. Одна из медных пластин плоского конденсатора емкостью $C = 3,2$ нФ заземлена, другую облучают светом с частотой $\nu = 1,2 \cdot 10^{15}$ Гц. Определите, сколько времени потребуется, чтобы максимально зарядить конденсатор, если мощность потока излучения $P = 100$ Вт и каждый фотон вырывает электрон.

41.29. Между анодом и катодом цезиевого фотоэлемента приложена разность потенциалов $\Delta\varphi = 5,5$ В. Катод освещается монохроматическим светом с длиной волны $\lambda = 410$ нм. Определите максимальную скорость электронов, падающих на анод.

Глава XIII

АТОМНАЯ ФИЗИКА

§ 42. Строение атома

42.1. Чему равен полный заряд электронов в атоме хрома?

42.2. Полный заряд ядра атома равен $2,08 \cdot 10^{-18}$ Кл. Что это за элемент?

42.3. Пользуясь теорией Бора, определите для атома водорода радиус первой орбиты электрона и его скорость на ней.

42.4. Определите напряженность и потенциал поля ядра атома водорода на первой боровской орбите.

42.5. Вычислите силу притяжения между электроном и ядром атома водорода в основном состоянии. Во сколько раз эта сила больше силы всемирного тяготения между электроном и протоном на таком же расстоянии?

42.6. Определите потенциальную, кинетическую и полную энергию электрона, находящегося на первой орбите в атоме водорода.

42.7. Определите потенциал ионизации атома водорода.

42.8. Определите первый потенциал возбуждения атома водорода.

42.9. Фотон с энергией $E = 15,5$ эВ выбил электрон из невозбужденного атома водорода. Какую скорость будет иметь электрон вдали от ядра атома?

42.10. Какие спектральные линии появятся при возбуждении атомарного водорода электронами с энергией $E = 14$ эВ?

42.11. Какие спектральные линии появятся при возбуждении атомарного водорода электронами с энергией $E = 12,5$ эВ?

42.12. Определите минимальную длину волны в ультрафиолетовой серии водорода.

42.13. Вычислите энергию фотона, соответствующего первой линии в видимой серии водорода.

42.14. Найдите границы инфракрасной серии водорода.

§ 43. Строение ядра

43.1. Каков состав ядер атомов бериллия, углерода, натрия, олова, фермия?

43.2. Каков состав изотопов кислорода $^{16}_8\text{O}$, $^{17}_8\text{O}$?

43.3. Чем отличаются по составу ядра легкого изотопа гелия и сверхтяжелого водорода?

43.4. Определите энергию связи ядра гелия ^4_2He .

43.5. Вычислите энергию связи ядра алюминия $^{27}_{13}\text{Al}$.

43.6. Вычислите энергию, необходимую для разделения ядра лития ^7_3Li на нейтроны и протоны.

43.7. Найдите удельную энергию связи нуклонов в ядрах дейтерия ^2_1H , кислорода $^{16}_8\text{O}$ и полония $^{210}_{84}\text{Po}$.

43.8. Найдите энергию связи α -частицы в ядре бора $^{10}_5\text{B}$.

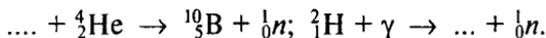
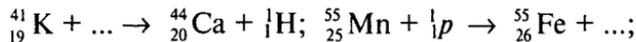
43.9. Найдите энергию связи нейтрона в ядре гелия ^4_2He .

43.10. Определите наименьшую энергию, необходимую для разделения ядра углерода $^{12}_6\text{C}$ на три одинаковые частицы.

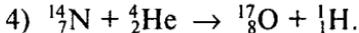
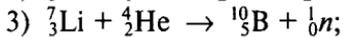
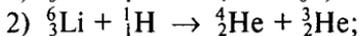
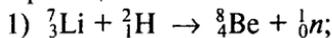
43.11. Напишите ядерную реакцию, происходящую при бомбардировке бериллия ^9_4Be α -частицами и сопровождающуюся выбиванием нейтронов.

43.12. Напишите ядерную реакцию, происходящую при бомбардировке лития ^7_3Li протонами и сопровождающуюся выбиванием нейтронов.

43.13. Напишите недостающие обозначения в следующих реакциях:



43.14. Выделяется или поглощается энергия при следующих ядерных реакциях:



43.15. Какая энергия выделяется при ядерной реакции $^7_3\text{Li} + ^1_1\text{H} \rightarrow ^4_2\text{He} + ^4_2\text{He}$?

43.16. Какая энергия выделяется при термоядерной реакции $^2_1\text{H} + ^3_1\text{H} \rightarrow ^4_2\text{He} + ^1_0\text{n}$?

ПРИЛОЖЕНИЯ

1. О приближенных вычислениях

В физике, а также технике имеют дело с физическими величинами, числовые значения которых получают в результате измерений, зависящих от точности приборов и внешних условий. Таким образом, значения физических величин, с которыми приходится иметь дело при решении физических задач, являются большей частью приближенными.

Точность результатов, полученных при решении задач, определяется точностью исходных данных. Для того чтобы грамотно получать результаты, необходимо знать следующие правила.

1. О точности значения величины (числа) судят по количеству значащих цифр. Нули являются значащими, если стоят в середине и конце числа (например, в числе 0,01020 первые два нуля — незначащие, а третий и четвертый — значащие). Если получено число 9800 с точностью до двух значащих цифр, то его записывают в виде $9,8 \cdot 10^2$. Когда имеют дело с физическими размерными величинами, степенную запись числа можно заменить, используя десятичные приставки.

2. Если приближенное значение величины содержит лишние цифры, превышающие точность результата, то его округляют, сохраняя только верные значащие цифры и пользуясь следующими правилами округления:

а) если первая после оставляемой значащей цифры больше 5, то ее увеличивают на единицу (например, округляя число 2,26 до двух значащих цифр, следует записать 2,3);

б) если первая после оставляемой значащей цифры меньше 5, то ее оставляют без изменений (например, округляя число 25,64 до трех цифр, следует записать 25,6);

в) если отбрасываемая часть числа равна 5, то округляют значащую цифру в пользу четного числа (например, 32,65 округляют до 32,6, а число 32,75 — до 32,8).

3. Проводя различные математические действия с приближенными числами, руководствуются следующими правилами:

а) промежуточные расчеты проводят с запасом в одну значащую цифру;

б) результат округляют до такого количества значащих цифр, сколько их имеет число с наименьшим их количеством. Если первая значащая цифра 1 или последняя 5, то можно оставлять на одну значащую цифру больше. Например, пусть известны значения падения напряжения на резисторе $U = 4,65$ В и сила тока через него $I = 1,2$ А. Определим сопротивление резистора: $R = U/I = 3,9$ Ом.

При расчетах десятичные кратные и дольные единицы рекомендуется подставлять только в конечный результат, а в процессе вычисления все величины выражать в единицах СИ, заменяя приставки степенями числа 10. Кроме десятичных и дольных единиц допущены к использованию кратные и дольные единицы, не являющиеся десятичными.

2. Множители и приставки для образования десятичных кратных и дольных единиц и их наименования

Множитель	Приставка	Обозначение приставки		Множитель	Приставка	Обозначение приставки	
		международное	русское			международное	русское
10^{18}	экса	E	Э	10^{-1}	деци	d	д
10^{15}	пета	P	П	10^{-2}	санти	c	с
10^{12}	тера	T	Т	10^{-3}	милли	m	м
10^9	гига	G	Г	10^{-6}	микро	μ	мк
10^6	мега	M	М	10^{-9}	нано	n	н
10^3	кило	k	к	10^{-12}	пико	p	п
10^2	гекто	h	г	10^{-15}	фемто	f	ф
10^1	дека	da	да	10^{-18}	атто	a	а

3. Некоторые внесистемные единицы

$$1 \text{ год} = 3,11 \cdot 10^7 \text{ с}$$

$$1 \text{ атм} = 760 \text{ мм рт. ст.} = 101,3 \text{ кПа}$$

$$1 \text{ мм рт. ст.} = 133,3 \text{ Па}$$

$$1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ м}$$

$$1 \text{ эВ} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$$

$$1 \text{ а. е. м.} = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ кг} = 931,4 \text{ МэВ}$$

4. Таблица значений синусов и тангенсов

Угол, град	sin	tg	Угол, град	sin	tg	Угол, град	sin	tg
1	0,0175	0,0175	31	0,5150	0,6009	61	0,8746	1,8040
2	0,0349	0,0349	32	0,5299	0,6249	62	0,8829	1,8807
3	0,0523	0,0524	33	0,5446	0,6494	63	0,8910	1,9626
4	0,0698	0,0699	34	0,5592	0,6745	64	0,8988	2,0503
5	0,0872	0,0875	35	0,5736	0,7002	65	0,9063	2,145
6	0,1045	0,1051	36	0,5878	0,7265	66	0,9135	2,2460
7	0,1219	0,1228	37	0,6018	0,7536	67	0,9205	2,3559
8	0,1392	0,1405	38	0,6157	0,7813	68	0,9272	2,4751
9	0,1564	0,1584	39	0,6293	0,8098	69	0,9336	2,6051
10	0,1736	0,1763	40	0,6428	0,8391	70	0,9397	2,7475
11	0,1908	0,1944	41	0,6561	0,8693	71	0,9455	2,9042
12	0,2079	0,2126	42	0,6691	0,9004	72	0,9511	3,0777
13	0,2250	0,2309	43	0,6820	0,9325	73	0,9563	3,2709
14	0,2419	0,2493	44	0,6947	0,9657	74	0,9613	3,4874
15	0,2588	0,2679	45	0,7071	1,0000	75	0,9659	3,7321
16	0,2756	0,2867	46	0,7193	1,0355	76	0,9703	4,0108
17	0,2924	0,3057	47	0,7314	1,0724	77	0,9744	4,3315
18	0,3090	0,3249	48	0,7431	1,1106	78	0,9781	4,7046
19	0,3256	0,3443	49	0,7547	1,1504	79	0,9816	5,1446
20	0,3420	0,3640	50	0,7660	1,1918	80	0,9848	5,6713
21	0,3584	0,3839	51	0,7771	1,2349	81	0,9877	6,3138
22	0,3746	0,4040	52	0,7880	1,2799	82	0,9903	7,1154
23	0,3907	0,4245	53	0,7986	1,3270	83	0,9925	8,1443
24	0,4067	0,4452	54	0,8090	1,3764	84	0,9945	9,5144
25	0,4226	0,4663	55	0,8192	1,4281	85	0,9962	11,4301
26	0,4384	0,4877	56	0,8290	1,4826	86	0,9976	14,3007
27	0,4540	0,5095	57	0,8387	1,5399	87	0,9986	19,0811
28	0,4695	0,5317	58	0,8480	1,6003	88	0,9994	28,6363
29	0,4848	0,5543	59	0,8572	1,6643	89	0,9998	57,2900
30	0,5000	0,5774	60	0,8660	1,7321	90	1,0000	∞

5. Основные тригонометрические формулы

$$\sin^2\alpha + \cos^2\alpha = 1$$

$$\sec^2\alpha - \operatorname{tg}^2\alpha = 1$$

$$\operatorname{cosec}^2\alpha - \operatorname{ctg}^2\alpha = 1$$

$$\sin\alpha \operatorname{cosec}\alpha = 1$$

$$\cos\alpha \sec\alpha = 1$$

$$\operatorname{tg}\alpha \operatorname{ctg}\alpha = 1$$

$$\sin\alpha = \frac{1}{\pm\sqrt{1 + \operatorname{ctg}^2\alpha}}$$

$$\cos\alpha = \frac{1}{\pm\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2\alpha}}$$

$$\sin 2\alpha = 2 \sin\alpha \cos\alpha$$

$$\cos 2\alpha = \cos^2\alpha - \sin^2\alpha$$

$$\operatorname{tg} 2\alpha = \frac{2 \operatorname{tg}\alpha}{1 - \operatorname{tg}^2\alpha}$$

$$\operatorname{ctg} 2\alpha = \frac{\operatorname{ctg}^2\alpha - 1}{2 \operatorname{ctg}\alpha}$$

$$\sin \frac{\alpha}{2} = \pm \sqrt{\frac{1 - \cos\alpha}{2}}$$

$$\cos \frac{\alpha}{2} = \pm \sqrt{\frac{1 + \cos\alpha}{2}}$$

$$\sin(\alpha \pm \beta) = \sin\alpha \cos\beta \pm \cos\alpha \sin\beta$$

$$\cos(\alpha \pm \beta) = \cos\alpha \cos\beta \mp \sin\alpha \sin\beta$$

$$\operatorname{tg}(\alpha \pm \beta) = \frac{\operatorname{tg}\alpha \pm \operatorname{tg}\beta}{1 \mp \operatorname{tg}\alpha \operatorname{tg}\beta}$$

$$\operatorname{ctg}(\alpha \pm \beta) = \frac{\operatorname{ctg}\alpha \operatorname{ctg}\beta \mp 1}{\operatorname{ctg}\beta \pm \operatorname{ctg}\alpha}$$

$$\sin\alpha + \sin\beta = 2 \sin \frac{\alpha + \beta}{2} \cos \frac{\alpha - \beta}{2}$$

$$\sin\alpha - \sin\beta = 2 \cos \frac{\alpha + \beta}{2} \sin \frac{\alpha - \beta}{2}$$

$$\cos\alpha + \cos\beta = 2 \cos \frac{\alpha + \beta}{2} \cos \frac{\alpha - \beta}{2}$$

$$\cos\alpha - \cos\beta = -2 \sin \frac{\alpha + \beta}{2} \sin \frac{\alpha - \beta}{2}$$

$$\operatorname{tg}\alpha \pm \operatorname{tg}\beta = \frac{\sin(\alpha \pm \beta)}{\cos\alpha \cos\beta}$$

$$\operatorname{ctg}\alpha \pm \operatorname{ctg}\beta = \pm \frac{\sin(\alpha \pm \beta)}{\sin\alpha \sin\beta}$$

$$2 \sin\alpha \sin\beta = \cos(\alpha - \beta) - \cos(\alpha + \beta)$$

$$2 \cos\alpha \cos\beta = \cos(\alpha - \beta) + \cos(\alpha + \beta)$$

$$2 \sin\alpha \cos\beta = \sin(\alpha - \beta) + \sin(\alpha + \beta)$$

6. Плотность вещества

Твердое тело	$\rho \cdot 10^3, \text{ кг/м}^3$	Жидкость	$\rho \cdot 10^3, \text{ кг/м}^3$	Газ (при нормальных условиях)	$\rho, \text{ кг/м}^3$
Алмаз	3,5	Ацетон	0,79	Азот	1,25
Алюминий	2,7	Бензин	0,80	Водород	0,09
Дерево	0,60	Вода	1,00	Воздух	1,29
Железо	7,8	Глицерин	1,26	Кислород	1,43
Золото	19,3	Масло	0,90	Углекислый газ	1,98
Лед	0,9	Керосин	0,80		

Твердое тело	$\rho \cdot 10^3, \text{ кг/м}^3$	Жидкость	$\rho \cdot 10^3, \text{ кг/м}^3$	Газ (при нормальных условиях)	$\rho, \text{ кг/м}^3$
Медь	8,9	Ртуть	13,6		
Никель	8,9				
Олово	7,4				
Пробка	0,25				
Свинец	11,3				
Серебро	10,5				
Сталь	7,8				
Стекло	2,5				
Цинк	7,0				
Чугун	7,8				

7. Коэффициент теплового расширения вещества

Твердое тело	Коэффициент линейного расширения $\alpha \cdot 10^{-5}, \text{ К}^{-1}$	Жидкость	Коэффициент объемного расширения $\beta \cdot 10^{-3}, \text{ К}^{-3}$
Алюминий	2,4	Глицерин	0,5
Железо	1,2	Керосин	1,0
Кварц	0,04	Ртуть	0,18
Медь	1,7	Спирт	1,1
Сталь	1,1		
Стекло	0,9		
Цинк	2,9		

8. Модуль упругости

Материал	$E, \text{ ГПа}$
Алюминий	70
Железо	200
Медь.	130
Свинец	16
Сталь	210
Стекло.	60

9. Давление насыщенных паров воды

Температура, °С	Давление, кПа	Температура, °С	Давление, кПа	Температура, °С	Давление, 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

10. Удельная теплоемкость вещества

Вещество	$c \cdot 10^3$, Дж/(кг · К)	Вещество	$c \cdot 10^3$, Дж/(кг · 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

11. Удельная теплота и температура плавления вещества

Вещество	$\lambda \cdot 10^3$, Дж/кг	t , °С
Лед	333	0
Медь	175	1 083
Свинец	25	327

12. Удельная теплота парообразования и температура кипения вещества

Вещество	$r \cdot 10^6$, Дж/кг	t , °С (при нормальном давлении)
Азот	0,20	-196
Вода	2,3	100
Ртуть	0,28	357
Спирт	0,85	78

13. Удельная теплота сгорания вещества

Вещество	$q \cdot 10^6$, Дж/кг	Вещество	$q \cdot 10^6$, Дж/кг
Бензин	46	Порох	3,8
Газ	46	Спирт	29
Нефть	46	Дизельное топливо	46

14. Диэлектрическая проницаемость вещества

Вещество	ϵ	Вещество	ϵ
Вода	81	Парафин	2,0
Воск	3,0	Плексиглас	3,5
Гетинакс	5,0	Слюда	7,0
Кварц	4,5	Стекло	7,0
Керосин	2,0	Фарфор	6,0
Масло	2,0	Эбонит	3,0

15. Удельное сопротивление вещества

Вещество	Удельное сопротивление $\rho \cdot 10^{-8}$, Ом · м	Температурный коэффициент $\alpha \cdot 10^{-3}$, К ⁻¹
Вольфрам	5,3	4,6
Железо	8,7	6,2
Константан	50	0,01
Медь	1,7	4,3
Нихром	110	0,4
Свинец	21	4,2
Сталь	15	6,0
Уголь	400	0,8

16. Показатели преломления

Вещество	n	Вещество	n
Алмаз	2,42	Спирт	1,36
Вода	1,33	Стекло	1,5
Кварц	1,54	Флинтглас	1,8
Масло	1,52		

17. Работа выхода электрона из металлов

Металл	A , эВ	Металл	A , 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

18. Масса некоторых нуклидов*

Изотоп	Масса нейтрального атома, а. е. м.	Изотоп	Масса нейтрального атома, а. е. м.
^1_1H Водород	1,00783	^8_4Be Бериллий	8,00531
^2_1H Дейтерий	2,01410	$^{10}_5\text{B}$ Бор	10,01294
^3_1H Тритий	3,01605	$^{12}_6\text{C}$ Углерод	12,00000
^3_2H Гелий	3,01602	$^{14}_7\text{N}$ Азот	14,00307
^4_2H Гелий	4,00260	$^{16}_8\text{O}$ Кислород	15,99491
^6_3Li Литий	6,01513	$^{17}_8\text{O}$ Кислород	16,99913
$^7_{31}\text{Li}$ Литий	7,01601	$^{27}_{13}\text{Al}$ Алюминий	26,98146
		$^{210}_{84}\text{Po}$ Полоний	209,98297

*Для нахождения массы ядра необходимо вычесть суммарную массу электронов.

19. Астрономические величины

Космическое тело	Средний радиус, м	Масса, кг	Средняя плотность $\rho \cdot 10^3$, кг/м ³	Период обращения вокруг оси, сут
Солнце	$6,95 \cdot 10^8$	$1,97 \cdot 10^{30}$	1,41	25,4
Земля	$6,37 \cdot 10^6$	$5,96 \cdot 10^{24}$	5,52	1,00
Луна	$1,74 \cdot 10^6$	$7,30 \cdot 10^{22}$	3,30	27,3

Планеты Солнечной системы	Среднее расстояние от Солнца $s \cdot 10^6$, км	Период обращения вокруг Солнца, лет
Меркурий	57,87	0,241
Венера	108,14	0,615
Земля	149,50	1,000
Марс	227,79	1,881

Планеты Солнечной системы	Среднее расстояние от Солнца $s \cdot 10^6$, км	Период обращения вокруг Солнца, лет
Юпитер	777,8	11,862
Сатурн	1426,1	29,458
Уран	2867,7	84,013
Нептун	4494	164,79
Плутон	5890	248,43

20. Основные физические постоянные

Физическая постоянная	Обозначение	Числовое значение
Скорость света в вакууме	c	$2,998 \cdot 10^8$ м/с
Гравитационная постоянная	G	$6,67 \cdot 10^{-11}$ Н \cdot м ² /кг ²
Постоянная Авогадро	N_A	$6,02 \cdot 10^{23}$ моль ⁻¹
Молярная (универсальная) газовая постоянная	R	8,31 Дж/(К \cdot моль)
Постоянная Больцмана	k	$1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К
Постоянная Фарадея	F	$9,65 \cdot 10^4$ Кл/моль
Элементарный заряд	e	$1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл
Масса электрона	m_e	$9,11 \cdot 10^{-31}$ кг
Масса протона	m_p	$1,672 \cdot 10^{-27}$ кг
Масса нейтрона	m_n	$1,675 \cdot 10^{-27}$ кг
Удельный заряд электрона	e/m_e	$1,76 \cdot 10^{11}$ Кл/кг
Атомная единица массы ($1/_{12}$ массы атома нуклида ¹² C)	1 а. е. м.	$1,66 \cdot 10^{-27}$ кг
Электрическая постоянная	ϵ_0	$8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м
Магнитная постоянная	μ_0	$1,26 \cdot 10^{-6}$ Гн/м
Постоянная Планка	h	$6,62 \cdot 10^{-34}$ Дж \cdot с
	$\hbar = h/2\pi$	$1,054 \cdot 10^{-34}$ Дж \cdot с

21. Периодическая система

Периоды	I		II		III		IV		V	
	<i>a</i>	<i>б</i>	<i>a</i>	<i>б</i>	<i>a</i>	<i>б</i>	<i>a</i>	<i>б</i>	<i>a</i>	<i>б</i>
1	1 H									
2	3 Li 6,94 литий		4 Be 9,01218 бериллий		5 B 10,81 бор		6 C 12,011 углерод		7 N 14,0067 азот	
3	11 Na 22,98977 натрий		12 Mg 24,305 магний		13 Al 26,98154 алюминий		14 Si 28,085 кремний		15 P 30,97376 фосфор	
4	19 K 39,098 калий		20 Ca 40,08 кальций		21 Sc 44,9559 скандий		22 Ti 47,90 титан		23 V 50,9415 ванадий	
	29 Cu 63,54 медь		30 Zn 65,38 цинк		31 Ga 69,72 галлий		32 Ge 72,5 германий		33 As 74,9216 мышьяк	
5	37 Rb 85,467 рубидий		38 Sr 87,62 стронций		39 Y 88,9059 иттрий		40 Zr 91,22 цирконий		41 Nb 92,9064 ниобий	
	47 Ag 107,868 серебро		48 Cd 112,41 кадмий		49 In 114,82 индий		50 Sn 118,6 олово		51 Sb 121,7 сурьма	
6	55 Cs 132,9054 цезий		56 Ba 137,33 барий		57 La* 138,905 лантан		72 Hf 178,4 гафний		73 Ta 180,947 тантал	
	79 Au 196,9665 золото		80 Hg 200,5 ртуть		81 Tl 204,3 таллий		82 Pb 207,2 свинец		83 Bi 208,9804 висмут	
7	87 Fr [223] франций		88 Ra [226] радий		89 As** [227] актиний		104 (Ku) [261] куратовий		105 (Ns) [261] (нильсборий)	

* ЛАНТАНОИДЫ

58 Ce 140,12 церий	59 Pr 140,9077 празеодим	60 Nd 144,2 неодим	61 Pm [145] прометий	62 Sm 150,4 самарий	63 Eu 151,96 европий	64 Gd 157,2 гадолиний
--------------------------	--------------------------------	--------------------------	----------------------------	---------------------------	----------------------------	-----------------------------

** АКТИНОИДЫ

90 Th 232,0381 торий	91 Pa [231] протактиний	92 U 238,02 уран	93 Np [237] нептуний	94 Pu [244] плутоний	95 Am [243] америций	96 Cm [247] кюрий
----------------------------	-------------------------------	------------------------	----------------------------	----------------------------	----------------------------	-------------------------

элементов Д.И. Менделеева

VI		VII		VIII		
а	б	а	б	а	б	
		1 Н 1,0079 водород		2 He 4,00260 гелий		
8 O 15,999 кислород		9 F 18,99840 фтор		10 Ne 20,17 неон		
16 S 32,06 сера		17 Cl 35,453 хлор		18 Ar 39,94 аргон		
	24 Cr 51,996 хром		25 Mn 54,9380 марганец	26 Fe 55,84 железо	27 Co 58,9332 кобальт	28 Ni 58,70 никель
34 Se 78,9 селен		35 Br 79,904 бром		36 Kr 83,80 криптон		
	42 Mo 95,94 молибден		43 Tc [97] технеций	44 Ru 101,07 рутений	45 Rh 102,9055 родий	46 Pd 106,4 палладий
52 Te 127,6 теллур		53 I 126,9045 йод		54 Xe 131,30 ксенон		
	74 W 183,85 вольфрам		75 Re 186,207 рений	76 Os 190,2 осмий	77 Ir 192,2 иридий	78 Pt 195,07 платина
84 Po [209] полоний		85 At [210] астат		86 Rn [222] радон		
	106 E-W [263]					

65 Tb 158,9254 тербий	66 Dy 162,5 диспрозий	67 Ho 164,9304 гольмий	68 Er 167,2 эрбий	69 Tm 168,9342 тулий	70 Yb 173,04 иттербий	71 Lu 174,97 лютеций
-----------------------------	-----------------------------	------------------------------	-------------------------	----------------------------	-----------------------------	----------------------------

97 Bk [247] берклий	98 Cf [251] калифорний	99 Es [254] эйнштейний	100 Fm [257] фермий	101 Md [258] менделеевий	102 (No) [259] (нобелий)	103 (Lr) [260] (лоуренсий)
---------------------------	------------------------------	------------------------------	---------------------------	--------------------------------	--------------------------------	----------------------------------

22. Обозначения и названия единиц физических величин

A — ампер

Å — ангстрем

a. e. m. — атомная единица массы

B — вольт

Bб — вебер

Bт — ватт

Гн — генри

г — грамм

Гц — герц

Дж — джоуль

дптр — диоптрия

K — кельвин

кд — кандела

Кл — кулон

л — литр

лк — люкс

лм — люмен

м — метр

мин — минута

Ом — ом

Н — ньютон

Па — паскаль

рад — радиан

с — секунда

ср — стерadian

Тл — тесла

Ф — фарад

ч — час

эВ — электрон-вольт

Алфавит латинский			Алфавит греческий		
Прописные	Строчные	Название	Прописные	Строчные	Название
A	a	а	Α	α	альфа
B	b	бе	Β	β	бета
C	c	це	Γ	γ	гамма
D	d	де	Δ	δ	дельта
E	e	е	Ε	ε	эпсилон
F	f	эф	Z	ζ	дзета
G	g	ге	Η	η	эта
H	h	га	Θ	θ	тета
I	i	и	Ι	ι	иота
J	j	йот	Κ	κ	каппа
K	k	ка	Λ	λ	ламбда
L	l	эль	Μ	μ	ми
M	m	эм	Ν	ν	ни
N	n	эн	Ξ	ξ	кси
O	o	о	Ο	ο	омикром
P	p	пе	Π	π	пи
Q	q	ку	Ρ	ρ	ро
R	r	эр	Σ	σ	сигма
S	s	эс	Τ	τ	тау
T	t	те	Υ	υ	ипсилон
U	u	у	Φ	φ	фи
V	v	ве	Χ	χ	хи
X	x	икс	Ψ	ψ	пси
Y	y	ипсилон	Ω	ω	омега
Z	z	зета			

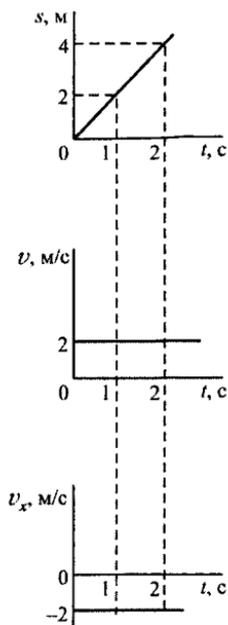
ОТВЕТЫ

Введение

1. $c = a + b$; $|c| = 9,0$.
2. 1) $5a$; 2) a ; 3) $-a$.
4. Угол α между векторами равен: 1) 180° ; 2) 0° ; 3) 120° .
5. $|c| = 4,4$; $\beta = 23^\circ$.
6. $|c| = 8,7$; $\beta = 37^\circ$.
7. $|c| = 8,7$; $\beta = 217^\circ$.
8. $|d| = 6,0$.
9. $|r| = 7,1$; $\alpha = 45^\circ$.
10. $r_x = 5,2$; $r_y = 3,0$.
11. $|b| = 4,0$; $\beta = 60^\circ$.
12. $|c_1| = 1,7$; $\beta_1 = 240^\circ$; $|c_2| = 3,5$; $\beta_2 = 300^\circ$.
13. $|M_1M_2| = 5,0$.
14. $|c| = 10$; $\alpha = 53^\circ$.
15. $|c_1| = 5,8$; $|c_2| = 7,1$.
17. $|c| = 2,6$; $|d| = 1,7$.
18. $c = a_x b_x + a_y b_y = 15$.
19. $c_1 = -4,0$; $c_2 = 20$.
20. $|c|(\alpha) = |a| \cdot |b| \cdot \sin \alpha$.
21. $|c_1| = |c_2| = 1,7$; направлены перпендикулярно плоскости чертежа в противоположные стороны.
22. $|c_1| = 5,0$; $|c_2| = 6,0$.
26. $x = 2,0$ см.
27. $|c| = 6,0$; $x = 4,0$ см от большего вектора.

Глава I

- 1.1. 1) Прямая; 2) окружность.
- 1.2. 1) Да; 2) нет.
- 1.3. 1) $C = 0$; 2) $B > 0$, $C = 0$; 3) $B < 0$, $C = 0$.
- 1.4. Точка движется равномерно со скоростью $v = 5$ м/с вдоль положительного направления оси x . Начальная координата $x_0 = 3$ м.
- 1.5. $x = 4 - 2t$. Точка движется равномерно со скоростью $v = 2$ м/с против оси x . Начальная координата $x_0 = 4$ м (рис. 272).



Р и с. 272

1.6. Точка 2 движется с большей скоростью. Точки встретились через 4 с после начала движения. Координата встречи $x = 3$ м; $s_1 = 3$ м; $s_2 = 6$ м.

1.7. $x_1 = 4 + 0,5t$; $x_2 = 3(t - \tau)$, где $\tau = 2$ с. Точки движутся равномерно в положительном направлении оси x из начала координат. Точка 2 начала двигаться позже, но с большей скоростью и в момент $t = 4$ с догнала точку 1. $t_1 = 2,4$ с, $t_2 = 5,6$ с.

1.8. $x = 6$ м, $t = 3$ с.

1.9. $x = x_0 - v_0 \cos \alpha \cdot t$, $y = y_0 - v_0 \sin \alpha \cdot t$;

$$y = y_0 + x_0 \operatorname{tg} \alpha - x \operatorname{tg} \alpha.$$

1.10. $y = (0,2 + 4x)$, м.

1.11. $s_2 = 2$ м; $s_4 = 4$ м; $s_8 = 4$ м.

1.12. $v = \frac{s - s_1}{t - (t_1 + t_2)} = 80$ см/с.

1.13. $t = 6,0$ с; $s = 6,0$ м.

1.14. $v_{\text{cp}} = 0$; $v_{\text{cp}}^s = 1,5$ м/с.

1.15. $v_{\text{нод}} = 50$ см/с; $v_{\text{вн}} = 3,0$ м/с; $s = 55$ м;

$$v_{\text{cp}} = -7,1 \text{ см/с.}$$

1.16. $v = 2v_1v_2 / (v_1 + v_2) = 48$ км/ч.

1.17. $v = (v_1 + v_2) / 2 = 50$ км/ч.

1.18. $v_1 = (n+1)v_{\text{cp}} / 2 = 6,0$ км/ч;

$$v_2 = (n+1)v_{\text{cp}} / 2n = 3,0 \text{ км/ч.}$$

1.19. $u = v\sqrt{1-n} = 60$ см/с.

1.20. $v_{\text{cp}} = 25$ м/с, $\beta = 83^\circ$ к заданному направлению. $v_{\text{cp}}^s = \frac{v_1 + v_2}{2} = 35$ м/с.

1.21. $v_{\text{cp}}^s = \frac{3vs}{s + 2vt} = 6,0$ м/с.

1.22. $v_{\text{cp}}^s = \frac{3v_1v_2}{2(v_1 + v_2)} = 56$ км/ч.

1.23. $t = l / (v_1 + v_2) = 1,0$ ч; $s = v_1l / (v_1 + v_2) = 70$ км; $s_{\text{отн}} = l = 120$ км.

1.24. $t = l / (v_1 - v_2) = 18$ мин; $s_1 = v_1l / (v_1 - v_2) = 4,5$ км; $s_2 = v_2l / (v_1 - v_2) = 1,5$ км.

1.25. $\tau = (l + v_1\tau_1 + v_2\tau_2) / (v_1 + v_2) = 10$ ч 30 мин;

$$s_1 = \frac{[l + v_2(\tau_2 - \tau_1)]v_1}{v_1 + v_2} = 60 \text{ км, } s_2 = l - s_1 = 60 \text{ км.}$$

1.26. На расстоянии $s = (lt_2 + v_1t_1t_0) / (t_1 + t_2) = 8,8$ км от пункта А.

1.27. $t = l / (v_1 + v_2) = 30$ с.

1.28. $v_{\text{отн}} = v_1(t_1 - t_2) / t_2 = 15$ км/ч.

1.29. $t = t_1t_2 / (t_2 + t_1) = 45$ с.

1.30. $t = 2t_1t_2 / (t_2 - t_1) = 12$ ч; $u_p = l(t_2 - t_1) / 2t_1t_2 = 5,0$ км/ч;

$$v_T = l(t_1 + t_2) / 2t_1t_2 = 15 \text{ км/ч.}$$

1.31. $d = vt \sin \alpha = 35 \text{ м.}$

1.32. $v = v_1 L / l = 800 \text{ м/с.}$

1.33. $s = v_1 l / \sqrt{v_2^2 - v_1^2} = 1,2 \text{ м.}$

1.34. $v = \sqrt{v_1^2 + v_2^2} = 50 \text{ км/ч.}$

1.35. $v = u \operatorname{ctg} \alpha = 17 \text{ м/с.}$

1.36. $\beta = 180^\circ - \operatorname{arctg} \frac{u}{v} = 135^\circ$ с направлением движения поезда.

1.37. $u = 5,0 \text{ м/с;}$ дует с запада.

1.38. $v = \sqrt{v_1^2 + u^2} - 2v_1u \cos 45^\circ = 30 \text{ км/ч;}$ на юго-восток.

1.39. $t = 2s / \sqrt{v_1^2 - u^2} = 51 \text{ мин.}$

1.40. $u = 30 \text{ км/ч;}$ дует с северо-запада.

1.41. $v = \sqrt{u^2 + (l/t)^2} = 51 \text{ м/с;}$ $\beta = \operatorname{arctg}(ut/l) = 39^\circ.$

1.42. $v = v_0/2.$

1.43. $u = v_0/\sin \alpha.$

1.44. $u = v/\cos \alpha = 3,2 \text{ м/с.}$

1.45. $v_B = v_A \operatorname{tg} \alpha.$

2.1. 1) v и a направлены вдоль одной прямой; 2) направления v и a не совпадают.

2.2. 1) $a = 0$; 2) $a = 0$, если траектория прямая; $a = a_n$, если траектория кривая, где a_n — нормальное ускорение точки.

2.3. Точка движется равноускоренно с ускорением $a = 4 \text{ м/с}^2$ вдоль положительного направления оси x . Начальная координата $x_0 = -2 \text{ м.}$

2.8. $v_1 = v_2, v_3 = 0$ (рис. 273).

2.9. Рис. 274.

2.10. Рис. 275.

2.11. $\frac{\Delta x_1}{\Delta x_2} = 3.$

2.12. Первое, второе, четвертое, седьмое.

2.13. Точка пересечения на рис. 26 указывает координату и время места встречи. Точка пересечения на рис. 27 определяет значение скорости и время ее достижения обоими телами.

2.14. 1) $v_{cp} = 50 \text{ см/с;}$ 2) $v_{cp} = -90 \text{ см/с.}$

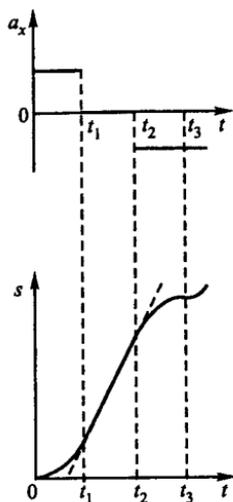
2.15. $v_x = 3 - 4t$; $x_0 = -1 \text{ м;}$ в моменты времени $t_1 = 0,5 \text{ с}$ и $t_2 = 1 \text{ с.}$

2.16. $x = x_0 - \frac{v_0^2}{2a} = -16 \text{ м.}$

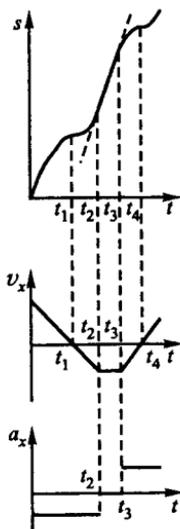
2.17. $a = 2A / \sin \alpha = 4,0 \text{ м/с}^2$; $v = 2At / \sin \alpha = 20 \text{ м/с;}$ $y = At^2 = 25 \text{ м;}$
 $x = At^2 \operatorname{ctg} \alpha = 43 \text{ м.}$

2.18. $v_{cp} = -2,0 \text{ м/с;}$ $s = 10 \text{ м.}$

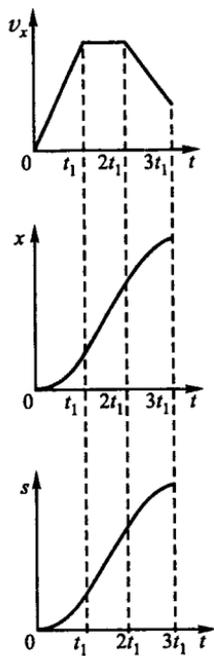
2.19. $v = \sqrt{2as} = 6,0 \text{ м/с;}$ $v_{cp} = \sqrt{as/2} = 3,0 \text{ м/с.}$



Р и с. 273



Р и с. 274



Р и с. 275

2.21. $a = -1,0 \text{ м/с}^2$; $v_{\text{cp}} = (v_1 + v_2) / 2 = 7,5 \text{ м/с}$.

2.22. $t = s / v = 4,0 \text{ с}$; $a = 2v^2 / s \cos \alpha = 2,5 \text{ м/с}^2$; $v_{\text{cp}1} / v_{\text{cp}2} = \cos \alpha = 1 / 2$.

2.23. $t = (3 + \sqrt{6})\tau = 11 \text{ с}$.

2.24. $s_4 = v_0 t_1 - a t_1^2 / 2 = 24 \text{ м}$; $s_8 = \frac{v_0^2}{2a} + \frac{a(t_2 - v_0/a)^2}{2} = 34 \text{ м}$.

2.25. $a = 1,0 \text{ м/с}^2$; $s_{10} = 50 \text{ м}$; $s_{10} - s_9 = 9,5 \text{ м}$.

2.26. $a = 2s/\tau(2t_1 - \tau) = 4,0 \text{ м/с}^2$; $s_{15} - s_{14} = s(2t_2 - \tau) / (2t_1 - \tau) = 58 \text{ м}$, где $t_1 = 8 \text{ с}$;

$t_2 = 15 \text{ с}$; $\tau = 1 \text{ с}$.

2.27. $\Delta s = a\tau^2$.

2.28. Нет.

2.29. $t = \frac{s}{a\tau} + \frac{\tau}{2} = 40 \text{ с}$.

2.30. $s = 8v_1^2 v_2^2 / a(v_1 + v_2)^2 = 4,4 \text{ км}$.

2.31. $v_3 = 2v = 2,5 \text{ м/с}$.

2.32. $s = vt - at^2 / 2 = 25,5 \text{ м}$.

2.33. $t = (2v\tau + v_1 t_1) / 2(v_1 - v) = 7,0 \text{ мин}$.

2.34. $v_{\text{max}} = \frac{2v_{\text{cp}}s}{2s - v_{\text{cp}}(t_1 + t_3)} = 20 \text{ м/с}$.

2.35. $\Delta h = 9,8$ м.

2.36. $h_1 = 30$ м; $h_2 = 90$ м; $h_3 = 150$ м.

2.37. $v_{\text{сп}} = \sqrt{gh/2} = 9,9$ м/с.

2.38. $h = 3v_0^2/8g = 3,8$ м.

2.39. $v_{\text{сп}} = \sqrt{gh}/2(\sqrt{2}-1) = 0,11$ км/с.

2.40. $h = (1-\eta)gt_1t_2 + \frac{gt_2^2}{2} = 6,9$ м, где $t_2 = 1,0$ с.

2.41. $s = 2h + \frac{g}{2} \left(t - 2\sqrt{\frac{2h}{g}} \right)^2 = 61$ м; $v_{\text{сп}} = \frac{g}{2t} \left(t - 2\sqrt{\frac{2h}{g}} \right)^2 = 1,8$ м/с.

2.42. $v_{\text{сп}} = v_0 - \frac{gt}{2} = 4,4$ м/с; $s = \frac{v_0^2}{g} - v_0t + \frac{gt^2}{2} = 41$ м.

2.43. $t = \frac{h}{g\tau} + \frac{\tau}{2} = 7,0$ с; $H = \frac{g}{2} \left(\frac{h}{g\tau} + \frac{\tau}{2} \right)^2 = 0,24$ км.

2.44. h находится из уравнения $\sqrt{2h/g} + h/v = t$; $h = 0,15$ км.

2.45. $v_0 = \sqrt{2gh + g^2\tau^2/4} = 5,3$ м/с; $t = \sqrt{8gh + g^2\tau^2}/2g = 0,54$ с.

2.46. $\tau = \frac{2v_0}{g} (1 - \sqrt{1 - h/H}) = 1,2$ с.

2.47. $h = \frac{3v^2}{8g} = 1,4$ м.

2.48. $t = l/v = 0,50$ с.

2.49. $l_1 = (v_1 + v_2)\tau_1 = 70$ м, $l_2 = h + v_1\tau_2 - g\tau_2^2/2 = 0,36$ км. Указание. Время падения второго осколка меньше τ_2 .

2.50. $\Delta h = \frac{g\tau}{2}(2t - \tau)$; $\Delta h_1 = 15$ м; $\Delta h_2 = 34$ м.

2.51. $t_1 = \sqrt{2h/g} = 7,0$ с; $t_2 = (-v_0 + \sqrt{v_0^2 + 2gh})/g = 6,5$ с;

$t_3 = (v_0 + \sqrt{v_0^2 + 2gh})/g = 7,5$ с. С ускорением g .

3.1. 1) Да; 2) нет; 3) нет.

3.2. 1) окружность; 2) прямая; 3) спираль.

3.3. $y = \frac{B}{A}x + \frac{C}{A^2}x^2$; $v = \sqrt{A^2 + (B + 2Ct)^2}$; $a = 2C$; $\beta = \arctg [A / (B + 2Ct)]$.

3.4. Рис. 276.

3.5.1) $y = gx^2/2v_0^2$; 2) $v = \sqrt{v_0^2 + g^2t^2}$; 3) $\alpha = \arctg (gt/v_0)$; 4) $\beta = \arctg (v_0/gt)$.

3.9. $y = gx^2/2v_0^2$; $v_0 = s\sqrt{g/2H} = 9,8$ м/с; $v = \sqrt{\frac{g}{2H}(s^2 + 2H^2)} = 14$ м/с.

3.10. $v = 49$ м/с; $\alpha = 37^\circ$ к горизонту.

3.11. $v = \sqrt{v_0^2 + 2gH} = 12$ м/с; $\alpha = \arctg \left(\frac{\sqrt{2gH}}{v_0} \right) = 56^\circ$.

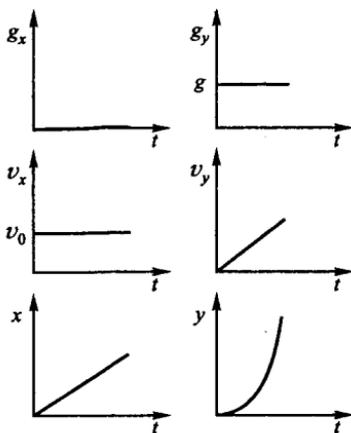


Рис. 276

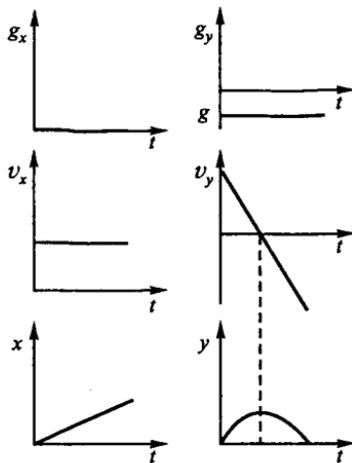


Рис. 277

3.12. $v_0 = l/t = 20 \text{ м/с}$; $v = \sqrt{l^2 + g^2 t^4} / t = 36 \text{ м/с}$; $\alpha = \text{arctg} \sqrt{l^2 + g^2 t^4} / l = 61^\circ$.

3.13. $t = v_0/g = 2,0 \text{ с}$.

3.14. $t = v_0/2g = 0,5 \text{ с}$; $x = v_0^2/2g = 4,9 \text{ м}$; $y = v_0^2/8g = 1,2 \text{ м}$.

3.15. $x = v_0^2 \sqrt{3} / g = 71 \text{ м}$; $y = 3v_0^2 / 2g = 61 \text{ м}$.

3.16. $h = 2v_0^2 / g = 4,9 \text{ м}$; $\alpha = \text{arctg} 2 = 64^\circ$.

3.17. $h = H - v^2 \text{tg}^2 \alpha / 2g = 93 \text{ м}$.

3.18. $\Delta H = gs^2(v_2^2 - v_1^2) / 2v_1^2 v_2^2 = 1,9 \text{ см}$.

3.19. $v_0 = \sqrt{gs \cos \alpha / 2 \text{tg} \alpha} = 10 \text{ м/с}$.

3.20. $l = (v - u) \sqrt{2H/g} = 0,77 \text{ км}$.

3.21. $n = 2v_0^2 h / gb^2 = 3$.

3.22. $s = (v_1 + v_2) \sqrt{v_1 v_2} / g = 0,41 \text{ км}$.

3.23. Рис. 277.

3.24. $y = x \text{tg} \alpha - gx^2 / 2v_0^2 \cos^2 \alpha$.

3.25. 1) $v = \sqrt{v_0^2 - 2v_0 \sin \alpha \cdot gt + g^2 t^2}$; 2) $t = 2v_0 \sin \alpha / g$;

3) $\varphi = \text{arctg} (\text{tg} \alpha - gt / v_0 \cos \alpha)$; 4) $\beta = \text{arctg} (\text{tg} \alpha - gt / v_0 \cos \alpha)$;

5) $H = v_0^2 \sin^2 \alpha / 2g$; 6) $s = v_0^2 \sin 2\alpha / g$.

3.26. 1), 3) $g_t = g \sin \alpha$, $g_n = g \cos \alpha$, $R = \frac{v_0^2}{g \cos \alpha}$; 2) $g_t = 0$, $g_n = g$, $R = \frac{v_0^2 \cos^2 \alpha}{g}$.

3.27. $H_1 / H_2 = \text{tg}^2 \alpha$; $s_1 / s_2 = 1$.

3.28. $t = (v_0 \sin \alpha \pm v_0 \cos \alpha \text{tg} \beta) / g$; $t_1 = 0,37 \text{ с}$; $t_2 = 1,39 \text{ с}$.

3.29. $H = (g^2 \tau^2 + v_0^2 - v^2) / 8g^3 \tau^2 = 3,0 \text{ м}$.

3.30. $v_0 = g\tau / \sin \alpha = 83 \text{ м/с}$, $x = g\tau^2 \text{ctg} \alpha = 0,35 \text{ км}$, $y = g\tau^2 / 2 = 0,18 \text{ км}$.

$$3.31. H = gt^2 / 8 = 4,9 \text{ м.}$$

$$3.32. \alpha = \arctg 8 = 83^\circ.$$

$$3.33. H = gt^2 / 8 = 20 \text{ м; } s = (gt^2 / 2) \operatorname{ctg} \arccos 0,5 = 45 \text{ м.}$$

$$3.34. 1) R_1 = v_0^2 \cos^2 \alpha / g = 9,8 \text{ м; } 2) R_2 = v_0^2 / g \cos \alpha = 78 \text{ м.}$$

$$3.35. s = 2R \operatorname{tg} \alpha = 30 \text{ км.}$$

$$3.36. a_n = g \cos \arctg \left(\operatorname{tg} \alpha - \frac{gt}{v_0 \cos \alpha} \right) = 6,2 \text{ м/с}^2;$$

$$a_t = g \sin \arctg \left(\operatorname{tg} \alpha - \frac{gt}{v_0 \cos \alpha} \right) = 7,6 \text{ м/с}^2;$$

$$t = \frac{v_0 \sin \alpha}{g} = 1,73 \text{ с.}$$

$$3.37. h = v_0 \sin \alpha \cdot t - gt^2 / 2 = 32 \text{ м; } s = v_0 \cos \alpha \cdot t = 30 \text{ м.}$$

$$3.38. v = \frac{s}{\cos \alpha} \sqrt{\frac{g}{2(h + s \operatorname{tg} \alpha)}} = 16 \text{ км/ч.}$$

$$3.39. v = \frac{s}{\cos \alpha} \sqrt{\frac{g}{2(h + s \operatorname{tg} \alpha - H)}} = 23 \text{ м/с.}$$

$$3.40. x = 2s - v_0^2 \sin 2\alpha / g = 1,9 \text{ м.}$$

$$3.41. t = 2v_0 / g \cos \alpha = 2,3 \text{ с; } s = 2v_0^2 \sin \alpha / g \cos^2 \alpha = 13 \text{ м.}$$

$$3.42. v_0 = \cos \alpha \sqrt{\frac{gs}{2 \sin(\beta - \alpha) \cos \beta}} = 21 \text{ м/с; } \Delta t = \sqrt{\frac{s \sin(\beta - \alpha)}{2g \cos \beta}} = 1,24 \text{ с.}$$

$$3.43. s = \frac{2v_0^2 \operatorname{tg} \alpha}{g \cos \alpha} = 57 \text{ м; } H = v_0^2 \sin \alpha \operatorname{tg} \alpha / 2g = 7,1 \text{ м.}$$

$$3.44. v_0 = \frac{2u^2 + gh \operatorname{ctg}^2 \alpha}{2u \cos \alpha} = 55 \text{ м/с.}$$

$$3.45. v_{\text{отн}} = \sqrt{v_{01}^2 + v_{02}^2 - 2v_{01}v_{02} \cos(\alpha_1 - \alpha_2)}.$$

$$3.46. t = H / 2v_0 \sin \alpha = 1,5 \text{ с; } x = (H / 2) \operatorname{ctg} \alpha = 26 \text{ м;}$$

$$y = \frac{H}{2} \left(1 - \frac{gH}{4v_0^2 \sin^2 \alpha} \right) = 4,0 \text{ м.}$$

$$3.47. l = \sqrt{v_{01}^2 + v_{02}^2} \cdot t.$$

$$4.1. |r| < s.$$

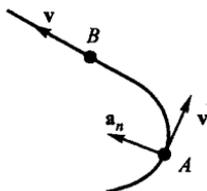
$$4.2. \text{Рис. 278, } a_A = \frac{v^2}{R_A}; a_B = 0.$$

$$4.3. 1) \text{ Нет; } 2) \text{ нет; } 3) \text{ да.}$$

$$4.4. 1) |r| = 2R; 2) s = \pi R; 3) v_{\text{cp}} = 2v / \pi; 4) v_{\text{cp}}^t = v; 5) a = v^2 / R.$$

$$4.5. 1) \text{ В точке C; } 2) \text{ в точке B.}$$

$$4.6. \text{Окружность.}$$



Р и с. 278

4.7. $x^2 + y^2 = A^2$ — окружность с центром в начале координат.

4.8. $a_n = v\Delta\varphi / \Delta t = 13 \text{ см/с}^2$.

4.9. $L = lt / 2\pi\tau = 3,5 \text{ м}$, где t — время полного оборота минутной стрелки.

4.10. $v_c / v_m = 20$.

4.11. $a = 4\pi^2 R / T^2 = 3,4 \text{ см/с}^2$; $\omega_2 / \omega_1 = \sqrt{gT^2 / 4\pi^2 R} = 17$.

4.12. $v = \frac{2\pi R}{T} \cos\theta = 2,3 \cdot 10^3 \text{ м/с}$; $a = 4\pi^2 R \cos\theta / T^2 = 1,7 \text{ см/с}^2$.

4.13. $\omega = 2\pi / T = 0,86 \text{ рад/мс}$; $v = 2\pi(R_3 + h) / T = 7,0 \text{ км/с}$, где R_3 — радиус

Земли.

4.14. $v = 2\pi nR = 15 \text{ км/ч}$.

4.15. $v_1 = 2,0 \text{ м/с}$; $v_2 = 0$; $v_3 = 1,4 \text{ м/с}$; $v_4 = 1,4 \text{ м/с}$; $a_1 = a_2 = a_3 = a_4 = 2,0 \text{ м/с}^2$ у всех точек одинаково и направлено к центру колеса.

4.16. $v = u \frac{r}{\sqrt{R^2 - r^2}} = 36 \text{ км/ч}$, вправо.

4.17. 1) $v_y = (v_1 + v_2) / 2 = 5,0 \text{ м/с}$; $\omega = (v_1 - v_2) / 2R = 10 \text{ рад/с}$;

2) $v_x = (v_1 - v_2) / 2 = 1,0 \text{ м/с}$; $\omega = (v_1 + v_2) / 2R = 50 \text{ рад/с}$.

4.18. $v = \sqrt{(2\pi nr)^2 + u^2}$; $v_u = u = 1,1 \text{ м/с}$, $v_k = \sqrt{(2\pi nR)^2 + u^2} = 1,9 \text{ м/с}$.

4.19. $u = \sqrt{v^2 + 4\pi^2 n^2 (l+R)^2} = 26 \text{ м/с}$; $\alpha = \arctg \frac{2\pi n(l+R)}{v} = 74^\circ$ между u и v .

4.20. $v_B = 2\omega(R+r) = 1,0 \text{ м/с}$.

4.21. $u_1 = v(1 - l/R) = -24 \text{ км/ч}$, т.е. направлена назад.

4.22. $u = \sqrt{4\pi^2 n^2 R^2 + v^2} = 0,32 \text{ км/с}$, винтовая линия с шагом $h = v/n = 1,34 \text{ м}$.

4.23. $h = 2\pi^2 n^2 l^2 / g = 4,5 \text{ м}$.

4.24. $t = \sqrt{r/a_c} = 2,0 \text{ с}$.

4.25. $\varepsilon = 4\pi N / t^2 = 6,3 \text{ рад/с}^2$.

4.26. $t = \sqrt{\lg \alpha / \varepsilon} = 10 \text{ с}$.

4.27. $\alpha = \arctg 4\pi N = 85^\circ$.

4.28. $v = \frac{2s}{t} - v_0 = 90 \text{ км/ч}$; $a = \sqrt{\frac{v^4}{R^2} + \frac{(v-v_0)^2}{t^2}} = 0,71 \text{ м/с}^2$.

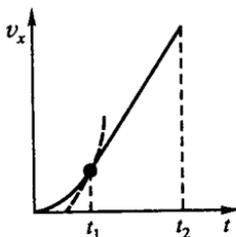
4.29. $a_M = \frac{aR}{r^2} \sqrt{r^2 + 4s^2} = 32 \text{ м/с}^2$; $\alpha = \arctg \frac{2s}{r} = 83^\circ$ к вертикали.

I.1. $t = \frac{(3v_1 + v_2)}{2v_1} t_3 = 45 \text{ мин}$; $s = \frac{3v_2 t_3}{2} = 9,0 \text{ км}$; $v_{cp} = \frac{3v_1 v_2}{3v_1 + v_2} = 12 \text{ км/ч}$.

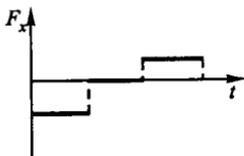
I.2. $\beta_1 = \arctg \frac{ut_1 \sin\alpha}{s - ut_1 \sin\alpha} = 1^\circ 30'$; $\beta_2 = \beta_1$; $t_2 = t_1 \frac{s}{s - 2ut_1 \sin\alpha} = 33 \text{ мин}$.

I.3. $\beta_1 = 45^\circ$; $\beta_2 = 0^\circ$.

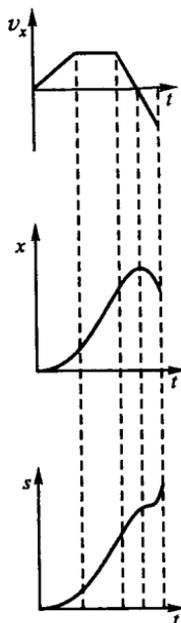
I.4. $s_{\min} = v_1 t \sin \left(\alpha + \arcsin \frac{v_1 \sin\alpha}{\sqrt{v_1^2 + v_2^2 - 2v_1 v_2 \cos\alpha}} \right) = 0,78 \text{ км}$.



Р и с. 279



Р и с. 280



Р и с. 281

$$I.5. v_0 = \frac{2u^2 + gh \operatorname{ctg} \alpha}{2u \cos \alpha} = 65 \text{ м/с.}$$

$$I.6. s_{\min} = s \sin \alpha = 10 \text{ м.}$$

$$I.7. h = s \sin \alpha / 2 \sin^2(\alpha / 2) = 1,7 \text{ м.}$$

$$I.8. s = \frac{2v}{\cos \alpha} \sqrt{\frac{2h}{g}} = 29 \text{ см.}$$

I.9. Рис. 279.

$$I.10. s = (v_0^2 \sin 2\alpha - g s_1) / g = 2,3 \text{ м.}$$

$$I.11. H = R(1 - \cos \alpha) + \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{2g}.$$

Г л а в а П

$$5.1. 1) \sum F_i = \text{const}; 2) \sum F_{ix} = \text{const}, \sum F_{iy} = \text{const}.$$

$$5.2. \sum F_{ix} = ma; \sum F_{iy} = 0.$$

5.3. Рис. 280.

5.4. Рис. 281.

5.5. Во втором.

5.6. 1) Да; 2) да; 3) нет; 4) нет.

$$5.7. F_x = 0; F_y = 5,0 \text{ Н.}$$

$$5.8. F_2 = 10 \text{ Н}; F_x = 8,7 \text{ Н.}$$

$$5.9. a = \sqrt{F_1^2 + F_2^2} / m = 2,5 \text{ м/с}^2, \alpha = \arctg(F_2 / F_1) = 53^\circ \text{ с направлением}$$

силы F_1 .

$$5.10. F = ma / 2 \cos(\alpha / 2) = 1,0 \text{ Н.}$$

$$5.11. a = F \cos \alpha / m = 2,5 \text{ м/с}^2; P = mg - F \sin \alpha = 55 \text{ Н.}$$

$$5.12. 1) a = F / m = 4,9 \text{ м/с}^2; 2) a = mg / (m + M) = 3,3 \text{ м/с}^2.$$

$$5.13. F = mg \operatorname{tg} \alpha = 11 \text{ Н.}$$

$$5.14. 1) P = m(g + a) = 0,74 \text{ кН}; 2) P = m(g - a) = 0,63 \text{ кН}; a = g.$$

$$5.15. 1) T = (m + M)(g + a) = 3,9 \text{ кН}; 2) T = (m + M)g = 3,6 \text{ кН};$$

$$3) T = (m + M)(g - a) = 3,3 \text{ кН.}$$

$$5.16. \alpha = \arctg(a / g) = 17^\circ.$$

$$5.17. a = F / (m_1 + m_2) = 3,0 \text{ м/с}^2; T_1 = m_2 F / (m_1 + m_2) = 0,90 \text{ Н};$$

$$T_2 = m_1 F / (m_1 + m_2) = 0,60 \text{ Н.}$$

$$5.18. k = \frac{F_1 m_2 + F_2 m_1}{\Delta l (m_1 + m_2)} = 0,32 \text{ кН/м.}$$

$$5.19. a = g + \frac{F}{m_1 + m_2} = 11 \text{ м/с}^2; T = \frac{m_1}{m_1 + m_2} F = 1,0 \text{ Н.}$$

$$5.20. a = \frac{m_2 - m_1}{m_1 + m_2} g = 2,0 \text{ м/с}^2; T = \frac{2m_1 m_2}{m_1 + m_2} g = 1,2 \text{ Н}; F = 2T = 2,4 \text{ Н.}$$

$$5.21. F = 2Mmg / (m + 2M).$$

$$5.22. a = \frac{m_2 - m_1 \sin \alpha}{m_1 + m_2} g = 0,98 \text{ м/с}^2; T = \frac{m_1 m_2 (1 + \sin \alpha)}{m_1 + m_2} g = 18 \text{ Н};$$

$$F = 2T \cos \alpha = 30 \text{ Н.}$$

$$5.23. T = \frac{m_1 m_2 (\sin \alpha + \sin \beta)}{m_1 + m_2}; a = \frac{m_1 \sin \alpha - m_2 \sin \beta}{m_1 + m_2} g.$$

$$5.24. a_1 = \frac{2(2m_1 - m_2)}{4m_1 + m_2} g; a_2 = \frac{2m_1 - m_2}{4m_1 + m_2} g; T = \frac{3m_1 m_2}{4m_1 + m_2} g.$$

$$5.25. a = g; T = 0.$$

$$5.26. a_1 = 2mg / (M + 5m) = 2,0 \text{ м/с}^2; a_2 = a_1 \sqrt{5} = 4,4 \text{ м/с}^2.$$

$$5.27. F = (M + m_1 + m_2) \frac{m_2}{m_1} g = 7,8 \text{ Н.}$$

$$5.28. 1) F_{\text{тр}1} = 0,50 \text{ Н}; 2) F_{\text{тр}2} = 0,98 \text{ Н.}$$

$$5.29. \text{Рис. 282.}$$

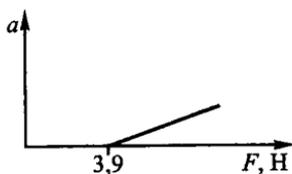
$$5.30. \text{Рис. 283, где } f = 0,20 \text{ Н, } \mu mg = 0,49 \text{ Н.}$$

$$5.31. \operatorname{tg} \alpha_0 = \mu \text{ (рис. 284).}$$

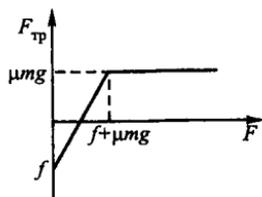
$$5.32. \text{Рис. 285.}$$

$$5.33. F_{\min} = \sqrt{(\mu mg)^2 - F^2} = 3,9 \text{ Н.}$$

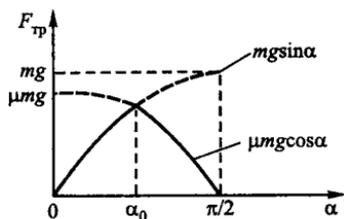
$$5.34. F = 2mg + f = 3,0 \text{ Н.}$$



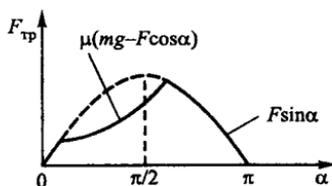
Р и с. 282



Р и с. 283



Р и с. 284



Р и с. 285

5.35. $k = \mu mg / l = 150 \text{ Н/м.}$

5.36. $v_0 = \mu gt = 20 \text{ м/с.}$

5.37. $a = 2g \sin \alpha - F / m = 1,5 \text{ м/с}^2.$

5.38. $\frac{F}{mg} = \frac{\mu}{\cos \alpha + \mu \sin \alpha} = 0,11.$

5.39. $t = \frac{1}{\sin \alpha} \sqrt{\frac{2h}{g(1 - \operatorname{tg} \beta \operatorname{ctg} \alpha)}} = 2,2 \text{ с.}$

5.40. $a = \frac{F(\cos \alpha - \mu \sin \alpha)}{m_1 + m_2} - \frac{(m_2 + \mu m_1)g}{m_1 + m_2} = 1,4 \text{ м/с}^2.$

5.41. $T = M(g \sin \alpha - \mu g \cos \alpha + v_0 / t) = 2,6 \text{ кН.}$

5.42. $\mu = \frac{n^2 - 1}{n^2 + 1} \operatorname{tg} \alpha = 0,14.$

5.43. $a = (1 - m_1 / m_2)g; F_{\text{тр}} = m_1 g.$

5.44. $a = 0; T = 11 \text{ Н.}$

5.45. Вниз по наклонной плоскости с ускорением $a = g \sin \alpha (1 + M / m).$

5.46. $t = \sqrt{\frac{2hm_1}{(m_2 - m_1)g}} = 5,4 \text{ с.}$

5.47. $F_{\text{тр}} = 0,5mg \sin 2\alpha = 0,43 \text{ Н}; F_{\text{д}} = mg \cos^2 \alpha = 0,75 \text{ Н.}$

5.48. $a = g \frac{\operatorname{tg} \alpha - \mu}{1 + \mu \operatorname{tg} \alpha} = 5,9 \text{ м/с}^2.$

5.49. $v_{\text{уст}} = a_1 v / (a_1 - a_2) = 140 \text{ км/ч.}$

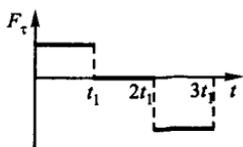


Рис. 286

$$5.50. a_1 = g(1 - v_1 / v_2) = -4,9 \text{ м/с}^2.$$

6.1. 1) В общем случае — парабола, в частном ($v_0 = 0$, или угол между направлениями F и v $\alpha = 0$, π) — прямая; 2) окружность радиусом $R = mv^2 / F$.

$$6.2. F_t = 0, F_n = mv^2 / R.$$

6.3. Рис. 286. Угол между направлениями F и v : 1) острый; 2) прямой; 3) тупой.

6.4. Сила направлена к центру Земли. Направление ускорения совпадает с направлением силы. Для точек 1, 2, 3 соответственно $a_t < 0$, $a_t = 0$, $a_t > 0$.

$$6.5. F_2 / F_1 = 2,0.$$

$$6.6. l = \frac{kl_0}{k - 4\pi^2 n^2 m} = 24 \text{ см.}$$

$$6.7. \mu = 4\pi^2 n^2 l / g = 0,20.$$

$$6.8. R = v^2 / g \sin \alpha = 82 \text{ см.}$$

$$6.9. a) T = mg / \cos \alpha; a = g \tan \alpha; v = \sqrt{g l \sin \alpha \tan \alpha}; \omega = \sqrt{g / (l \cos \alpha)};$$

$$б) T = mg \cos \alpha; a = g \sin \alpha; v = 0; \omega = 0.$$

$$6.10. \omega = \sqrt{g / l \cos \alpha} = 7,0 \text{ рад/с}; T = mg / \cos \alpha = 2,0 \text{ Н.}$$

$$6.11. T = mg(\cos \alpha + v^2 / gl).$$

$$6.12. t = 2\pi \sqrt{l \cos \alpha / g} = 1,4 \text{ с.}$$

$$6.13. a_1 / a_2 = \tan \alpha_1 / \tan \alpha_2 = 0,33; v_1 / v_2 = \sqrt{\sin \alpha_1 \tan \alpha_1 / \sin \alpha_2 \tan \alpha_2} = 0,40.$$

$$6.14. \Delta T = T_n - T_b = 2mg = 2,0 \text{ Н.}$$

$$6.15. T = m\omega^2 l / 2.$$

$$6.16. 1) F_1 = mg; 2) F_2 = mg(1 - v^2 / Rg); 3) F_3 = mg(1 + v^2 / Rg).$$

$$6.17. \frac{F_{\text{вып}}}{F_{\text{вог}}} = \frac{Rg + v^2}{Rg - v^2} = 1,7.$$

$$6.18. \alpha = \arccos \frac{FR + mv^2}{mgR} = 60^\circ \text{ с вертикалью.}$$

$$6.19. a_t = \mu g(1 - v^2 / Rg) = 2,9 \text{ м/с}^2.$$

$$6.20. R = \frac{v^2}{4g} = 4,1 \text{ км.}$$

$$6.21. h = bv^2 / Rg = 8,0 \text{ см.}$$

$$6.22. v_{\text{max}} = \sqrt{\mu Rg} = 68 \text{ км/ч}; \alpha = \text{arctg } \mu = 22^\circ.$$

$$6.23. v = \sqrt{Rg \tan \alpha} = 22 \text{ м/с}; v_{\text{max}} = \sqrt{Rg \frac{\mu + \tan \alpha}{1 - \mu \tan \alpha}} = 33 \text{ м/с.}$$

$$6.24. F = \frac{m(Rg \sin \alpha - v^2)}{R} = 0,24 \text{ Н}; v = \sqrt{Rg \sin \alpha} = 0,70 \text{ м/с.}$$

$$6.25. \omega = \sqrt{g \tan \alpha / l \cos \alpha} = 10 \text{ рад/с.}$$

$$6.26. \mu = (g \sin \alpha + \omega^2 R \cos \alpha) / (g \cos \alpha - \omega^2 R \sin \alpha).$$

$$6.27. \omega = \sqrt{\frac{(g+a)(\operatorname{ctg} \alpha \mp \mu)}{h(\operatorname{tg} \alpha \pm \mu)}}.$$

$$6.28. \mu = (g \cos \alpha + \omega^2 R \sin \alpha \cos \alpha) / (g \sin \alpha - \omega^2 R \cos^2 \alpha).$$

$$6.29. v = \sqrt{gR_3} = 7,9 \text{ км/с.}$$

6.30. В направлении с востока на запад со скоростью $v = 460 \text{ м/с.}$

$$6.31. R / R_3 = \sqrt[3]{gT^2 / 4\pi^2 R_3} = 6,7.$$

$$6.32. h = R(n^2 - 1) = 19 \cdot 10^6 \text{ м.}$$

$$6.33. T = T_3 \left(\frac{T_3}{4\pi} \sqrt{\frac{g}{2R_3}} - 1 \right)^{-1} = 4,8 \text{ ч; } v = \sqrt{R_3 g / 2} = 5,6 \text{ км/с.}$$

$$6.34. \omega = 2\pi \left(\frac{1}{T} + \frac{1}{T_3} \right) = 5,0 \cdot 10^{-4} \text{ рад/с; } v = \sqrt[3]{2\pi g R_3^2 \left(\frac{1}{T} + \frac{1}{T_3} \right)} = 5,9 \text{ км/с, где}$$

T_3 — период вращения Земли вокруг своей оси; R_3 — радиус Земли.

$$6.35. \Delta v = v_1 - v_2 = \frac{R(2 - \sqrt{2})}{2} \sqrt{\frac{g}{R+h}} = 2,2 \text{ км/с.}$$

6.36. $h = \sqrt[3]{gR_3^2 T^2 / 4\pi^2} - R_3 = 3,6 \cdot 10^4 \text{ км, где } T$ — период вращения Земли вокруг своей оси; R_3 — радиус Земли.

$$6.37. \rho = 3\pi n / (n-1)GT^2 = 3,0 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3.$$

$$6.39. T_n = n^{3/2} T_3 = 164 \text{ земных года.}$$

$$6.40. R_1 = m_2 l / (m_1 + m_2); R_2 = m_1 l / (m_1 + m_2); T_1 = T_2 = 2\pi \sqrt{l^3 / G(m_1 + m_2)}.$$

$$7.1. 1) \mathbf{p} = \sum_{i=1}^N m_i \mathbf{v}_i; 2) p = \sqrt{p_x^2 + p_y^2}, \text{ где } p_x = \sum_{i=1}^N m_i v_{ix}, \quad p_y = \sum_{i=1}^N m_i v_{iy}.$$

$$7.2. \mathbf{r}_{\text{цм}} = (\mathbf{r}_1 + \mathbf{r}_2) / 2.$$

7.3. Равен нулю.

7.4. 1) Нет; 2) сохраняется проекция вектора импульса на горизонтальное направление.

$$7.5. 1) \Delta p = mv_0 \sin \alpha; 2) \Delta p = 2mv_0 \sin \alpha.$$

$$7.6. 1) \tau_1 = T / 6; 2) \tau_2 = T / 2; 3) \tau_3 = T.$$

$$7.7. 1) \Delta p_1 = mv; 2) \Delta p_2 = mv\sqrt{2}; 3) \Delta p_3 = 2mv; 4) \Delta p_4 = 0.$$

$$7.8. v_2 = m_1 v_1 / m_2 = 5,0 \text{ м/с.}$$

$$7.9. 1) p_1 = 2mv = 0,16 \text{ кг} \cdot \text{м/с}; 2) p_2 = 0; 3) p_3 = mv\sqrt{2} = 0,11 \text{ кг} \cdot \text{м/с};$$

$$4) p_4 = mv = 8,0 \cdot 10^{-2} \text{ кг} \cdot \text{м/с.}$$

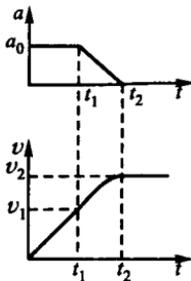
$$7.10. p_1 = F_0 t_1, \quad p_2 = F_0(t_1 + t_2) / 2 \text{ (рис 287).}$$

7.11. Рис. 288. Площади под линией графика равны.

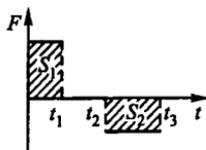
$$7.12. F_{\text{cp}} = mv / \tau = 0,53 \text{ кН.}$$

$$7.13. F_{\text{cp}} = mvn = 15 \text{ Н.}$$

$$7.14. F_n = (m_1 + m_2)g + m_2^2 v^2 / (m_1 + m_2)l = 2,7 \text{ Н.}$$



Р и с. 287



Р и с. 288

$$7.15. H = \frac{\Delta p}{mg} \left(\frac{\Delta p}{2m} - v_0 \sin \alpha \right) = 102 \text{ м.}$$

$$7.16. v = s / 2t = 30 \text{ м/с.}$$

$$7.17. x = v_0 t = 60 \text{ м; } y = gt^2/2 = 44 \text{ м; } v = \sqrt{v_0^2 + g^2 t^2} = 36 \text{ м/с;}$$

$$\alpha = \arctg(gt / v_0) = 56^\circ; \Delta p = m\Delta v = mgt = 29 \text{ кг} \cdot \text{м/с.}$$

$$7.18. F_1 = \frac{m\sqrt{2gh_1}}{t} + mg = 0,80 \text{ Н; } F_2 = \frac{2m\sqrt{2gh_1}}{t} + mg = 1,5 \text{ Н;}$$

$$F_3 = \frac{m\sqrt{2g(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})}}{t} + mg = 1,3 \text{ Н.}$$

- 7.19. 1) $v\sqrt{5}$ под углом 63° к направлению первоначального движения;
 2) $v\sqrt{5}$ под углом 27° к направлению первоначального движения.

$$7.20. p = mv = 15 \text{ кг} \cdot \text{м/с.}$$

$$7.21. p = (m_2 - m_1)gt = 49 \text{ кг} \cdot \text{м/с.}$$

$$7.22. F = pSv^2 = 0,13 \text{ кН.}$$

$$7.23. u = m_1 v / (m_1 + m_2) = 1,0 \text{ м/с.}$$

$$7.24. m_1 / m_2 = (v + u) / (v - u) = 3,0.$$

$$7.25. u = (Mv_1 - mv_2) / (m + M) = -30 \text{ см/с в обратном направлении.}$$

$$7.26. u = Mv / (m + M) = 5,4 \text{ м/с.}$$

$$7.27. v = mv_0 / M = 10 \text{ см/с.}$$

$$7.28. 1) v = 2mv_0 / M = 20 \text{ см/с; } 2) v = \sqrt{2}mv_0 / M = 14 \text{ см/с.}$$

$$7.29. 1) u = (Mv_1 - mv_2) / M = 1,6 \text{ м/с; } 2) u = (Mv_1 + mv_2) / M = 3,4 \text{ м/с.}$$

$$7.30. v = mv_0 \cos \alpha / M = 3,1 \text{ м/с.}$$

$$7.31. u = \frac{\sqrt{(mv_0)^2 + M^2 gh}}{m + M} = 16 \text{ м/с; } \alpha = \arctg \frac{M\sqrt{gh}}{mv_0} = 37^\circ.$$

$$7.32. u_1 = \frac{mv + m_1(v + u)}{m + m_1}; u_2 = v; u_3 = \frac{mv + m_1(v - u)}{m + m_1}.$$

7.33. На расстоянии, вдвое большем расстояния от орудия до точки, где упал бы снаряд.

$$7.34. u_2 = \sqrt{\frac{2gl^2}{H} + \left(\frac{gt}{2} - \frac{H}{t}\right)^2} = 0,71 \text{ км/с}; \beta = \arctg \frac{(gt^2 - 2H)}{2tl} \sqrt{\frac{H}{2g}} = 46'.$$

$$7.35. v = M\sqrt{2gl} \sin\alpha / m \cos\alpha.$$

$$7.36. u = Mv \cos\alpha / m = 0,87 \text{ км/с}.$$

$$7.37. l = \frac{(m+M)v^2 \sin 2\alpha}{Mg} = 3,7 \text{ м}.$$

$$7.38. x = Ml / (m+M) = 4,0 \text{ м}.$$

$$7.39. x = Hm \operatorname{ctg} \alpha / (M+m) = 5,0 \text{ см}.$$

$$7.40. l = (M+m)H / M = 12 \text{ м}.$$

$$8.1. A = F\Delta r = F\Delta r \cos\alpha = F_x \Delta x + F_y \Delta y.$$

$$8.2. a) A = 0; б) A = 0; в) A = Fl \cos\alpha = 87 \text{ Дж}; г) A = Fl \cos\alpha = 87 \text{ Дж}.$$

$$8.3. a) A = 0,10 \text{ Дж}, A = 0,20 \text{ Дж}; б) A = 50 \text{ мДж}, A = 0,20 \text{ Дж}; в) A = 50 \text{ мДж}, A = 125 \text{ мДж}.$$

$$8.4. \text{Рис. 289}.$$

$$8.5. \text{Рис. 290}.$$

$$8.6. A = 0,59 \text{ ГДж}.$$

$$8.7. 1) A = \Delta E_k = -mv_0^2 \sin^2 \alpha / 2; 2) A = \Delta E_k = 0.$$

$$8.8. E_k = \frac{mg^2 t^2}{2} - mgv_0 t \sin\alpha + \frac{mv_0^2}{2}; E_n = mgv_0 t \sin\alpha - \frac{mg^2 t^2}{2}; E = E_k + E_n = \frac{mv_0^2}{2}.$$

$$8.9. E(x) = kx^2 / 2.$$

$$8.10. E(r) = -Gm_1 m_2 / r.$$

$$8.11. E(h) = mgh.$$

$$8.12. A_{mk} = A_N = 0; A_{\text{тр}} = -\mu mgs \cos\alpha / (\cos\alpha + \mu \sin\alpha) = -2,9 \text{ Дж};$$

$$A_f = -A_{\text{тр}} = 2,9 \text{ Дж}.$$

$$8.13. A_T = 29 \text{ кДж}; A_{mg} = -29 \text{ кДж}.$$

$$8.14. A = 0; N = 0 \text{ относительно берега}; A = 50 \text{ кДж}; N = 10 \text{ кВт относительно реки}.$$

$$8.15. 1) A = \mu mgl = 2,9 \text{ Дж}; 2) A = \mu_2 mgl / 2 = 1,5 \text{ Дж};$$

$$3) A = \mu_1 mgx + (\mu_1 + \mu_2) mgl / 2 = 4,7 \text{ Дж}.$$

$$8.16. 1) A = kx_0^2 / 2 = 45 \text{ мДж}; 2) A = \mu mgx_0 + k(x_0 - x)^2 / 2 = 23 \text{ мДж}.$$

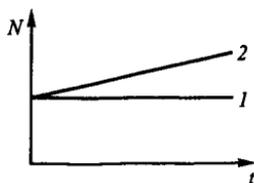


Рис. 289

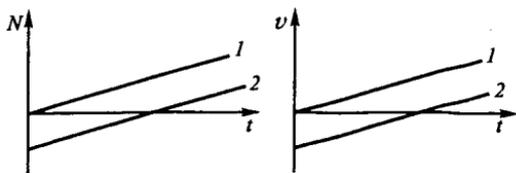


Рис. 290

- 8.17. $A = Fl_1^2 / 2l_2 = 3,8$ кДж.
- 8.18. $A = mgR_3 / 2 = 31$ мДж, где R_3 — радиус Земли.
- 8.19. $s_2 = s_1 v_2^2 / v_1^2 = 40$ м.
- 8.20. $N = 4Ms^2 / t^3 = 80$ кВт.
- 8.21. $N_1 / N_2 = 4$.
- 8.22. $N = mv_0^3 / 4l$.
- 8.23. $F = \eta N / v = 32$ кН.
- 8.24. $T = N / 2\pi nR$.
- 8.25. $A_{\text{тр}} = -\mu mgs = -49$ Дж; $A_f = Fs = 0,10$ кДж.
- 8.26. $N = mg\sqrt{gh} / 2 = 0,14$ кВт; $N = mg\sqrt{gh} = 0,19$ кВт.
- 8.27. 1) $A = mgh = 9,8$ кДж; 2) $A = -mgh = -9,8$ кДж; 3) $A = 0$.
- 8.28. $E_k = F^2 t^2 / 2m = 5,0$ Дж.
- 8.29. $A = m(v_k^2 - v_n^2) / 2$. 1) $A = 75$ кДж; 2) $A = 225$ кДж.
- 8.30. $A = 2m\pi^2 R^2 (n_2^2 - n_1^2) = 7,9$ Дж.
- 8.31. $A = mgR_3 / 2 = 16$ ГДж, где R_3 — радиус Земли.
- 8.32. $E_k = m(v^2 - g^2 t^2) / 2 = 0,97$ кДж.
- 8.33. $E_k = mv^2 = 50$ Дж.
- 8.34. $E_k = E_n = mg^2 t^2 / 8 = 38$ Дж.
- 8.35. $A = mgh(1 + \mu \operatorname{ctg} \alpha) = 54$ Дж.
- 8.36. $h = v^2 / 2g = 1,3$ м.
- 8.37. $h_{\text{max}} = E_k / mg = 26$ м.
- 8.38. $v = \sqrt{2gl}$.
- 8.39. $x = \sqrt{2mgh / k} = 20$ мм.
- 8.40. $v = \sqrt{v_0^2 - 2gh}$.
- 8.41. $h = v_0^2 / 4g = 10$ м.
- 8.42. $\beta = \arccos(2 \cos \alpha - 1)$.
- 8.43. $E = 0,49$ Дж; перешла во внутреннюю энергию.
- 8.44. $A = m \left(gh + \frac{v_0^2 - v^2}{2} \right) = 4,6$ Дж.
- 8.45. $N = \rho S v (gh + v^2 / 2)$, где ρ — плотность воды.
- 8.46. $N = \eta Q \rho \left(gh + \frac{v_1^2 - v_2^2}{2} \right)$, где ρ — плотность воды.
- 8.47. $h = N / \eta \rho Q g = 10$ м, где ρ — плотность воды.
- 8.48. $N = \pi \rho d^2 v^3 / 8 = 0,28$ МВт, где ρ — плотность воздуха.
- 8.49. $\mu = \operatorname{tg} \alpha \left(1 - \frac{v^2}{2gh} \right) = 0,082$; $\eta = \frac{v^2}{2gh} \cdot 100 = 92$ %.

$$8.50. \mu = h / (b+l) = 0,010; \eta = \left(1 - \mu \frac{b}{h}\right) \cdot 100 = 95 \%$$

$$8.51. \mu = \operatorname{tg} \alpha = 0,10.$$

$$8.52. v = v_0 \sqrt{(1 - \mu \operatorname{ctg} \alpha) / (1 + \mu \operatorname{ctg} \alpha)} = 1,5 \text{ м/с.}$$

$$8.53. \mu = \operatorname{tg} \alpha / 2 = 0,50.$$

$$8.54. \mu = \frac{2H}{\sqrt{s^2 - 4H^2} + s} = 0,33.$$

$$8.55. v = \sqrt{4gh - v_0^2} = 1,9 \text{ м/с.}$$

$$8.56. s = m^2 v^2 \sin^2 \alpha / 2 \mu g (M + m)^2 = 33 \text{ см.}$$

$$8.57. v = \mu g \sqrt{m_2(2m_1 + m_2) / km_1} = 1,3 \text{ м/с.}$$

$$8.58. A_{\text{тп}} = mg(H - 3R) = 0,15 \text{ Дж.}$$

9.1. Во втором случае скорость стала меньше.

$$9.2. h_2 / h_1 = (M + m) / M = 1,2.$$

$$9.3. h = Mv_0^2 / 2g(M + m) = 0,43 \text{ м; } v = \frac{M - m}{M + m} v_0 = 2,6 \text{ м/с.}$$

$$9.4. v = \sqrt{v_0^2 + gh} = 14 \text{ м/с, } \alpha = \operatorname{arctg}(\sqrt{gh} / v_0) = 45^\circ, v^2(h) = v_0^2 + 2g(H - h).$$

$$9.5. u = \frac{\sqrt{2} - 1}{2} \sqrt{gR_3} = 1,6 \text{ км/с, } u(R) = (\sqrt{2} - 1) \sqrt{\frac{GM_3}{R}}.$$

$$9.6. A = m(m + M)v^2 / 2M = 105 \text{ Дж.}$$

$$9.7. A = mg \left(H + \frac{s^2}{16H} \right) = 20 \text{ Дж.}$$

9.8. $F_{\text{д}} = mg(3 \sin^2 \alpha - 2 \sin \alpha + 1) = 0,37 \text{ Н}$. При угле $\alpha = 30^\circ$ стержень испытывает деформацию растяжения, поэтому сила давления меньше mg .

9.9. $F_{\text{тп}} = mg \cos \alpha (3 \sin \alpha - 2)$; 1) $\alpha = 90^\circ$, стержень испытывает деформацию сжатия; 2) $\alpha = \operatorname{arcsin}(2/3) = 42^\circ$, стержень не деформирован.

$$9.10. h = \frac{\rho_{\text{в}} - \rho_{\text{д}}}{\rho_{\text{д}}} H = 50 \text{ см.}$$

$$9.11. F_{\text{д}} = 3mg = 2,9 \text{ Н.}$$

$$9.12. 1) v = \sqrt{5gl}; 2) v = 2\sqrt{gl}.$$

$$9.13. a = g \sin \alpha / 2.$$

$$9.14. h = 2,5R = 50 \text{ см.}$$

$$9.15. h = R/3.$$

$$9.16. h = 23R/27.$$

9.17. В первом.

$$9.18. v = \frac{m + M}{m} 2\sqrt{gl(1 - \cos \alpha)} = 0,41 \text{ км/с.}$$

$$9.19. v_{\text{min}} = \frac{m + M}{m} \sqrt{5gl} = 0,35 \text{ км/с.}$$

$$9.20. \Delta U = \frac{Mm}{2(M+m)}v^2.$$

$$9.21. k = m^2v^2 / (m+M)A^2 = 0,25 \text{ кН/м.}$$

$$9.22. Q = \left(\frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} \right) m_1 gh = 2,9 \text{ Дж.}$$

$$9.23. 1) u_2 = v_1 + u_1 = 5,0 \text{ м/с; } 2) u_2 = v_1 - u_1 = 1,0 \text{ м/с.}$$

$$9.24. u = (m_1v_1 - m_2v_2) / (m_1 + m_2) = 5,0 \text{ см/с.}$$

$$9.25. u_1 = \frac{(m_1 - m_2)v_1 + 2m_2v_2}{m_1 + m_2} = -1,0 \text{ м/с; } u_2 = \frac{2m_1v_1 + (m_2 - m_1)v_2}{m_1 + m_2} = 5,0 \text{ м/с.}$$

$$9.26. u_1 = (m_1 - m_2)v_1 / (m_1 + m_2); u_2 = 2m_1v_1 / (m_1 + m_2).$$

$$9.27. 1) m_1/m_2 = 1; 2) m_1/m_2 \rightarrow 0.$$

$$9.28. Q = 3p^2/16m.$$

$$9.29. u_1 = -v_2 = -3,0 \text{ м/с; } u_2 = v_1 + u_1 + v_2 = 6,0 \text{ м/с.}$$

$$9.30. v_2 = -u_1 = -2,0 \text{ м/с; } u_2 = v_1 = 3,0 \text{ м/с.}$$

$$9.31. \beta = \arccos(v_1v_2 \cos\alpha / u_1u_2) = 41^\circ.$$

$$9.32. h = (\sqrt{2gl} + 2v)^2 / 2g.$$

$$9.33. 1) \Delta p = 2mv = 0,20 \text{ кг} \cdot \text{м/с; } E_n = 50 \text{ мДж; } 2) \Delta p = 2mv \sin\alpha = 0,10 \text{ кг} \cdot \text{м/с; } E_n = 12,5 \text{ мДж.}$$

$$9.34. \beta = \arctg \frac{v \sin\alpha + gt}{v \cos\alpha} = 47^\circ.$$

$$9.35. \Delta E / E = 1 - 1/n = 75 \text{ \%}.$$

$$9.36. \alpha_1 = (m_1 - m_2)\alpha / (m_1 + m_2); \alpha_2 = 2m_1\alpha / (m_1 + m_2).$$

$$9.37. \beta = m_1\alpha / (m_1 + m_2).$$

$$9.38. E_n = m_1m_2(v_1 + v_2)^2 / 2(m_1 + m_2).$$

$$9.39. v^2 = u_1^2 + u_2^2, \text{ т.е. } \mathbf{u}_1 \perp \mathbf{u}_2, \text{ а значит, } \alpha = 90^\circ.$$

$$\text{II.1. } a_1 = g \frac{4m_1m_2 + m_0(m_1 - m_2)}{4m_1m_2 + m_0(m_1 + m_2)}.$$

$$\text{II.2. } F = (\mu_1 + \mu_2)(m + M)g = 22 \text{ Н.}$$

$$\text{II.3. } a = 0; F_{\text{тр}} = F - mg \sin\alpha = 2,7 \text{ Н.}$$

$$\text{II.4. } a = g\sqrt{9\mu^2 + 4} = 20 \text{ м/с}^2.$$

$$\text{II.5. } u = \frac{m}{M+m}v_0 \cos\alpha = 0,88 \text{ м/с; } \beta = \arctg \frac{M+m}{M} \tg\alpha = 53^\circ.$$

$$\text{II.6. } s = \frac{v^2}{160\mu g}.$$

$$\text{II.7. } v = \sqrt{\frac{M+m}{M} 2gH} = 6,9 \text{ м/с.}$$

$$\text{II.8. } \tau = Nm_1 / m_2^2 g^2.$$

$$\text{II.9. } v = \frac{2RM}{m} \sqrt{\frac{G\pi\rho}{3}} = 120 \text{ м/с, где } G \text{ — гравитационная постоянная.}$$

Г л а в а III

$$\text{10.1. 1) } \sum_{i=1}^n F_i = 0; \text{ 2) } \sum_{i=1}^n F_{ix} = 0, \sum_{i=1}^n F_{iy} = 0, \sum_{i=1}^n F_{iz} = 0.$$

$$\text{10.3. } F_1 = F_2 = 9,8 \text{ Н.}$$

$$\text{10.4. } F_n = 30 \text{ Н.}$$

$$\text{10.5. } T = m_2 g = 19,6 \text{ Н; } F_n = (m_1 - m_2)g = 29 \text{ Н.}$$

$$\text{10.6. 1) } T = m_2 g = 9,8 \text{ Н; 2) } F_n = m_1 g \cos \alpha_1 - m_2 g = 7,2 \text{ Н;}$$

$$\text{3) } F_{\text{т}} = m_1 g \sin \alpha_1 = 9,8 \text{ Н.}$$

$$\text{10.7. } m_3 = \sqrt{m_1^2 + m_2^2} = 0,10 \text{ кг.}$$

$$\text{10.8. } m_3 = 2m \cos \alpha / 2 = 5,0 \text{ кг.}$$

$$\text{10.9. } F = mg \operatorname{tg} \alpha = 0,15 \text{ кН; } T = mg \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha} = 0,21 \text{ кН.}$$

$$\text{10.10. } T = \sqrt{F^2 + m^2 g^2} = 0,24 \text{ кН; } \alpha = \operatorname{arctg}(F/mg) = 37^\circ.$$

$$\text{10.11. } F_c = mg \operatorname{ctg} \alpha = 57 \text{ Н; } F_n = mg / \sin \alpha = 113 \text{ Н.}$$

$$\text{10.12. } P = F \operatorname{tg} \alpha = 90 \text{ Н.}$$

$$\text{10.13. } F_n = mgl_1 / l = 0,29 \text{ кН; } F_n = mgl_2 / l = 0,39 \text{ кН.}$$

$$\text{10.14. } m_1 = m \cos \alpha / \sin(\alpha + \beta) = 0,13 \text{ кг; } m_2 = m \cos \beta / \sin(\alpha + \beta) = 40 \text{ г.}$$

$$\text{10.15. } \alpha = \operatorname{arctg}(F_n / F) = 53^\circ.$$

$$\text{10.16. } F_n = mg / \cos(\alpha - 90^\circ) = 0,68 \text{ кН; } F_r = mg \operatorname{tg}(\alpha - 90^\circ) = 0,34 \text{ кН.}$$

$$\text{10.17. } m = m_1 / \sqrt{5} = 8,9 \text{ кг.}$$

$$\text{10.18. } F = mg / \mu = 0,49 \text{ кН.}$$

$$\text{10.19. } H = h + \frac{Mgl}{4T} = 5,5 \text{ м.}$$

$$\text{10.20. Нет.}$$

$$\text{10.21. 1) } k = \frac{k_1 k_2}{k_1 + k_2}; \text{ 2) } k = k_1 + k_2.$$

$$\text{10.22. } m_2 = m_1 \sin \alpha = 1,0 \text{ кг; } F = 2m_1 g \cos \alpha \sin \alpha = 17 \text{ Н.}$$

$$\text{10.23. } m_3 = (m_1 - m_2) \sin \alpha; F = (m_1 - m_2) g \cos \alpha.$$

$$\text{11.1. 1) } \sum_{i=1}^n F_i = 0; \text{ 2) } \sum_{i=1}^n M_i = 0. \text{ Если линия действия сил проходит через}$$

одну и ту же точку, достаточно использовать условие (1). Если ось вращения тела закреплена, достаточно использовать условие (2).

$$\text{11.2. } F_{a, \delta, \epsilon} = 17 \text{ Н; биссектриса. } F_2 = 10 \text{ Н; вершина.}$$

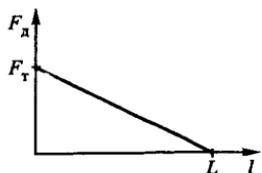


Рис. 291

11.3. а) Да; б) нет; в) нет.

$$11.4. F_3 = F_1 + F_2 = 30 \text{ Н}; x_{F_3-F_2} = F_1 l / (F_1 + F_2) = 40 \text{ см.}$$

$$11.5. F_3 = F_2 - F_1 = 45 \text{ Н}; x_{F_3-F_2} = F_1 l / (F_2 - F_1) = 30 \text{ см.}$$

$$11.6. F_p = 0,20 \text{ кН}; x_{F_2-F_p} = \frac{F_3 - F_1}{2(F_1 + F_2 + F_3)} l = 18 \text{ см.}$$

$$11.7. F_2 = F_1 \frac{l_1}{l_2} = 12 \text{ Н}; F_p = F_1 \left(1 - \frac{l_1}{l_2}\right) = 18 \text{ Н.}$$

$$11.8. \text{Рис. 291}; F_{d_1} = Mg(L - l_1) / L = 8,8 \text{ кН};$$

$$F_{d_2} = Mgl_1 / L = 0,98 \text{ кН.}$$

$$11.9. F = N = 5,9 \text{ кН.}$$

11.10. $N_1 = Mg(L - l) / 2L = 2,8 \text{ кН}$ на передние колеса; $N_2 = Mgl / 2L = 3,9 \text{ кН}$ на задние колеса.

$$11.11. x = l / 4 = 2,5 \text{ см от пружины жесткостью } k_2; m = 4k_1 \Delta h / g = 40 \text{ кг.}$$

$$11.12. x = 0,2 \text{ м от середины в сторону более тяжелого мальчика.}$$

$$11.13. \eta = mgh / Fl = 78 \%; F_2 / F_1 = l / h = 1,7.$$

$$11.14. \mu = m \operatorname{tg} \alpha / (2M + m) = 0,12.$$

$$11.15. L = 2Fl / (2F - mg) = 1,8 \text{ м}; F_c = (2F - mg) / 2 = 25 \text{ Н.}$$

$$11.16. F_{\min} = \mu mg / 2(\mu \operatorname{tg} \alpha + 1).$$

$$11.17. F_n = mg \operatorname{tg} \alpha_1 = 5,7 \text{ Н.}$$

$$11.18. \alpha = \arcsin(F / 4kR) = 30^\circ.$$

$$11.19. L = \frac{2l \sqrt{(b/2)^2 + (a/2 - l)^2}}{a - 2l} = 20 \text{ см.}$$

$$11.20. \beta = \arctg \frac{0,5 \mu \sin 2\alpha + \cos^2 \alpha}{2\mu + 0,5 \sin 2\alpha - \mu \cos^2 \alpha} = 55^\circ.$$

$$11.21. F_a = \frac{\sin \beta}{\sin(\alpha + \beta)} mg = 8,5 \text{ Н}; T(\beta) = \frac{0,5}{\sin(30 + \beta)}, \text{ Н.}$$

$$11.22. \mu = d / D \sin \alpha = 0,40.$$

$$11.23. \mu \geq \operatorname{tg}(\alpha / 2) = 0,27.$$

$$11.24. \alpha = \arctg \frac{1 - 2\mu_1 \mu_2}{3\mu_1} = 27^\circ.$$

$$11.25. \mu \geq 1 / (2 + \sqrt{3}) \geq 0,27.$$

$$11.26. F_1 = 2\pi \eta F / h = 20 \text{ кН.}$$

$$11.27. F = Mgh / 2\pi Nl = 98 \text{ Н.}$$

$$11.28. F = Mg(R - r) / 2l = 25 \text{ Н.}$$

$$11.29. F_{\min} = mg \sqrt{h(2R - h)} / (R - h).$$

$$11.30. F_{\min} = Mg / 2; \mu \geq 0,5$$

$$11.31. F = Mgh / 4l = 0,49 \text{ кН.}$$

$$11.32. l = 2\Delta l = 20 \text{ см.}$$

$$11.33. x = \frac{m_1(l+R_1+R_2) + M(l/2+R_2)}{m_1+m_2+M} = 9,7 \text{ см от центра большого шара.}$$

11.34. $x = 2\rho_{\text{ал}}R / (\rho_{\text{ал}} + \rho_{\text{ц}}) = 0,56R$ от центра цинкового шара, где $\rho_{\text{ал}}$, $\rho_{\text{ц}}$ — плотности алюминия и цинка.

$$11.35. m = m_1 = 250 \text{ г; } \Delta l = \frac{m_1}{2(m_1+m_2)}l = \frac{1}{3} \text{ м.}$$

11.36. Координаты центра тяжести (25; 5) относительно точки O .

11.37. Координаты центра тяжести (12,5; 7,5) относительно точки O .

11.38. $x = R/6 = 1,5$ см от геометрического центра.

11.39. $x = R/2(2\pi - 1)$ от геометрического центра.

11.40. а) $x = a/12$ от геометрического центра; б) $x = \pi a/4(16 - \pi)$ от геометрического центра.

11.41. $x = a\sqrt{3}/28$ от геометрического центра.

11.42. $h = l \sin \arctg(1/3) = 19$ см.

11.43. $\alpha = \arctg \mu = 17^\circ$.

11.44. $A = MgL/2 = 5,0$ кДж.

11.45. $A = \frac{mga}{2}(\sqrt{2}-1) = 0,40$ кДж.

11.46. $A = \frac{\rho ga^4(4\sqrt{2}-3)}{24} = 1,1$ кДж, где ρ — плотность воды.

11.47. $v = \sqrt{ag/\sqrt{3}} = 0,98$ м/с.

12.1. $p = F_n/S$, $p = \rho gh$, $p = p_a + \rho gh$.

12.2. $\rho_2 > \rho_1$.

12.3. Рис. 292. 1 — давление атмосферы возросло; 2 — давление атмосферы уменьшилось.

12.4. $h = 2p_a/\rho g = 20$ м.

12.5. 1) $F_{\text{давл}} > mg$, когда сосуд сужается кверху; 2) $F_{\text{давл}} < mg$, когда сосуд расширяется кверху; 3) $F_{\text{давл}} = mg$, когда сосуд прямой.

12.6. 1) $p = 0,49$ кПа; 2) $p = 2,9$ кПа; 3) $p = 5,5$ кПа. $p_n = p_{\text{ж}}$; не изменятся.

12.7. $F = \pi d^2/4 = 50$ кН.

12.8. 1) $F = \rho gl^3 = 9,9$ Н; 2) $F = \rho gl^3/2 = 4,9$ Н.

12.9. $h = D/2 = 16$ см.

12.10. $F = \rho_{\text{в}}ghS = 7,8$ кН.

12.11. $F = 39$ Н.

12.12. $p = p_a + \frac{2\rho_1\rho_2gh}{\rho_1 + \rho_2} = 108$ кПа.

12.13. $p = p_a + \rho(g+a)h = 103$ кПа.

12.14. $h = m/\rho_{\text{рт}}S = 2,5$ см, где $\rho_{\text{рт}}$ — плотность ртути.

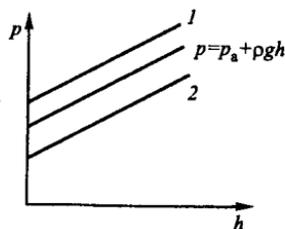
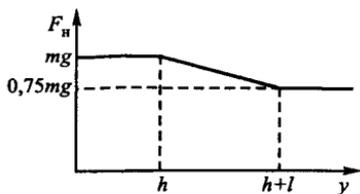
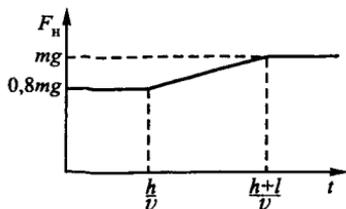


Рис. 292



Р и с. 293



Р и с. 294

12.15. $\Delta h = (\rho_m h_1 - \rho_k h_2) / \rho_{рт} = 2,0$ см, где ρ_m — плотность масла; ρ_k — плотность керосина; $\rho_{рт}$ — плотность ртути.

$$12.16. \Delta h = \frac{m}{S} \left(\frac{1}{\rho_m} - \frac{1}{\rho_n} \right) = 4,0 \text{ см.}$$

$$12.17. F = \eta f S / s = 8,0 \text{ кН.}$$

$$12.18. F = \eta f h / H = 9,5 \text{ кН.}$$

$$12.19. S_1 / S_2 = N h m g / \eta A = 55.$$

$$12.20. M = p_a 4\pi R_1^2 / g = 5 \cdot 10^{18} \text{ кг.}$$

$$12.21. h = p_a / \rho_w g = 10,3 \text{ м.}$$

12.22. Вода поднимается не больше чем на 10,3 м.

$$12.23. 1) F = 0; 2) F = \frac{\pi r^2 p_a (1 - \sin \alpha)}{\sin \alpha} = 11,3 \text{ Н.}$$

$$12.24. A = \rho S (h - h_a / 2) = 6,2 \text{ Дж, где } h_a = 0,76 \text{ м.}$$

12.25. Если сосуд сужается кверху, то гиря и ртуть не оторвут дно, а масло оторвет. Если сосуд сужается книзу, то наоборот.

12.26. Рис. 293.

12.27. Рис. 294.

$$12.28. h = H - m / \rho S = 4,0 \text{ см.}$$

$$12.29. \rho_n = n \rho_w = 0,75 \text{ г/см}^3.$$

$$12.30. \rho = P_1 \rho_k / (P_1 - P_2) = 2,7 \text{ г/см}^3.$$

$$12.31. \rho_a = \rho_w - 4\Delta P / \pi D^2 H g = 0,80 \text{ г/см}^3.$$

$$12.32. S = m / H (\rho_w - \rho_n) = 1,9 \text{ м}^2.$$

$$12.33. V = m \left(\frac{2}{\rho_w} - \frac{1}{\rho_{св}} \right) = 9,6 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3.$$

$$12.34. \rho = \rho_1 - (\rho_1 - \rho_2) (R / r)^3.$$

$$12.35. T = m g \left(n \frac{\rho_w}{\rho_n} - 1 \right) = 41 \text{ Н.}$$

$$12.36. x_2 = x_1 (\rho_w - \rho_n) / \rho_n = 0,80 \text{ см.}$$

$$12.37. \rho = 3\rho_w / 4 = 0,75 \text{ г/см}^3.$$

$$12.38. F = \rho l S g / 4 = 94 \text{ мН.}$$

12.39. Выше поднимается шар из эластичной резины.

$$12.40. \text{Рис. 295: } 1 - d_2 \leq d_1; 2 - d_2 > d_1.$$

$$12.41. F = (\rho_{\text{ан}} a \cos \alpha / 2 + \rho_{\text{в}} H) g h a \operatorname{ctg} \alpha = 1,1 \text{ Н.}$$

$$12.42. F = \rho_0 g S (H + 5h).$$

$$12.43. \rho = \rho_{\text{к}} + (\rho_{\text{в}} - \rho_{\text{к}}) \frac{h_2}{a} = 0,84 \text{ г/см}^3;$$

$$F_{\text{верх}} = \rho_{\text{к}} g h_1 a^2 = 0,49 \text{ Н};$$

$$F_{\text{нижн}} = g a^2 [\rho_{\text{к}} (a + h_1 - h_2) + \rho_{\text{в}} h_2] = 1,5 \text{ Н, не изменится.}$$

12.44. Уменьшится.

$$12.45. h = a(\rho_{\text{рт}} - \rho_{\text{ст}}) / (\rho_{\text{рт}} - \rho_{\text{в}}) = 4,6 \text{ см}; p = \rho_{\text{ст}} g a = 7,6 \text{ кПа.}$$

$$12.46. A = g S H^2 (\rho_{\text{в}}^2 - \rho_{\text{н}}^2) / 2 \rho_{\text{в}} = 4,0 \text{ Дж.}$$

$$12.47. A = \rho g S \frac{l^2}{8} (1 - \sin \alpha) = 4,9 \text{ мДж.}$$

12.48. $A = mg(H + h) - \rho_{\text{в}} g V h = 0,15 \text{ кДж}$, где $mg(H + h)$ — изменение потенциальной энергии тела; $\rho_{\text{в}} g V h$ — изменение потенциальной энергии воды.

$$\text{III.1. } m_2 / m_1 = \cos \alpha / \cos(\alpha / 2) = 0,58.$$

$$\text{III.2. } \varphi = \operatorname{arctg} \frac{(m_2 - m_1) \sqrt{3}}{(m_2 + m_1) 3} = 11^\circ.$$

$$\text{III.3. } L_{\text{max}} = l \sqrt{1 + \mu^2} = 2,2 \text{ м.}$$

$$\text{III.4. Влево } F = \mu mg \operatorname{tg} \alpha / 2 (\mu + \operatorname{tg} \alpha); \text{ вправо } F = \mu mg \operatorname{tg} \alpha / 2 (\operatorname{tg} \alpha - \mu).$$

$$\text{III.5. } T = Mg \cos \alpha / 2; \gamma = 45^\circ - \alpha / 2.$$

$$\text{III.6. } \alpha_{\text{н}} = \arcsin [r^3 / R(R^2 - r^2)] = 9,6^\circ.$$

$$\text{III.8. } T_1 = mg \cos \alpha / 2 = 4,2 \text{ Н}; T_2 = mg \sqrt{1 - \frac{3}{4} \cos^2 \alpha} = 6,5 \text{ Н.}$$

$$\text{III.9. } p = \frac{mg + F(1 + l_2 / l_1)}{S} + \rho g h = 3,0 \text{ кПа.}$$

$$\text{III.10. } \rho = 5\rho_0.$$

$$\text{III.11. } F_{\text{д}} = a^2 g \left[\rho_{\text{в}} \left(h - \frac{a}{2} \sin \alpha \right) + \rho_{\text{ан}} a \cos \alpha \right] = 69 \text{ Н};$$

$$F_{\text{тп}} = (\rho_{\text{ан}} - \rho_{\text{в}}) a^3 g \sin \alpha = 8,3 \text{ Н.}$$

$$\text{III.12. } H = h \left(32 \frac{\rho_{\text{ан}}}{\rho_{\text{в}}} - 33 \right) = 27 \text{ см.}$$

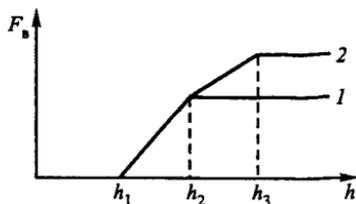


Рис. 295

Глава IV

13.1. 1) $\omega_0 = \omega$, $A = a$, $\varphi_0 = -\pi/3$, $x_p = b$;

4) $\omega_0 = 2\omega$, $A = a/2$, $\varphi_0 = 0$, $x_p = a/2$.

13.2. $x = A \sin(2\pi t / T) = 0,05 \sin 4\pi t$, м.

13.3. $x = A \sin 2\pi \nu t = 0,04 \sin 100\pi t$, м.

13.4. Рис. 296.

13.5. 1) $T/4$; 2) $T/12$; 3) $T/6$.

13.6. $T/6$.

13.7. 1) $v_x = -A\omega_0 \sin(\omega_0 t + \varphi_0)$, $a = -A\omega_0^2 \cos(\omega_0 t + \varphi_0)$;

2) $v_{\max} = |A\omega_0$, $a_{\max} = |A\omega_0^2$; 3) а) $\pi/2$, б) π ; 4) $\pi/2$.

13.8. $x = R \sin(\nu/R)t$; $v_x = \nu \cos(\nu/R)t$; $a_x = -\frac{\nu^2}{R} \sin(\nu/R)t$ (рис. 297).

13.9. $x = R \cos(\nu/R)t$; $v_x = -\nu \sin(\nu/R)t$; $a_x = \frac{\nu^2}{R} \cos(\nu/R)t$ (рис. 298);

$\Delta\varphi_1 = \pi/2$; $\Delta\varphi_2 = \pi$; $\Delta\varphi_3 = \pi/2$.

13.10. Рис. 299.

13.11. $v = A \frac{2\pi}{T} \cos \frac{2\pi}{T} t = 4,4$ см/с; $a = -A \frac{4\pi^2}{T^2} \sin \frac{2\pi}{T} t = -14$ см/с².

13.12. $v_{\text{cp}} = 4A/T = 4$ см/с.

13.13. 1) $v_{\text{cp}} = 50$ см/с; 2) $v_{\text{cp}} = 1,0$ м/с.

13.14. $v_{\text{cp}}^s = 2A\omega/\pi = 32$ см/с.

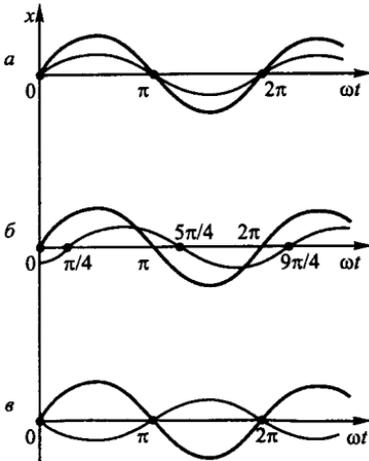


Рис. 296

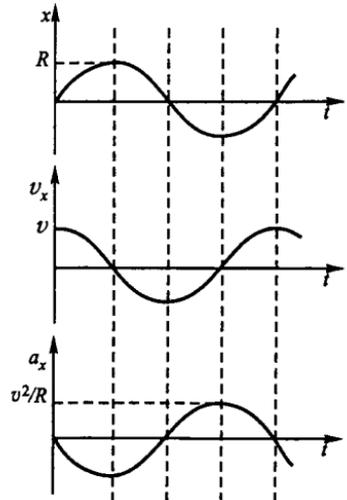


Рис. 297

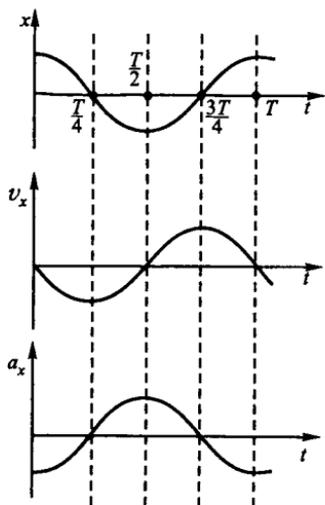


Рис. 298

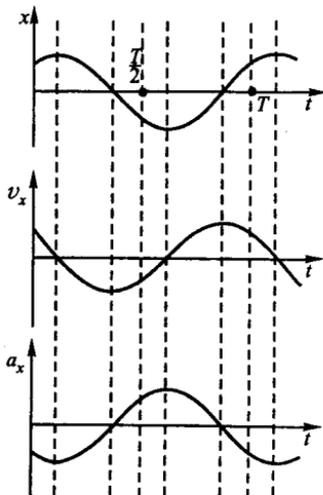


Рис. 299

$$13.15. t = \arctg\left(\frac{x\omega}{v_x}\right) / \omega = 0,20 \text{ с.}$$

$$13.16. t = \frac{2\pi}{\omega} - \frac{\arccos(x_1/A)}{\omega} = 1,7 \text{ с; } s = 3A + x_1 = 7,0 \text{ см; } \Delta x = x_1 - A = -1,0 \text{ см; } v_{cp} = -5,9 \text{ мм/с.}$$

14.1. 1) $\ddot{x} + \omega_0^2 x = 0$, где $\omega_0 = \sqrt{k/m}$; 2) гармоническое колебание; 3) частота колебания $\omega_0 = \sqrt{k/m}$, амплитуда колебания $A = v_0 \sqrt{m/k}$; 4) для определения начальной фазы необходимо указать значение координаты в начальный момент времени.

14.2. 1) Нулю; 2) нулю.

$$14.3. 2) \omega_0 = \sqrt{k/m}.$$

$$14.4. x = 0,02 \sin\left(0,5\pi t + \frac{\pi}{3}\right), \text{ м; } F_{\max} = 4\pi^2 v^2 m A = 1,97 \text{ мН.}$$

$$14.5. x = 0,01 \sin\left(\pi t + \frac{\pi}{4}\right), \text{ м; } E = kA^2 / 2 = 7,5 \text{ мДж.}$$

$$14.6. T = 2\pi\sqrt{l/g}; 1) T = 2\pi\sqrt{l/(g+a)}; 2) T = 2\pi\sqrt{l/(g-a)};$$

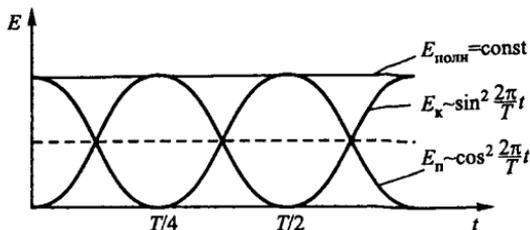
$$3) T = 2\pi\sqrt{l/\sqrt{g^2+a^2}}.$$

$$14.7. T = 2\pi\sqrt{m/k}.$$

14.9. Период колебаний математического маятника увеличивается, а пружинного не изменяется.

$$14.10. T = 20 \text{ с.}$$

$$14.11. g = 4\pi^2 N^2(l+d/2)/t^2 = 9,82 \text{ м/с}^2.$$



Р и с. 300

$$14.12. T = 2\pi\sqrt{\Delta l / g} = 0,44 \text{ с}; \quad T(m) = 2\pi\sqrt{m / k}.$$

$$14.13. T = 2\pi\sqrt{m(k_1 + k_2) / k_1 k_2}; \quad T = 2\pi\sqrt{m / (k_1 + k_2)}.$$

$$14.14. \Delta t = th / R_3 = 5,4 \text{ с}.$$

$$14.15. T_{\text{л}} = T\sqrt{g / g_{\text{л}}} = 2,5 \text{ с}.$$

$$14.16. T = \sqrt{T_1^2 + T_2^2} = 5,0 \text{ с}.$$

$$14.17. T_2 = T_1\sqrt{m_2 / m_1} = 1,0 \text{ с}.$$

$$14.18. \alpha_0 = 2\pi v_0 / gT = 0,3\pi = 54^\circ.$$

$$14.19. T = 2\pi\sqrt{x_0 / g} = 0,38 \text{ с}; \quad A = v_0\sqrt{x_0 / g} = 7,3 \text{ см}.$$

$$14.20. \omega = \sqrt{\frac{g}{l} + \frac{k}{m}}.$$

$$14.21. t = \pi\sqrt{l / g}(1 + \sqrt{0,5}) = 1,7 \text{ с}.$$

$$14.22. T = \sqrt{4\pi m / \rho g R^2} = 1,6 \text{ с}.$$

$$14.23. v = \frac{g}{2\pi v}\sqrt{2(1 - \cos\alpha)}; \text{ не изменится.}$$

$$14.24. A = v_0\sqrt{m / 2k} = 4,0 \text{ см}.$$

$$14.25. E = mgl(1 - \cos\alpha); \text{ увеличится.}$$

$$14.26. 1) E_{\eta} = \frac{kA^2}{2}\cos^2\sqrt{\frac{k}{m}}t; \quad 2) E_{\kappa} = \frac{kA^2}{2}\sin^2\sqrt{\frac{k}{m}}t; \quad 3) E = \frac{kA^2}{2} \text{ (рис. 300).}$$

$$14.27. \Delta x = 2x_0; \quad v_{\text{max}} = \sqrt{gx_0}; \quad \text{период колебаний } T = 2\pi\sqrt{x_0 / g}.$$

$$14.28. A = \frac{mg}{k}\sqrt{1 + \frac{2hk}{mg}}; \quad E = mg\left(h + \frac{mg}{2k}\right).$$

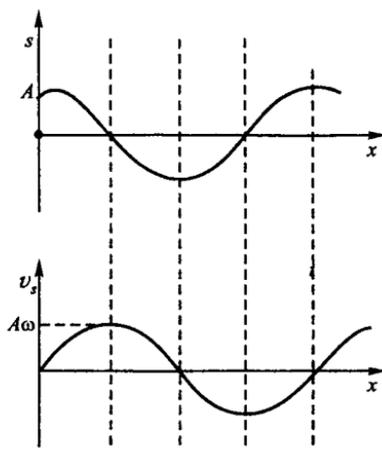
$$14.29. T = 2\pi A(M + m) / (mv) = 1,26 \text{ с}.$$

14.30. Резонанс. Период колебаний у груженого автомобиля больше и скорость меньше.

$$14.31. \Delta x = gl^2 / 4\pi^2 v^2 = 8,9 \text{ см}.$$

$$14.32. v = \frac{L}{2\pi}\sqrt{\frac{g}{l}} = 68 \text{ км/ч}.$$

$$14.33. l \neq gL^2 / 4\pi^2 v^2 = 16 \text{ см}.$$



Р и с. 301

15.1. $v = lc / (l + c\tau) = 330$ м/с, где c — скорость света.

15.2. $l = vct / (c - v) = 4,0$ км, где c — скорость света; v — скорость звука.

15.3. $v = lc / (l - c\tau) = 1,4$ км/с, где c — скорость света.

15.4. $\lambda = v / \nu = 21$ м.

15.5. $\lambda = v / \nu = 7,25$ м.

15.6. $\lambda_1 / \lambda_2 = \nu_1 / \nu_2 = 4,35$.

15.7. $\nu_1 / \nu_2 = \lambda_1 / \lambda_2 = 2,0$.

15.8. 1, 2) Продольные; 3) продольные и поперечные.

15.9. 1) Поперечные; 2) продольные.

15.10. $s(x, t) = A \sin \omega(t - x/v) = 1,7 \cdot 10^{-6} \sin 4\pi \cdot 10^3(t - x/340)$, м.

15.11. $s(x, t) = \frac{\lambda}{n} \sin 2\pi(\nu t - x^2/\lambda) = 7,5 \cdot 10^{-4} \sin 2\pi(1500t - x/0,15)$, м.

15.12. Рис. 301.

15.13. $A/\lambda = 5,0 \cdot 10^{-5}$.

15.14. $v = \omega/k = 0,34$ км/с; $u_{\max} = A\omega = 4,25$ мм/с.

15.15. $\Delta x = v/2\nu = 1,0$ м.

15.16. $\Delta\phi = 2\pi\nu\Delta x/v = \pi/2$.

15.17. Закрепленный в тисках.

15.18. Небольшое расстояние до стен.

15.19. Отражение звука от стен.

15.20. При приближении поезда $\nu_1 = \nu_0 \left(1 + \frac{u}{v}\right) = 0,73$ кГц. При удалении

поезда $\nu_2 = \nu_0 \left(1 - \frac{u}{v}\right) = 0,63$ кГц.

- IV.1. 1) $A = \frac{x}{\cos \arctg(v / \sqrt{xa})} = 4,0 \text{ см}$; 2) $T = 2\pi\sqrt{x/a} = 1,4 \text{ с}$;
 3) $\varphi = \arctg(v / \sqrt{xa}) = \pi / 12$.
- IV.2. $x = 0,0196 \cos\left(102t + \frac{\pi}{6}\right)$, м; $s = \frac{2A\omega t}{\pi} = 39 \text{ см}$.
- IV.3. $T = 2\pi\sqrt{mM / k(m+M)}$.
- IV.4. $T = \pi\sqrt{2l / \mu g} = 1,5 \text{ с}$.
- IV.5. 1) $x = Rt \cos\sqrt{g/R}$; 2) $t = \pi\sqrt{R/g} = 42 \text{ мин}$; $v = \sqrt{Rg} = 7,9 \text{ км/с}$.
- IV.6. $\alpha = 2\arctg(a/g)$.
- IV.7. $A = mg/k = 0,61 \text{ мм}$.
- IV.8. $T/8$; $3T/8$; $5T/8$; $7T/8$.
- IV.9. $\Delta\varphi = \Delta x \cdot 2\pi/\lambda = 2/3\pi$.
- IV.10. $v_2 = nv_1 = 356 \text{ Гц}$.

Г л а в а V

- 16.1. $m/m_H = 1,2 \cdot 10^{26}$.
- 16.2. $m = M/N_A$: 1) $1,7 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$; 2) $3,0 \cdot 10^{-26} \text{ кг}$; 3) $3,3 \cdot 10^{-25} \text{ кг}$.
- 16.3. $n_b > n_{пр}$.
- 16.4. $N = mN_A V / MSh = 10^6$.
- 16.5. 1) $N = \rho V N_A / M = 8,4 \cdot 10^{22}$; 2) $r = \sqrt[3]{M / \rho N_A} = 2,3 \cdot 10^{-10} \text{ м}$.
- 16.6. 1) $n = p / kT = 2,7 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$; 2) $r = 3,3 \cdot 10^{-9} \text{ м}$.
- 16.7. 1) $n = p / kT = 2,65 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-3}$; 2) $n = \rho N_A / M = 3,34 \cdot 10^{28} \text{ м}^{-3}$;
 3) $n = \rho N_A / M = 5,89 \cdot 10^{28} \text{ м}^{-3}$.
- 16.8. $\rho = 1,97 \text{ кг/м}^3$.
- 16.9. $v = m / M = 56 \text{ моль}$; $N = mN_A / M = 3,3 \cdot 10^{25}$.
- 16.10. $V = M_c N / \rho N_A = 0,57 \cdot 10^{-7} \text{ м}^3$.
- 16.11. $d = 3,3 \cdot 10^{-10} \text{ м}$.
- 16.12. $N = h/r = 340$.
- 16.13. $\eta = \rho V N_A 100 / M_{H_2O} = 37 \%$.
- 16.14. $L = mN_A d / M_{O_2} = 5,6 \cdot 10^9 \text{ м}$; $L/s = 15$.
- 17.1. Из-за столкновений перемещение молекул затруднено.
- 17.2. $\tau = pV/zkT = 8,4 \cdot 10^6 \text{ лет}$.
- 17.3. Чем меньше поверхность частицы, тем больше мера некомпенсированности ударов.
- 17.4. Поскольку скорость теплового движения молекул пропорциональна \sqrt{T} , скорость диффузии увеличивается с ростом температуры.
- 17.5. $n = mN_A / M\tau = 3,9 \cdot 10^{18} \text{ с}^{-1}$.
- 17.6. В атомарных газах атомы движутся поступательно от столкновения до столкновения. В кристалле атомы совершают колебания около определен-

ных равновесных положений, образующих симметричную пространственную структуру, называемую кристаллической решеткой.

17.10. Увеличилось.

18.2. Вследствие анизотропии коэффициент линейного расширения в разных направлениях различен.

$$18.3. \Delta l_1 = \Delta l_2 = l \Delta T = 36 \text{ мкм.}$$

$$18.4. l_2 / l_1 = \alpha_1 / \alpha_2.$$

18.6. Диаметр увеличится. Угол φ не изменится.

$$18.8. \sigma = E \alpha \Delta T = 46 \text{ МПа.}$$

$$18.9. \Delta F = E \alpha \Delta T S = 69 \text{ Н; } \Delta E_{\text{п}} = E S \alpha^2 \Delta T^2 / 2 = 34 \text{ мДж.}$$

$$18.11. \Delta S = S_0 2 \alpha \Delta T = 59 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2.$$

$$18.12. t_1 = \frac{\Delta l}{l(\alpha_{\text{ст}} - \alpha_{\text{ж}}) - \alpha_{\text{ж}} \Delta l} = 83 \text{ }^\circ\text{C; } t_2 = t_1 / 3 = 28 \text{ }^\circ\text{C.}$$

$$18.13. S = F / E \alpha \Delta l = 9,1 \text{ мм}^2.$$

$$18.14. \Delta V = V_0 \beta \Delta T = 15 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3.$$

$$18.15. \text{Объем вылившегося керосина будет меньше на } \Delta V = 3 \alpha_{\text{ж}} V_0 \Delta T = 5,4 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3.$$

$$18.16. \rho = \rho_0 / (1 + \beta \Delta T) = 13,36 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3.$$

$$18.17. \beta = (P_1 - P_2) / P_2 \Delta T = 1,0 \cdot 10^{-3} \text{ К}^{-1}.$$

$$18.18. \beta = (h_2 - h_1) / h_1 \Delta T.$$

18.19. Объем уменьшится.

18.20. Плотность воды минимальна при температуре $4 \text{ }^\circ\text{C}$.

$$18.21. R = d(1 + \alpha_c \Delta T) / (\alpha_{\text{ст}} - \alpha_c) \Delta T = 56 \text{ см.}$$

$$18.22. \Delta F_{\text{н}} = \frac{\rho_{\text{к}} m g \Delta T (\beta - 3\alpha)}{\rho_{\text{ж}} (1 + \beta \Delta T)} = 6,4 \text{ мН.}$$

Глава VI

$$19.1. v_{\text{N}_2} / v_{\text{O}_2} = \sqrt{M_{\text{O}_2} / M_{\text{N}_2}} = 1,07 \text{ азота.}$$

$$19.2. 1) v_2 = v_1 \sqrt{2}; 2) E_2 = 2 E_1; 3) U_2 = 2 U_1.$$

19.3. 1 — неон; 2 — гелий.

$$19.4. v_{\text{кв}} = \sqrt{3RT / M} = 1,37 \text{ км/с.}$$

$$19.5. v_{\text{кв}} = \sqrt{3p / \rho} = 1,7 \text{ км/с.}$$

$$19.6. \Delta T_2 = \Delta T_1 \frac{u_2^2 - u_1^2}{v_2^2 - v_1^2} = 183 \text{ К.}$$

$$19.7. n = p / kT = 2,9 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-3}; N = pV / kT = 5,8 \cdot 10^{21}.$$

$$19.8. V = mv^2 / 3p = 15 \text{ л.}$$

$$19.9. \rho_{\text{к}} = \frac{3p}{v^2} = 0,16 \text{ кг/м}^3; \rho_{\text{н}} = \frac{3pM_{\text{н}}}{v^2 M_{\text{к}}} = 10 \text{ г/см}^3.$$

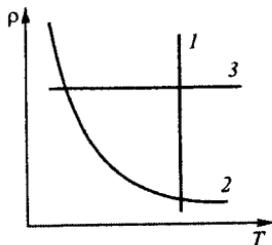


Рис. 302

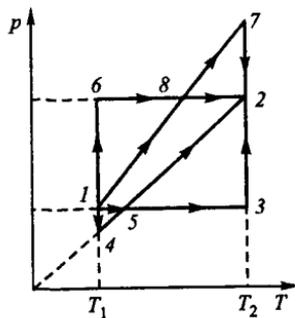


Рис. 303

19.10. Увеличится на 44 %.

19.11. $p = 2U / 3V = 10^5$ Па.

19.12. $T = v^2 M / 3R = 71$ К.

19.14. $N = pV / kT = 2,3 \cdot 10^7$.

19.15. $z = \frac{1}{\lambda} \sqrt{\frac{3RT}{M}} = 7,1 \cdot 10^9$.

19.16. На v^2 , вся кинетическая энергия перешла во внутреннюю энергию газа.

19.17. $\Delta U = \frac{3}{2} \nu R \Delta T = 12,4$ кДж.

20.1. 1) $pV = mRT/M$; 2) $pV = \nu RT$; 3) $pV = NkT$; 4) $p = nkT$; 5) $p = \rho RT/M$.

20.2. а) p и T ; б) V и T ; в) p, V, T . U_3 — максимальна, U_1 — минимальна.

20.3. $V = 10$ л.

20.4. $m = 22$ г.

20.5. Азот.

20.6. $\Delta m/m = 1/3$.

20.7. Рис. 302; 1 — изотерма, 2 — изобара, 3 — изохора.

20.8. Если $M_1 = M_2$ и $m_1 = m_2$, то $T_1 < T_2$; если $M_1 = M_2$ и $T_1 = T_2$, то $m_1 < m_2$; если $m_1 = m_2$ и $T_1 = T_2$, то $M_1 > M_2$.

20.9. $p_2/p_1 = \text{tg } \alpha_1 / \text{tg } \alpha_2$.

20.10. $V(T) = \sqrt{\nu RT / C}$, где C — постоянный коэффициент.

20.11. а, б) Увеличивается.

20.12. Увеличилась масса.

20.13. Давление увеличилось.

20.14. Уменьшилась масса.

20.15. Рис. 303: 1) 1 — 3 — 2, 1 — 6 — 2; 2) 1 — 4 — 2, 1 — 7 — 2;

3) 1 — 5 — 2, 1 — 8 — 2.

20.21. $V_2 = p_1 V_1 / p_2 = 21$ л.

20.22. $p_2 = p_1 T_2 / T_1 = 1,0 \cdot 10^5$ Па.

20.23. $T_2 = T_1 V_2 / V_1 = 348$ К.

$$20.24. \Delta m = m_1(T_2 - T_1) / T_2 = 25 \text{ г}; \quad m(T) = m_n T_n / T.$$

$$20.25. \Delta p / p = (T_1 - T_2) / 100 / T_1 = 30 \text{ \%}.$$

$$20.26. V_2 / V_1 = 1,11.$$

$$20.27. T = \Delta T / n = 0,33 \text{ КК}.$$

$$20.28. T_1 = M_k T / M_a = 0,31 \text{ КК}.$$

$$20.29. \Delta m = \frac{pVM}{R} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right) = 2,5 \text{ кг}.$$

$$20.30. p_2 = M_1 V_1 T_2 p_1 / M_2 V_2 T_1 = 8,0 \cdot 10^5 \text{ Па}.$$

$$20.31. T_2 = (p_2 + p_a) T_1 / (p_1 + p_a) = 258 \text{ К}.$$

$$20.32. \frac{S_1}{S_2} = \frac{T_2}{T_1} \left(1 + \frac{p_a}{p_1} \right) - \frac{p_a}{p_1} = 1,2.$$

$$20.33. m = pVM / RT = 0,41 \text{ кг}.$$

$$20.34. m_a = \frac{1}{10} \frac{m_a M_n T_1}{M_a T_2} = 17 \text{ г}.$$

$$20.35. p = \rho g H (h_1 - h_2 \sin \alpha) / (h_1 - h_2) = 1,0 \cdot 10^5 \text{ Па}.$$

$$20.36. h = \frac{(L + H) - \sqrt{(L + H)^2 - 4HL} / 3}{2} = 3,1 \text{ см}.$$

$$20.37. \Delta h = h_1 (1 + h_2 / H) = 5,0 \text{ см}.$$

20.38. Опустится в правом колене на

$$\Delta h = \frac{H + h + l}{2} - \sqrt{\frac{(H + h + l)^2}{4} - l(H + h)} \left(1 - \frac{T_2}{T_1} \right) = 9,1 \text{ мм}.$$

$$20.39. m = \rho V \left(1 - \frac{p}{p_a + \rho g h} \right) = 0,17 \text{ кг}.$$

$$20.40. F = \pi d^2 p_a (T - T_0) / 4 T_0 = 26 \text{ Н}.$$

$$20.41. t = (n - 1) V / V_1 = 4,0 \text{ мин}.$$

$$20.42. n = \log(p_a / p) / \log(1 + V_1 / V_2) = 80.$$

$$20.43. F = 3m_1 RT / rM - \pi r^2 p_a - m_2 g = 0,50 \text{ кН}.$$

$$20.44. V_n / V = m_n M_a / (m_n M_n + m_n M_a) = 0,65.$$

$$20.45. \Delta l = 2V \Delta T / n d^2 T = 5,5 \text{ см}.$$

$$20.46. p = 2 p_1 p_2 / (p_1 + p_2) = 0,15 \text{ МПа}.$$

$$20.47. p = \frac{RT}{V} \left(\frac{m_k}{M_k} + \frac{m_a}{M_a} \right) = 0,46 \text{ МПа}.$$

$$20.48. m_y = \left(\frac{pV}{RT} - \frac{m}{M_k} \right) \frac{M_k M_y}{M_k - M_y} = 5,5 \text{ г}; \quad m_k = \left(\frac{pV}{RT} - \frac{m}{M_y} \right) \frac{M_k M_y}{M_y - M_k} = 34,5 \text{ г}.$$

$$20.49. p = p_0 + mRT / MV = 14 \text{ кПа}.$$

$$20.50. M_u = M_a M_k / (M_a n_k + M_k n_a) = 29 \text{ г/моль}.$$

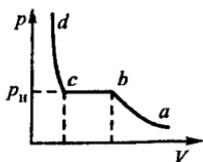


Рис. 304

21.1. Рис. 304.

21.2. При сжатии молекулы идеального газа чаще сталкиваются и давление газа увеличивается; часть молекул насыщенного пара перейдет в жидкость, при этом давление остается прежним.

21.3. $V < mRT / Mp_n = 100$ л.

21.4. Охладить до 3°C .

21.5. Уровень воды в трубке будет понижаться. При 100°C вода в стакане и трубке будет на одном уровне.

21.6. $\rho = Mp_n / RT = 0,58$ кг/м³.

21.7. $n = \rho_n RT / Mp_n = 5,8 \cdot 10^4$.

21.8. $V = (m_1 + m_2)RT / p_n M = 2,3$ л.

21.9. $p_2 = np_1 = 10^5$ Па, будет происходить конденсация пара.

21.10. Надо ввести столько пара, чтобы он, сконденсировавшись, заполнил весь сосуд.

21.11. $\Delta h = p_n / \rho g = 18,7$ мм.

21.12. Надо наклонить трубку. Если уровни воды в ее коленах будут одинаковыми, то над водой находится насыщенный пар, а если различны, то воздух.

21.13. $p = \frac{p_0 T}{T_0} + \frac{mRT}{MV} = 0,17$ МПа.

21.14. $p_2 = \frac{p_1 T_2}{T_1} + p_n = 0,23$ МПа; масса неиспарившейся воды

$$\Delta m = m - \frac{p_n MV}{RT_2} = 4,2 \text{ г.}$$

21.15. $V_k / V_n = M_n m_k / M_k m_n = 1$, поршень установится посередине цилиндра.

21.16. $\rho_2 = p_{2n} M / RT_2 = 9,4$ г/м³, выпадет роса.

21.17. $\varphi = 1 - RTm / MVp_n = 59\%$.

21.18. $\Delta m = m_1 - m_2 = \frac{MV}{R} \left(\frac{\varphi p_{1n}}{T_1} - \frac{p_{2n}}{T_2} \right) = 27$ г.

21.19. $\varphi_2 = \varphi_1 + \frac{mRT}{MVp_n} = 61\%$.

21.20. $\varphi = \left[1 - \frac{mg(H-h)}{SHp_n} \right] \cdot 100 = 70\%$

21.21. При повышении температуры.

21.22. $\varphi_2 = \varphi_1 n p_{1n} T_2 / p_n T_1 = 7,1\%$.

21.23. $\rho = \varphi p_n M / RT = 9,2$ г/м³.

21.24. $\varphi_2 = \varphi_1 p_{1n} / p_{2n} = 24\%$.

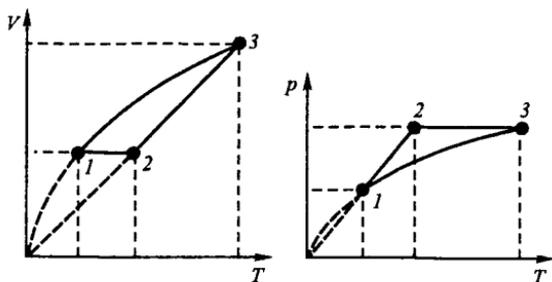


Рис. 305

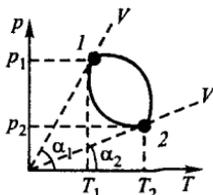


Рис. 306

21.25. $\Delta t = 7^\circ\text{C}$. При понижении температуры воздуха на улице до точки росы пар вблизи оконных стекол становится насыщающим.

$$21.26. m = \frac{MV}{R} \left(\frac{\varphi_1 p_{1н}}{T_1} - \frac{p_{2н}}{T_2} \right) = 2,4 \text{ г.}$$

$$21.27. \varphi = (\varphi_1 S_1 + \varphi_2 S_2) / (S_1 + S_2) = 56 \%$$

$$\text{VI.1. } \Delta h = 0.$$

$$\text{VI.2. } \Delta m/m = 0,2; p_2/p_1 = 1,2.$$

VI.3. Рис. 305.

VI.4. Рис. 306. 1) В состоянии 1; 2) в состоянии 2.

$$\text{VI.5. } T_{\max} = 9 p_0 V_0 / 4R = 0,41 \text{ КК.}$$

$$\text{VI.6. } h = (1 - \varphi)(l + H / \varphi) = 31 \text{ см,}$$

$$\text{где } H = p_a / \rho_{\text{рт}} g = 0,76 \text{ м.}$$

Глава VII

22.1. У железа.

22.2. Наибольшую теплоемкость имеет железо, наименьшую — свинец.

22.3. У второго тела.

22.4. 1) $c_2 > c_1$; 2) $m_2 > m_1$.

$$22.5. T_1 = T_2.$$

$$22.7. C_v / C_x = 1/2.$$

$$22.8. v = \sqrt{v_1^2 + v_2^2} / 2 = 0,45 \text{ км/с.}$$

$$22.9. V_2 = V_1(T_1 - T_3) / (T_3 - T_2) = 0,80 \text{ л.}$$

$$22.10. V_1 = V(T_2 - T_3) / (T_2 - T_1) = 60 \text{ л; } V_2 = V(T_3 - T_1) / (T_2 - T_1) = 50 \text{ л.}$$

$$22.11. T = (c_1 m_1 T_1 + c_2 m_2 T_2) / (c_1 m_1 + c_2 m_2) = 364 \text{ К.}$$

$$22.12. \Delta T = c_3 m_3 (T_1 - T_2) / (c_1 m_1 + c_2 m_2 + c_3 m_3) = 1,2 \text{ К.}$$

$$22.13. m_1 / m_2 = c_2 (T_0 - T_2) / c_1 (T_1 - T_0).$$

$$22.14. c_x = c_m m_m (T_2 - T_m) (T_x - T_1) / m_k (T_1 - T_2) (T_x - T_k) = 0,90 \text{ кДж/(кг} \cdot \text{К);}$$

$$c_x = c_m m_m (T_2 - T_m) (T_1 - T_k) / m_k (T_1 - T_2) (T_x - T_k) = 42 \text{ кДж/(кг} \cdot \text{К).}$$

22.15. Рис. 307.

$$22.16. T = \frac{CT_1 + c_n m T_0 - \lambda m - c_n m (T_0 - T_2)}{C + c_n m} = 279 \text{ К,}$$

где T_0 — температура плавления льда.

22.17. $t_0 = 0$ °С. В сосуде кроме воды будет лед в количестве

$$m = m_1 - \frac{C(T_1 - T_0) - c_n m_1 (T_0 - T_2)}{\lambda} = 2,9 \text{ г.}$$

$$22.18. T = \frac{c_n m_2 (T_1 - T_0) + \lambda m_2 + c_n m_3 T_2 + c_n m_1 T_1 + c_n m_2 T_0}{c_n m_1 + c_n (m_2 + m_3)} = 271 \text{ К, где } T_0 \text{ — тем-}$$

пература заморзания воды.

$$22.19. m = [\lambda m_1 + c_n (m_1 + m_2) (T_1 - T)] / [r + c_n (T_2 - T_1)] = 3,5 \text{ кг.}$$

$$22.20. m_2 / m = r / (r + \lambda) = 0,87.$$

$$22.21. U = m(r - RT / M) = 21 \text{ МДж.}$$

$$22.22. p = m_1 R \left[\frac{3}{2} p_0 V + m_2 (c_n T_0 - \lambda) \right] / M_1 V \left(\frac{3m_1}{2M_1} R + c_n m_2 \right) = 88 \text{ кПа.}$$

$$22.23. Q = \left(\frac{3}{2} \nu R + C \right) \Delta T = 1,4 \text{ кДж.}$$

$$22.24. Q_1 = \frac{3}{5} Q = 1,8 \text{ кДж.}$$

$$22.25. T_2 = T_1 + 2Q / 5\nu R = 373 \text{ К; } U/V \text{ не изменится.}$$

$$22.26. p = p_a + 2Q / 3V = 0,14 \text{ МПа.}$$

$$22.27. \eta = c m_1 (T_2 - T_1) \cdot 100 / q m_2 = 8 \text{ \%}.$$

$$22.28. \eta_1 = (c_n \rho V + c_n m_1) (T_2 - T_1) \cdot 100 / q m_2 = 38 \text{ \%};$$

$$\eta_2 = c_n \rho V (T_2 - T_1) \cdot 100 / q m_2 = 36 \text{ \%}.$$

$$22.29. m_2 = m_1 \left[1 - \frac{c(T_k - T) \tau_2}{r \tau_1} \right] = 0,96 \text{ кг; } \eta = c_n m_1 (T_k - T_1) \cdot 100 / N \tau_1 = 89 \text{ \%}, \text{ где}$$

T_k — температура кипения воды.

$$22.30. Q = cS\Delta\rho / \alpha = 3,6 \text{ МДж.}$$

$$22.31. Q = c\rho\Delta V / 3\alpha = 0,66 \text{ МДж.}$$

$$22.32. H = 1,0 \text{ см.}$$

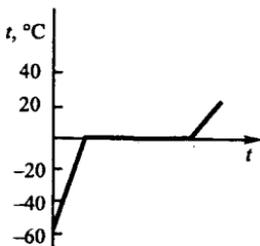


Рис. 307

$$23.1. Q = mv^2 / 2 = 50 \text{ кДж.}$$

$$23.2. A = 2m\lambda = 3,0 \text{ кДж.}$$

23.3. 1) Медный; 2) железный.

$$23.4. \Delta T = n(v_1^2 - v_2^2) / 2c = 173 \text{ К.}$$

$$23.5. \Delta T = ngh/c = 12 \text{ мК.}$$

$$23.6. \Delta T = v^2/2c; \Delta T_1 = 23 \text{ мК; } \Delta T_2 = 12 \text{ мК;}$$

$$\Delta T_3 = 21 \text{ мК; } \Delta T_4 = 31 \text{ мК.}$$

$$23.7. N = (c\rho V\Delta T + rm) / n\tau = 13 \text{ кВт.}$$

$$23.8. v = \sqrt{2(c\Delta T + \lambda)} = 0,36 \text{ км/с.}$$

- 23.9. $h = (cm\Delta T + \lambda m) / nMg = 2,9$ м.
- 23.10. $Q = \frac{m}{2}(v_1 - v_2) \left[(v_1 + v_2) - \frac{m}{M}(v_1 - v_2) \right] = 4,6$ кДж.
- 23.11. $\Delta T = nMv^2 / 2c(m + M) = 27$ К.
- 23.12. $\Delta T = n(v_0^4 + g^2 l^2) / 2cv_0^2 = 20$ мК.
- 23.13. $Q = (m^2 v_1^2 - M^2 v_2^2) / 2M = 40$ мДж.
- 23.14. $Q_1 / Q_2 = H / (H - h) = 1,25$.
- 23.15. $\Delta T = ng(\rho - \rho_n)vt / c\rho = 1,2$ мК.
- 23.16. $M = mv^2 / 2q\eta = 2,2$ г.
- 23.17. $m = Ns / \eta qv = 74$ г.
- 23.18. $N = \eta mqv / s = 29$ кВт.
- 23.19. $\Delta m = Mghs / \eta lq = 21$ г.
- 23.20. $m_2 = m_1 v_2 / v_1 = 0,10$ кг; $N = \eta m_1 qv_2^2 / sv_1 = 32$ кВт.
- 24.1. Да.
- 24.2. $Q = 3mR\Delta T / 2M = 2,5$ кДж; $c = 3R / 2M = 3,1$ кДж/(кг · К).
- 24.3. $\Delta U = Q = 3pV\Delta T / 2T = 1,0$ кДж.
- 24.4. $Q = 3V(p_2 - p_1) / 2 = 3,0$ кДж.
- 24.5. $T_2 = T_1(1 + 2Q / 3p_1V) = 0,33$ кК; $p_2 = p_1 + 2Q / 3V = 0,57$ МПа.
- 24.6. $Q = 3(n-1)\nu RT / 2 = 22$ кДж.
- 24.7. $Q = 3mRT(n-1) / 2Mn = 1,2$ кДж.
- 24.8. Можно.
- 24.9. $Q = A$.
- 24.10. $T_2 / T_1 = V_2 / V_1$; $A = p_0(V_2 - V_1)$.
- 24.11. $A = p_2(V_2 - V_1)$.
- 24.12. а) $A = p_2(V_2 - V_1) + p_1(V_3 - V_2)$; б) $A = (P_2 - P_1)(V_2 - V_1)$.
- 24.13. $\Delta U = \frac{3}{5}Q = 12$ кДж; $A = \frac{2}{5}Q = 8,0$ кДж.
- 24.14. $Q = 5mR\Delta T / 2M = 25$ Дж.
- 24.15. $V_2 = V_1 + \frac{2Q}{5p} = 30$ л. $\frac{T_2}{T_1} = 3,0$.
- 24.16. $A = (n-1)mRT / nM = 8,3$ кДж.
- 24.17. $Q = 5\nu RT(n-1) / 2n = 2,8$ кДж; $\Delta U / Q = 3 / 5 \cdot 100 = 60$ %.
- 24.18. $T_2 = T_1 + \frac{2MA}{3mR} = 312$ К.
- 24.19. $A = (p_a + mg / S)V\Delta T / T = 80$ Дж.
- 24.20. $h = R\Delta T / [p_a S - (M - m)g] = 1,6$ м.
- 24.21. 1) $A = \nu RT_0 = 2,3$ кДж; 2) $\Delta U = -\frac{3}{4}\nu RT_0 = -1,7$ кДж;

$$3) Q = \frac{\nu RT_0}{4} = 0,57 \text{ кДж.}$$

$$24.22. A = \nu R(T - T_1)^2 / T_1 = 2,7 \text{ кДж.}$$

$$24.23. Q = \frac{\nu M}{6} (5v_3^2 - 2v_1v_3 - 3v_1^2) = 1,3 \text{ кДж.}$$

$$24.24. A = -2\nu RT_0 = -6,8 \text{ кДж.}$$

$$24.27. \eta = A \cdot 100 / (A + Q) = 20 \%$$

$$24.28. \eta = 2(n_1 - 1)(n_2 - 1) \cdot 100 / (5n_1n_2 - 2n_1 - 3) = 17 \%$$

$$24.29. \eta = (T_1 - T_4 - T_2 + T_3) \cdot 100 / (T_1 - T_4) = 25 \%$$

$$24.30. \eta = (n - 1) \cdot 100 / (n + 4) = 38 \%$$

$$24.31. \eta = 2\pi \cdot 100 / (20 + \pi) = 27 \%$$

$$24.32. \eta_2 = \left[1 - \frac{94}{118}(1 - \eta_1) \right] \cdot 100 = 53 \%$$

$$24.33. \eta_{\max} = (T_1 - T_2) \cdot 100 / T_1 = 49 \%$$

$$24.34. A = Q(T_1 - T_2) / T_1 = 0,88 \text{ кДж.}$$

$$24.35. \Delta U = A(1 - \eta) = 1,4 \text{ кДж.}$$

$$24.36. Q_x / Q_n = T_x / T_n = 1/3.$$

$$24.37. T_2 = nT_1 = 0,30 \text{ К.}$$

$$24.38. \eta_2 / \eta_1 = (T_1 + \Delta T - T_2)T_1 / (T_1 - T_2)(T_1 + \Delta T) = 2,0.$$

$$24.39. \eta_1 = A \cdot 100 / mq = 24 \%; \eta_2 = (T_1 - T_2) \cdot 100 / T_n = 42 \%$$

$$24.40. N = (T_1 - T_2)mq / T_1\tau = 44 \text{ кВт.}$$

$$\text{VII.1. } m_n / m = c\Delta T / \lambda = 0,062.$$

$$\text{VII.2. } T = \frac{1}{M+m} \left(mT_1 + MT_2 + \frac{Mmv^2}{2c(M+m)} \right) = 304 \text{ К.}$$

$$\text{VII.3. } Q = (c\Delta T + \lambda)m + N\tau = 1,2 \text{ кДж.}$$

$$\text{VII.4. } A = mRT / M = 0,17 \text{ МДж; } U = rm - mRT / M = 2,1 \text{ МДж.}$$

$$\text{VII.5. } Q_1 = 5p_0V_0 / 4 = 1,9 \text{ кДж; } Q_2 = p_0V_0 / 4 = 0,38 \text{ кДж.}$$

$$\text{VII.6. } \eta = 2(n-1)^2 / (4n^2 + 3n - 7) = 13 \%$$

$$\text{VII.7. } \eta = (p_2 - p_1)(V_2 - V_1) \cdot 100 / [3(p_2V_2 - p_1V_1) + 2p_2(V_2 - V_1)] = 9,1 \%$$

$$\text{VII.8. } \eta = (p_2 - p_1)(V_2 - V_1) \cdot 100 / [3(p_1V_2 - p_2V_1) + 2p_2(V_2 - V_1)] = 10 \%$$

$$\text{VII.9. } A = rm = 6,9 \text{ кДж; } \Delta T = rm/c\rho V = 1,6 \text{ К.}$$

$$\text{VII.10. } c = r(m - MpV / RT_k) / m(T_k - T) = 1,5 \text{ кДж/(кг} \cdot \text{К).}$$

Г л а в а VIII

$$25.1. \Delta\beta = 13,4^\circ$$

$$25.2. q = nemN_A / M = 44 \text{ МКл.}$$

25.3. Нет.

$$25.4. F_x / F_r = ke^2 / Gm_e^2 = 4,2 \cdot 10^{42}.$$

$$25.5. q = \sqrt{GM_3 M_n / k} = 5,7 \cdot 10^{13} \text{ Кл.}$$

$$25.6. R = \sqrt[3]{9ke^2 / 16\pi^2 \rho^2 G} = 76 \text{ мкм.}$$

$$25.7. F = k \left(\frac{nmN_A z e}{Mr} \right)^2 = 2,6 \text{ кН.}$$

$$25.8. q_{1,2} = (kq \pm \sqrt{k^2 q^2 - 4kFr^2}) / 2k; \quad q_1 = 38 \text{ мкКл}; \quad q_2 = 12 \text{ мкКл.}$$

25.9. $x = r\sqrt{q_3 / q_1} = 4,5 \text{ см}$ от заряда q_2 на продолжении линии, соединяющей заряды q_1 и q_2 .

25.10. На расстоянии $l/3$ от q надо поместить положительный заряд $Q = \frac{4}{9}q$.

$$25.11. F = \frac{kqq_0}{r^3} = 32 \text{ мкН.}$$

$$25.12. F = kq^2 \sqrt{3} / a^2 = 50 \text{ мкН.}$$

25.13. В центре треугольника надо поместить заряд противоположного знака $Q = \sqrt{3}q / 3 = 5,8 \text{ мкКл.}$

$$25.14. F = kqQ / 2\pi R^2.$$

$$25.15. Q = \frac{2\sqrt{2}+1}{4}q.$$

$$25.16. r = 2q\sqrt{k/3mg} = 35 \text{ см.}$$

$$25.17. F_n = mg + kq^2 \sqrt{3} / a^2.$$

$$25.18. q = 2r\sqrt{F/k} = 30 \text{ нКл.}$$

25.19. Шарики соприкоснутся, а потом разойдутся на расстояние $r_1 = r / \sqrt[3]{4} = 3,2 \text{ см.}$

$$25.20. \epsilon = r_1^2 / r_2^2 = 81.$$

$$25.21. \rho = \rho_k \epsilon / (\epsilon - 1) = 1,6 \text{ г/см}^3.$$

$$25.22. R = \sqrt[3]{7ke^2 / 4m_e \omega^2}.$$

$$25.23. T = 2\pi l \sqrt{\frac{ml \cos \alpha}{mgl^2 - 2kq^2 \cos \alpha}}.$$

$$25.24. a_n = g \operatorname{tg} \alpha - \frac{kq^2}{4ml^2 \sin^2 \alpha}; \quad v = \sqrt{gl \sin \alpha \cdot \operatorname{tg} \alpha - \frac{kq^2}{4ml \sin \alpha}};$$

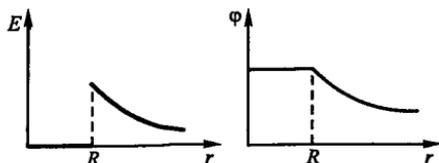
$$\omega = \sqrt{\frac{g}{l \cos \alpha} - \frac{kq^2}{4ml^3 \sin^3 \alpha}}.$$

$$26.1. 1) E(r) = kq / r^2, \quad \varphi = kq / r; \quad 2) E(x, y) = kq / (x^2 + y^2),$$

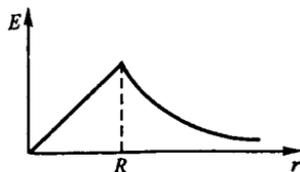
$$\varphi(x, y) = kq / \sqrt{x^2 + y^2}.$$

$$26.3. a) E_2 > E_1; \quad б) E_1 > E_2; \quad в) E_1 = E_2.$$

$$26.4. r_1 = l\sqrt{q_1} / (\sqrt{q_1} + \sqrt{q_2}) = 0,11 \text{ м.}$$



Р и с. 308



Р и с. 309

$$26.5. E_0 = \frac{4E_A E_C}{E_C + 2\sqrt{E_C E_A} + E_A} = 16 \text{ В/м.}$$

$$26.6. E_{(0;0)} = 25 \text{ кВ/м; } E_{(0;3)} = E_{(0;-3)} = 8,8 \text{ кВ/м; параллельно оси } x.$$

$$26.7. \text{Точка с координатами } (4; 0).$$

$$26.8. E = 37 \text{ кВ/м; под углом } \alpha = 66^\circ \text{ к оси } x.$$

$$26.9. E = 1,15kq/a^2 = 0,10 \text{ МВ/м.}$$

$$26.10. E = kp/d^3 = 18 \text{ кВ/м.}$$

$$26.11. q = d^3 E / kl = 1,6 \text{ нКл.}$$

$$26.12. \varphi_0 = 2\varphi_A \varphi_C / (\varphi_A + \varphi_C) = 7,5 \text{ В.}$$

$$26.13. \varphi_1 = 2kq/a = 0,20 \text{ кВ; } \varphi_2 = 2kq/\epsilon a = 0,10 \text{ кВ.}$$

$$26.14. x = a/2.$$

$$26.15. E = 3\sqrt{2}kq/4R^2 = 1,1 \text{ кВ/см; } \varphi = 3\sqrt{2}kq/2R = 6,4 \text{ кВ.}$$

$$26.16. E = kql / (l^2 + R^2)^{3/2}; \quad \varphi = kq / \sqrt{l^2 + R^2}; \quad \text{в центре кольца } E = 0;$$

$$\varphi = kq / R; \quad E_{\max} \text{ на расстоянии } l = \sqrt{2}R / 2.$$

$$26.17. E_1 = 0, \quad \varphi_1 = q / 4\pi\epsilon_0 R = 10 \text{ В; } E_2 = q / 4\pi\epsilon_0 r^2 = 1,1 \text{ В/м,}$$

$$\varphi_2 = q / 4\pi\epsilon_0 r = 1,0 \text{ В.}$$

$$26.18. \varphi_i = \varphi^3 N / N = 0,10 \text{ В.}$$

$$26.19. E = 0, \quad \varphi_i = R\sigma / \epsilon_0, \quad 0 \leq r \leq R; \quad E = R^2\sigma / \epsilon_0 r^2, \quad \varphi = R^2\sigma / \epsilon r, \quad r > R$$

(рис. 308).

$$26.20. \text{Нет.}$$

$$26.21. \sigma = 2\epsilon_0\varphi / D = 29,5 \text{ нКл/м}^2.$$

$$26.22. R = r\varphi_2 / \varphi_1 = 6,0 \text{ см.}$$

$$26.23. E_0 = 0; E_A = q_1 / 4\pi\epsilon_0 r_1^2 = 22 \text{ кВ/м; } E_C = (q_1 + q_2) / 4\pi\epsilon_0 r_2^2 = -18 \text{ кВ/м.}$$

$$26.24. \varphi_0 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{q_1}{R_1} + \frac{q_2}{R_2} \right) = 60 \text{ В; } \varphi_1 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{q_1}{r_1} + \frac{q_2}{R_2} \right) = 15 \text{ В;}$$

$$\varphi_2 = (q_1 + q_2) / 4\pi\epsilon_0 r_2 = 0.$$

$$26.25. R = (4q_1 + 3q_2) / 24\pi\epsilon_0\varphi = 50 \text{ см.}$$

$$26.26. E = \rho r / 3\epsilon_0, \quad 0 \leq r \leq R; \quad E = \rho R^3 / 3\epsilon_0 r^2, \quad r > R \text{ (рис. 309).}$$

$$26.27. E_1 = \rho r_1 / 3\epsilon_0 \epsilon = 3,8 \text{ В/м; } E_2 = \rho R^3 / 3\epsilon_0 \epsilon r_2^2 = 6,3 \text{ В/м, внутри диэлек-}$$

$$\text{трика; } E_2 = \rho R^3 / 3\epsilon_0 r_2^2 = 18,9 \text{ В/м, вне диэлектрика; } E_3 = \rho R^3 / 3\epsilon_0 r_3^2 = 4,7 \text{ В/м}$$

(рис. 310).

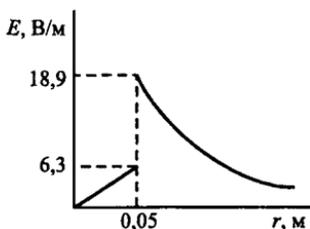


Рис. 310

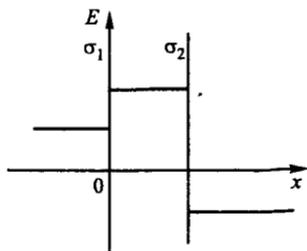


Рис. 311

26.28. 1) $E = 0,23 \text{ кВ/м}$; 2) $E = 113 \text{ В/м}$ (рис. 311).

26.29. 1) $E = 0$; 2) $E = 0,30 \text{ МВ/м}$ (рис. 312).

26.30. $\Delta\varphi = kq(r_2 - r_1) / r_1 r_2 = 45 \text{ В}$.

26.31. $A = kq^2(r_1 - r_2) / r_1 r_2 = 0,16 \text{ Дж}$.

26.32. $A = kq_1 q_2 r_2 / r_1(r_1 + r_2) = 40 \text{ мкДж}$.

26.33. $W_p = kq_1 q_2 / r = 9,0 \text{ мкДж}$.

26.34. $v = e\sqrt{k / m_e r} = 0,16 \text{ км/с}$.

26.35. $r = ke^2 / m_e v^2 = 0,25 \text{ мм}$.

26.36. $T = e^2 / 12\pi\epsilon_0 k r = 5,6 \text{ ГК}$, где k — постоянная

Больцмана.

26.37. $R = q_1 q_2 / 2\pi\epsilon_0 m v^2 = 81 \text{ см}$.

26.38. $W_p = -5q^2 / 4\pi\epsilon_0 a$.

26.39. 1) $v = e\sqrt{2k / m_e r} = 0,23 \text{ км/с}$; 2) $v = e\sqrt{3k / m_e r} = 0,27 \text{ км/с}$.

26.40. $v_2 = \sqrt{v_1^2 + \frac{2e(\varphi_2 - \varphi_1)}{m_e}} = 3,0 \cdot 10^6 \text{ м/с}$.

26.41. $r = \left(\frac{m_p v^2}{4ke^2} + \sqrt{\frac{E}{2ke}} \right)^{-1} = 49 \text{ нм}$.

26.42. $A = -2kq^2 / a = -60 \text{ мкДж}$.

26.43. $A = -kq_1 q_2 r / R(R+r) = -2,6 \text{ мкДж}$.

26.44. $q = -2mgh^2 / kq_0 = -3,9 \text{ мкКл}$.

26.45. $F_n = mg(3 - 2\cos\alpha) + \frac{kq^2}{l^2} \left(3 - \frac{2}{\sqrt{5 - 4\cos\alpha}} \right) = 3,1 \text{ Н}$.

26.46. $v = \sqrt{v_0^2 + e^2 E^2 t^2 / m_e^2} = 2,3 \cdot 10^6 \text{ м/с}$; $\alpha = \arctg(eEt / m_e v_0) = 45^\circ$.

26.47. $s = m_e v^2 / 2eE = 2,4 \text{ см}$; $t = m_e v / eE = 47 \text{ нс}$.

26.48. $F_n = mg - qE - \frac{m v_0^2}{2l} = 50 \text{ мН}$.

26.49. $y = \frac{mg}{qE} x$; $\Delta p = \sqrt{2mq\Delta\varphi + \frac{2m^3 g^2 \Delta\varphi}{qE^2}} = 6,1 \cdot 10^{-4} \text{ кг} \cdot \text{м/с}$.

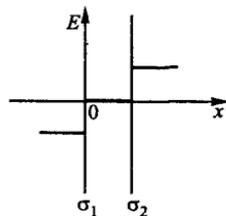


Рис. 312

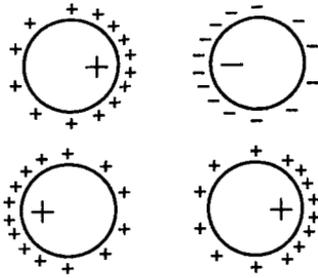


Рис. 313

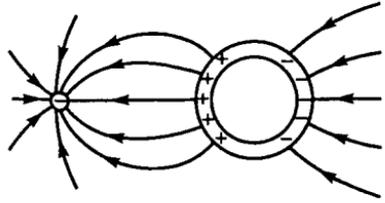


Рис. 314

26.50. $q = mgd/\Delta\varphi = 9,8 \cdot 10^{-16}$ Кл; $U_1 = mgd\Delta\varphi/(mgd - eN\Delta\varphi) = 17$ кВ.

27.3. Как в случае проводника, так и в случае диэлектрика стержень в однородном поле разворачивается вдоль силовых линий, а в неоднородном еще будет двигаться в сторону возрастания величины напряженности.

27.4. Проводник A ввести внутрь проводника C и коснуться его внутренней стенки.

27.5. Заряженный пробный шарик внести, не касаясь, внутрь полого проводника, прикоснуться к проводнику пальцем и затем шарик удалить. Так же поступить со вторым проводником.

27.6. Заземленный проводник поднести, не касаясь, к заряженному, затем убрать заземление.

27.7. Электростатическая индукция приводит к такому перераспределению зарядов на шарах, при котором одноименные заряды оказываются на большем расстоянии, чем разноименные (рис. 313).

27.8. Это возможно, если заряд одного из шариков много больше заряда другого.

27.9. Нет (незаряженное тело вследствие электростатической индукции также будет притягиваться).

27.10. Да.

27.11. Да.

27.12. Напряженность поля внутри шарика равна нулю. В случае заряженного шарика ответ не изменится.

27.13. Рис. 314.

27.14. Рис. 315. На внутренней поверхности плотность зарядов не одинакова. На внешней поверхности заряды свободны и поэтому распределены равномерно. Число силовых линий внутри и вне проводника одинаково.

27.15. $\varphi = ER = 33$ кВ; $q = ER^2/k = 37$ нКл.

27.16. $\varphi = 2\varphi_1\varphi_2 / (\varphi_1 + \varphi_2) = 24$ В.

27.17. $Q = k(q_1 - q_2)^2 / 4R = 18$ мкДж.

27.18. $q' = q / 2$.

27.19. $F = q(E_2 - E_1) / 2$.

27.20. $F = kq^2 / (2r)^2 = 0,25$ мН.

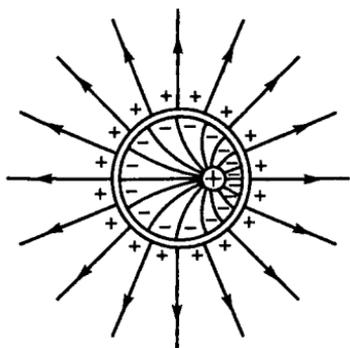


Рис. 315

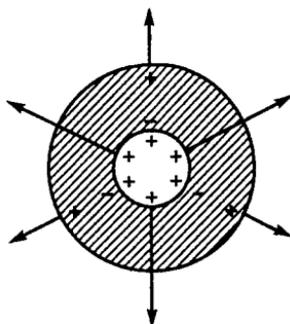


Рис. 316

$$27.21. \varphi = \frac{kq}{r_2} - \frac{kq}{\sqrt{(2r_1)^2 + r_2^2}} = 0,12 \text{ кВ.}$$

$$27.22. q = 2(r - l \sin \alpha) \sqrt{mg \operatorname{tg} \alpha / k} = 20 \text{ нКл.}$$

$$27.23. k = q^2 / 16\pi\epsilon_0 r^2 \Delta r = 49 \text{ Н/м.}$$

$$27.24. \epsilon_n > \epsilon_n.$$

$$27.25. \text{Рис. 316.}$$

$$27.26. E_1 = kq / \epsilon r_1^2 = 5,0 \text{ кВ/м; } E_2 = kq / r_2^2 = 3,8 \text{ кВ/м.}$$

$$27.27. q' = 4\pi R^2 \alpha (\epsilon - 1) / \epsilon = 31 \text{ пКл.}$$

$$27.28. \sigma_{\text{св}} = \epsilon_0 (\epsilon - 1) \Delta \varphi / \epsilon d = 0,88 \text{ мкКл/м}^2.$$

28.1. Потенциал большего шара меньше. Потенциалы станут равными.

28.2. На большем. Не будут перетекать.

$$28.4. R = kC = 9,0 \cdot 10^9 \text{ м.}$$

$$28.5. C = 0,71 \text{ мФ; } \Delta \varphi = q / 4\pi\epsilon_0 R_3 = 1,4 \text{ кВ.}$$

$$28.6. q = D\varphi / 2k = 0,10 \text{ мкКл.}$$

$$28.7. \varphi_2 / \varphi_1 = N^{2/3} = 100.$$

$$28.8. F = \varphi_1 \varphi_2 D^2 / 4kr^2 = 0,10 \text{ мкН.}$$

$$28.9. \Delta q = \frac{q_1 R_2 - q_2 R_1}{R_1 + R_2} = 1,2 \text{ нКл; } \varphi = \frac{k(q_1 + q_2)}{R_1 + R_2} = -72 \text{ В.}$$

$$28.10. R_2 = R_1 \left(\frac{\varphi_1}{\varphi_2} - 1 \right) = 30 \text{ см.}$$

$$28.11. \varphi'_1 = \varphi'_2 = (\varphi_1 R_1 + \varphi_2 R_2) / R_2 = 0,48 \text{ кВ;}$$

$$q'_1 = 0; q'_2 = 4\pi\epsilon_0 (R_1 \varphi_1 + R_2 \varphi_2) = 5,3 \text{ нКл.}$$

$$28.12. \varphi_2 / \varphi_1 = (1 - R_1 / R_2); C = 4\pi\epsilon_0 R_1 R_2 / (R_2 - R_1).$$

$$28.13. \omega = \epsilon_0 \varphi^2 / 2R^2 = 0,18 \text{ Дж/м}^3.$$

$$28.14. Q = (\sqrt{W_2} - \sqrt{W_1})^2 / 2 = 0,20 \text{ мДж.}$$

- 28.15. $\varphi = (C_1\varphi_1 + C_2\varphi_2) / (C_1 + C_2)$.
- 28.16. $\varphi = 2\varphi_1\varphi_2 / (\varphi_1 + \varphi_2) = 48$ В.
- 28.17. $Q = C_1C_2(\varphi_2 - \varphi_1)^2 / 2(C_1 + C_2) = 12$ Дж.
- 28.18. $a_1 = \sqrt{dC / \epsilon_0} = 1,06$ м; $a_2 = \sqrt{dC / \epsilon\epsilon_0} = 48$ см.
- 28.19. Листок слюды.
- 28.20. $S = 1,6$ м².
- 28.21. $q = q_0(\epsilon - 1) / \epsilon = 12$ мкКл.
- 28.22. $F = \epsilon_0 S \Delta\varphi^2 / 2d^2 = 1,23$ мН.
- 28.23. Не изменится.
- 28.24. Уменьшится в 9 раз.
- 28.25. 1) $C = 2\epsilon C_0 / (\epsilon + 1) = 1,75C_0$; 2) $C = 2C_0$.
- 28.26. Не повлияет. Емкость увеличится.
- 28.27. $C = 2\epsilon_0 S / d$.
- 28.28. $U'_1 = (U_2 + U_1) / 2 = 150$ В; $U'_2 = (U_2 - U_1) / 2 = 50$ В.
- 28.29. $\Delta\varphi_\phi = \epsilon_n d_1 \Delta\varphi / (\epsilon_n d_1 + \epsilon_\phi d_2) = 0,30$ кВ; $E_\phi = 30$ кВ/м;
 $\Delta\varphi_n = \epsilon_\phi d_2 \Delta\varphi / (\epsilon_n d_1 + \epsilon_\phi d_2) = 1,8$ кВ; $E_n = 90$ кВ/м.
- 28.30. $U = Ed(C_1 + C_2) / C_1 = 4,8$ кВ.
- 28.31. $Q = CU^2 / 2 = 50$ мкДж.
- 28.32. 1) Не изменится; 2) увеличится в 4 раза.
- 28.33. $A = C\Delta\varphi^2 / 2 = 0,10$ мДж.
- 28.34. $A = (\epsilon - 1)q^2 / 2C = 5,0$ мДж.
- 28.35. $n_{\text{возл}} = \epsilon \cdot 100 / (1 + \epsilon) = 75$ %; $n_{\text{носк}} = 100 / (1 + \epsilon) = 25$ %.
- 28.36. а) $C = \frac{C_1 C_3}{C_1 + C_3} + \frac{C_2 C_4}{C_2 + C_4}$; б) $C = \frac{(C_1 + C_2)(C_3 + C_4)}{C_1 + C_2 + C_3 + C_4}$.
- 28.37. а) $C_{\text{общ}} = C$; б) $C_{\text{общ}} = 2C$.
- 28.38. а) $C_{\text{общ}} = \frac{4}{3}C$; б) $C_{\text{общ}} = C$.
- 28.39. $A = CU^2(\epsilon - 1)^2 / 2\epsilon(\epsilon + 1) = 10$ мДж.
- 28.40. $\Delta q = CU / n(n - 1) = 1,0$ мкКл.
- 28.41. $A = CU^2(\epsilon - 1) / 3(2\epsilon + 1) = 5,6$ мДж;
 $\Delta W = CU^2(\epsilon - 1) / 6(2\epsilon + 1) = 2,8$ мДж.
- 28.42. $C_1 = \frac{C_2(A / \mathcal{E}^2 - C_3)}{C_2 + C_3 + A / \mathcal{E}^2} = 3,0$ мкФ.
- 28.43. $q'_3 / q_3 = \Delta\varphi'_3 / \Delta\varphi_3 = (C_1 + C_2 + C_3) / (C_1 + C_2) = 2,5$.
- 28.44. $\varphi_B - \varphi_A = \mathcal{E} + q / C = 5,0$ В.
- 28.45. $U_1 = \frac{(\varphi_A - \varphi_B + \mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_2)C_2C_3}{C_1C_2 + C_2C_3 + C_1C_3} = 1,0$ В; $U_2 = U_1C_1 / C_2 = 0,67$ В;
 $U_2 = U_1C_1 / C_3 = 0,33$ В.
- 28.46. $q_2 = C_2(\mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_2) + q_1C_2 / C_1 = 0$.

- 28.47. $q_1 = q_2 = C_1 C_2 (\mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_2) / (C_1 + C_2)$.
 28.48. $\varphi_A - \varphi_B = \mathcal{E} (C_2 C_3 - C_1 C_4) / (C_1 + C_2)(C_3 + C_4)$.
 28.49. $\varphi_A - \varphi_B = (\mathcal{E}_1 C_1 - \mathcal{E}_2 C_2) / (C_1 + C_2)$.
 28.50. $q_1 = q_2 = C \mathcal{E} / 3 = 10$ нКл; $q_3 = 2C \mathcal{E} / 3 = 20$ нКл.
 28.51. $q_k = C \mathcal{E} / 30$, $q_{AB} = C \mathcal{E} / 6$.

VIII.1. $q = L(D+d)\sqrt{4\pi\epsilon_0 k(L-l) / Dd} = 1,7$ мкКл.

VIII.2. $F = 3q^2 l^2 / 4\pi\epsilon_0 r^4$.

VIII.3. 1) $x = l\sqrt{1,5} / 2$; 2) $x = l / 2$.

VIII.4. $\Delta\varphi = \frac{q}{\epsilon_0 S} \left(l - \frac{q^2}{2\epsilon_0 k S} \right) = 2,7$ кВ.

VIII.5. $W = 7C \mathcal{E}^2 / 10$.

VIII.6. $\Delta\varphi = \Delta\varphi_0 / 3 = 40$ В.

VIII.7. $q'_1 = q_1 / 2 \pm q_2 / 2$; $q'_2 = q_2 / 2 \pm q_1 / 2$.

VIII.8. $q = Q / 3$.

VIII.9. $F_n = 3q^2 / 16\pi\epsilon_0 l^2 + \sqrt{3}qE = 7,6$ мН.

Г л а в а IX

29.1. а) $q_{12} = I_0(t_2 - t_1)$; б) $q_{12} = (I_1 + I_2)(t_2 - t_1) / 2$.

29.2. $R_2 > R_1$.

29.3. $I = q/t = 0,50$ мА.

29.4. $I = U\Delta C / \Delta t = 1,0$ мкА.

29.5. $R = \Delta\varphi / I = 35$ Ом.

29.6. $j = U / \rho l = 10$ А/см².

29.7. $R = 16\pi\rho / \pi^2 D^4 \rho_0 = 9,4$ Ом, где ρ и ρ_0 — удельное сопротивление и плотность стали соответственно.

29.8. $l = RS / \rho(1 + \alpha t) = 6,0$ м.

29.9. $R_2 = R_1(1 + \alpha t_2) / (1 + \alpha t_1) = 22$ Ом.

29.10. $t_2 = [n(1 + \alpha t_1) - 1] / \alpha = 247$ °С.

29.11. $U_{BC} = 2U_{AB}$.

29.12. $N = U / U_1 = 35$ шт.

29.13. $R = (U - U_0) / I_0 = 8,0$ Ом; $l = S(U - U_0) / I_0 \rho = 32$ м.

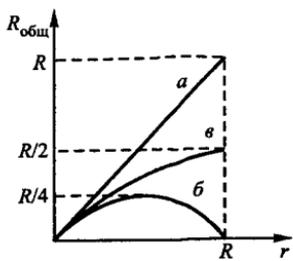
29.14. $l_x / l_y = \alpha_y \rho_y / \alpha_x \rho_x = 6,0$.

29.15. $R_{1,2} = \frac{I_2 U \pm \sqrt{I_2^2 U^2 - 4 I_1 I_2 U^2}}{2 I_1 I_2}$, $R_1 = 30$ Ом; $R_2 = 10$ Ом.

29.16. В 4 раза.

29.17. $R_1 = U(S_2 + S_3) / I_1(S_1 + S_2 + S_3) = 8,0$ Ом; $I_1 = 1,0$ А; $U_1 = I_1 R_1 = 8,0$ В;
 $R_2 = US_1(S_2 + S_3) / I_1 S_2(S_1 + S_2 + S_3) = 12$ Ом; $I_2 = 0,33$ А; $U_2 = U_3 = U - U_1 = 4,0$ В;
 $R_3 = US_1(S_2 + S_3) / I_1 S_3(S_1 + S_2 + S_3) = 6,0$ Ом; $I_3 = 0,67$ А.

29.18. 20; 30; 40; 60; 90; 120; 180 Ом.



Р и с. 317

- 29.19. $R = R_0(n - 1)$.
 29.20. Рис. 317: а) $R_{\text{общ}} = r$; б) $R_{\text{общ}} = r(1 - r/R)$; в) $R_{\text{общ}} = Rr/(R + r)$.
 29.21. а) $0 \leq U_{\text{вых}} \leq U_0$; б) $\frac{1}{3}U_0 \leq U_{\text{вых}} \leq \frac{2}{3}U_0$.
 29.22. а) $U_{\text{вых}} = \frac{1}{2}U_0$, $U_{\text{вх}} = 0$; б) $U_{\text{вых}} = \frac{1}{8}U_0$, $U_{\text{вх}} = \frac{2}{9}U_0$.

- 29.23. а) $R_{\text{ц}} = R$; б) $R_{\text{ц}} = \frac{R}{3}$; в) $R_{\text{ц}} = \frac{3}{5}R$;
 г) $R_{\text{ц}} = R$.
 29.24. а) $R = r$; б) $R = \frac{r}{2}$; в) $R = \frac{4}{5}r$; г) $R = \frac{5}{6}r$; д) $R = \frac{7}{12}r$; е) $R = \frac{3}{4}r$. Указание.

При расчете сопротивлений сложных участков удобно составлять эквивалентные схемы, учитывая, что точки, имеющие одинаковые потенциалы, можно соединить или разделить.

29.25. $R_x = \frac{3}{4}R$.

29.26. $U_2 = \frac{U_0 U_1}{U_1 + 2(U_0 - U_1)} = 0,20$ кВ.

29.27. Напряжение уменьшится.

29.28. $I = 2U_{AB} / R = 1,5$ А.

29.29. $R = 3U_{AB} / I = 225$ Ом.

29.30. $I_A = \frac{UR_3}{(R_2 + R_3)(R_1 + R_4) + R_2 R_3} = 0,50$ А.

29.31. $R_{\text{ш}} = \frac{NI_0 r}{I - NI_0} = 20$ Ом; $I(R_{\text{ш}}) = I_r + I_r \frac{R_r}{R_{\text{ш}}}$.

29.32. $I = I_A \left(1 + \frac{rS}{\rho l}\right) = 6,3$ А.

29.33. $R = (U - I_0 r) / I_0$; $R_1 = 90$ Ом; $R_2 = 0,49$ кОм; $R_3 = 2,5$ кОм; $R_4 = 5,0$ кОм.

29.34. $U_1 = U r_1 (R + 2r_2) / [R(r_1 + r_2) + 4r_1 r_2] = 33$ В;

$U_2 = U r_2 (R + 2r_1) / [R(r_1 + r_2) + 4r_1 r_2] = 27$ В.

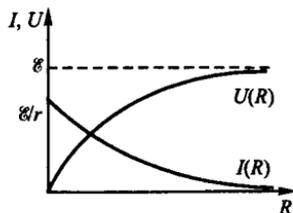
29.35. $U_2 = U U_1 R_1 / [R_2 (U - U_1) + R_1 U_1] = 0,34$ В.

29.36. 1) Схему а; 2) схему б.

30.1. Рис. 318.

30.2. $R/r = 1,0 \cdot 10^2$.

30.3. а, б) сила тока увеличивается, напряжение уменьшается.



Р и с. 318

$$30.4. I = \mathcal{E} / (R+r) = 0,50 \text{ A}; U = \mathcal{E} - Ir = 4,0 \text{ В.}$$

$$30.5. I_2 = \frac{\mathcal{E} I_1}{n\mathcal{E} - I_1 r (n-1)} = 0,60 \text{ A.}$$

$$30.6. I_{\text{кз}} = \mathcal{E} U / (\mathcal{E} - U) R = 0,30 \text{ A.}$$

$$30.7. \mathcal{E} = I_1 I_2 (R_2 - R_1) / (I_2 - I_1) = 10 \text{ В}; r = (I_2 R_2 - I_1 R_1) / (I_1 - I_2) = 5,0 \text{ Ом.}$$

$$30.8. r_6 = R^2 / r = 0,20 \text{ Ом.}$$

$$30.9. R_1 = R^2 / r = 45 \text{ Ом.}$$

$$30.10. \mathcal{E} = U \left(1 + \frac{rn}{R} \right) = 0,33 \text{ кВ.}$$

$$30.11. I_r = I_{R_3} = \frac{\mathcal{E}(R_1 + R_2)}{R_1 R_2 + (R_1 + R_2)(R_3 + r)} = 1,0 \text{ A}; I_{R_1} = \frac{I_r R_2}{R_1 + R_2} = 0,67 \text{ A};$$

$$I_{R_2} = \frac{I_r R_1}{R_1 + R_2} = 0,33 \text{ A}; U_{R_3} = I_r R_3 = 5,0 \text{ В}; U_{R_1} = U_{R_2} = \frac{I_r R_1 R_2}{R_1 + R_2} = 4,0 \text{ В};$$

$$U_{\mathcal{E}} = \mathcal{E} - I_r r = 9,0 \text{ В.}$$

$$30.12. \mathcal{E} = 3Ed = 30 \text{ В.}$$

$$30.13. r = R(n-1) = 3,0 \text{ Ом.}$$

$$30.14. q = C\mathcal{E}R / (R+2r) = 4,0 \text{ мкКл.}$$

$$30.15. R = qr / 2(C\mathcal{E} - q) = 2,25 \text{ Ом}; q_1 = q / 2 = 2,25 \text{ мкКл.}$$

$$30.16. q = C\mathcal{E}(R_2 - R_3) / (R_2 + R_3 + 2r) = 21 \text{ мкКл.}$$

$$30.17. q = 4C\mathcal{E}R(R+r) / (2R+3r)(2R+r) = 0,68 \text{ мКл.}$$

$$30.18. \varphi_A - \varphi_B = (C_2 R_2 - C_1 R_1) \mathcal{E} / (C_1 + C_2)(R_1 + R_2 + r).$$

$$30.19. \varphi_B - \varphi_A = \mathcal{E} / 10.$$

$$30.20. \varphi_B - \varphi_A = I_r r - \mathcal{E} = 2,0 \text{ В}; \varphi_A - \varphi_B = \mathcal{E} + I_r r = 6,0 \text{ В.}$$

$$30.21. \mathcal{E}_1 = \mathcal{E}(I_1 + I_2) / (I_1 - I_2) = 12 \text{ В}; r_1 = 2\mathcal{E} / (I_1 - I_2) - r = 10 \text{ Ом.}$$

$$30.22. \varphi_A - \varphi_B = [\mathcal{E}_2(R+r_1) + \mathcal{E}_1 r_2] / (R+r_1+r_2) = 1,2 \text{ В.}$$

$$30.23. q = \frac{2}{3} C\mathcal{E} = 1,0 \text{ мкКл.}$$

$$30.24. R = \mathcal{E}_2 r_1 / (\mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_2) = 0,6 \text{ Ом.}$$

$$30.25. R_x = [R^2(\mathcal{E}_1 - 2\mathcal{E}_2) - 3\mathcal{E}_2 R r_1] / (\mathcal{E}_1 R + \mathcal{E}_2 r_1 + 2\mathcal{E}_2 R) = 3,0 \text{ Ом.}$$

$$30.26. \mathcal{E}_2 = \mathcal{E}_1 (R_1 R_4 - R_2 R_3) / [r_1 (R_1 + R_2 + R_3 + R_4) + (R_1 + R_2)(R_3 + R_4)] = 2,2 \text{ В};$$

плюс подключен к R_1 .

$$30.27. q_a = C\mathcal{E}(2R+r) / (R+r) = 0,50 \text{ нКл}; q_b = -C\mathcal{E}r / (2R+r) = -0,30 \text{ нКл};$$

$$q_b = C\mathcal{E}(3R+2r) / (R+r) = 0,90 \text{ нКл}; q_r = C\mathcal{E}R / (R+r) = 0,10 \text{ нКл.}$$

$$30.28. \mathcal{E} = (\mathcal{E}_1 r_2 + \mathcal{E}_2 r_1) / (r_1 + r_2); I = (\mathcal{E}_1 r_2 + \mathcal{E}_2 r_1) / [r_1 r_2 + R(r_1 + r_2)].$$

$$30.29. \mathcal{E} = (\mathcal{E}_1 r_2 r_3 + \mathcal{E}_2 r_3 r_1 + \mathcal{E}_3 r_1 r_2) / (r_1 r_2 + r_2 r_3 + r_3 r_1).$$

$$30.30. R = r = 6,0 \text{ Ом.}$$

$$30.31. U = 0.$$

$$30.32. I = (\mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_2 + \mathcal{E}_3) / (r_1 + r_2 + r_3) = 1,0 \text{ A}; U_1 = \mathcal{E}_1 - Ir = 0;$$

$$U_2 = \mathcal{E}_2 - Ir = 0; U_3 = \mathcal{E}_3 - Ir = 0; I' = 1,0 \text{ A}; U'_1 = 1,0 \text{ В}; U'_2 = 0; U'_3 = -1,0 \text{ В.}$$

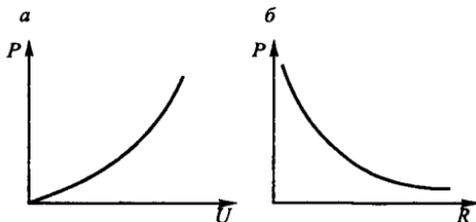


Рис. 319

30.33. $R = (\mathcal{E}_2 r_1^2 + \mathcal{E}_1 r_2^2) / (\mathcal{E}_1 r_1 + \mathcal{E}_2 r_2) = 3,0 \text{ Ом};$

$I = (\mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_2) / (R_1 + r_1 + r_2) = 0,50 \text{ А.}$

30.34. $R = (U - \mathcal{E}) / I - r = 6,5 \text{ Ом}; U_1 = \mathcal{E} + Ir = 5,5 \text{ В.}$

30.35. $\mathcal{E} = (\mathcal{E}_2 r_2 + \mathcal{E}_1 r_1) / (r_1 + r_2)$. ЭДС батареи будет уменьшаться, пока ЭДС аккумуляторов не сравняются.

30.36. $1 \text{ А} \cdot \text{ч} = 3,6 \text{ кКл.}$

30.37. 1) $50 \text{ А} \cdot \text{ч}$; 2) $200 \text{ А} \cdot \text{ч}$. При последовательном включении увеличивается ЭДС, при параллельном — сила тока.

30.38. $Q = 65 \text{ А} \cdot \text{ч.}$

31.1. $A = IUt$; $A = I^2 Rt$; $A = U^2 t / R$.

31.2. 1) На резисторе $2R$ больше в 2 раза; 2) на резисторе R больше в 2 раза.

31.3. $P = U^2 / R$ (рис. 319). Так, чтобы ток был постоянный.

31.4. $A = qU = 3,0 \text{ Дж.}$

31.5. 1) $A = qU = 0,29 \text{ кДж}$; 2) $P = qU/t = 29 \text{ Вт}$; 3) $R = Ut/q = 5,0 \text{ Ом.}$

31.6. $P'_1 = P_1 (U_2 / U_1)^2 = 0,18 \text{ кВт}$; $P'_2 = P_2 (U_1 / U_2)^2 = 20 \text{ Вт.}$

31.7. $P = \frac{U^2}{R}$; $P_1 = 80 \text{ Вт}$; $P_2 = 40 \text{ Вт}$; $P' = \left(\frac{U}{R_1 + R_2} \right)^2 R$; $P'_1 = 8,9 \text{ Вт}$; $P'_2 = 18 \text{ Вт.}$

31.8. $P_1 = \frac{4}{3} P = 400 \text{ Вт.}$

31.9. 40 Вт; 60 Вт; 80 Вт; 120 Вт; 180 Вт; 240 Вт; 360 Вт.

31.10. $R_x = U(U_1 - U) / P = 6,23 \text{ Ом.}$

31.11. $U_1 = U + nrP / U = 0,18 \text{ кВ}$; $P_1 = \frac{nP}{U} \left(U + \frac{nrP}{U} \right) = 2,7 \text{ кВт}$;

$\eta = nP / P_1 = 67 \%$.

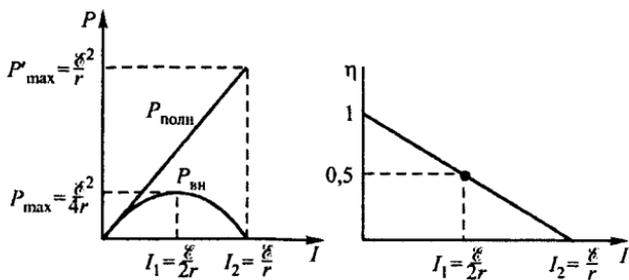
31.12. $P_1 = U^2 U_1^2 P / (rP + U^2)^2 = 0,69 \text{ кВт}$; $P_2 = 2U^2 U_1^2 P / (2rP + U^2)^2 = 0,93 \text{ кВт.}$

31.13. $I_2 = (U - I_1 r) / r = 42 \text{ А}$; $n_1 = 1 - I_1 r / U = 95 \%$; $n_2 = 1 - I_2 r / U = 5,0 \%$.

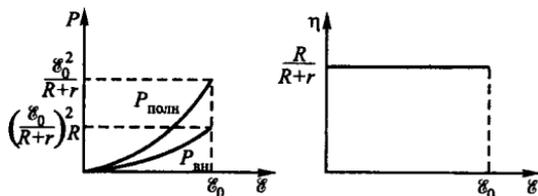
31.14. Рис. 320; 1) $P_{\text{полн}} = \mathcal{E}I$; 2) $P_{\text{вн}} = I\mathcal{E} - I^2 r$; 3) $\eta = 1 - Ir/\mathcal{E}$.

31.15. Рис. 321; 1) $P_{\text{полн}} = \mathcal{E}^2 / (R + r)$; 2) $P_{\text{вн}} = R\mathcal{E}^2 / (R + r)^2$; 3) $\eta = R / (R + r)$.

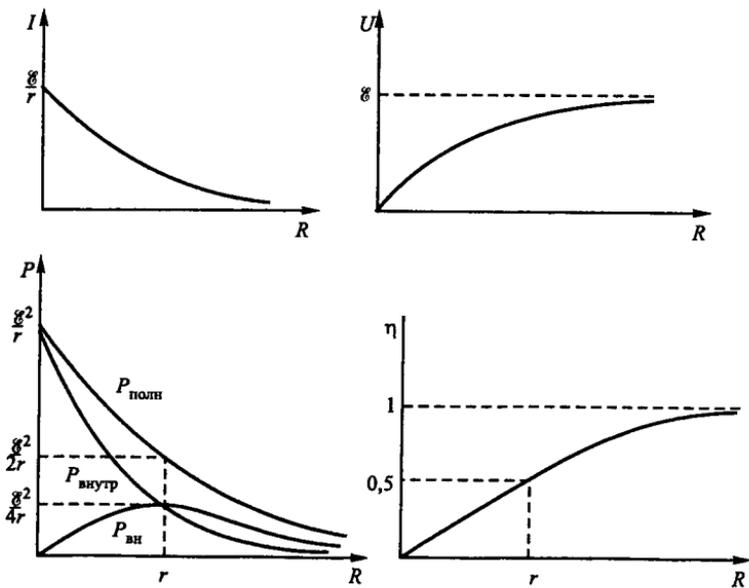
31.16. Рис. 322; 1) $I = \mathcal{E} / (R + r)$; 2) $U = \mathcal{E}R / (R + r)$; 3) $P_{\text{вн}} = \mathcal{E}^2 R / (R + r)^2$;
4) $P_{\text{полн}} = \mathcal{E}^2 / (R + r)$; 5) $P_{\text{внутр}} = \mathcal{E}^2 r / (R + r)^2$; 6) $\eta = R / (R + r)$. $P_{\text{вн}}$ максимальна при $R = r$.



Р и с. 320



Р и с. 321



Р и с. 322

$$31.17. I_{1,2} = \mathcal{E} \pm \sqrt{(\mathcal{E}^2 - 4rP)} / 2r; I_1 = 1,0 \text{ А}; I_2 = 2,0 \text{ А}.$$

$$31.18. R_{1,2} = (\mathcal{E}^2 - 2rP) / 2P \pm \sqrt{(\mathcal{E}^2 - 2rP)^2 / 4P^2 - r^2}; R_1 = 3,0 \text{ Ом}; R_2 = 0,30 \text{ Ом}.$$

$$31.19. W = Q\mathcal{E} = 2,2 \text{ МДж}.$$

$$31.20. I = (I_1 + I_2) / 2 = 1,3 \text{ А}; I_{\text{кз}} = I_1 + I_2 = 2,6 \text{ А}.$$

$$31.21. I_{\text{кз}} = (P_1 I_2^2 - P_2 I_1^2) / (P_1 I_2 - P_2 I_1) = 8,0 \text{ А}.$$

$$31.22. P_{\text{макс}} = \frac{(I_1^2 R_2 - I_2^2 P_1)^2}{4 I_1 I_2 (I_1 - I_2) (I_1 P_2 - I_2 P_1)} = 32 \text{ Вт}.$$

$$31.23. \mathcal{E} = 2P_{\text{макс}} / I = 12 \text{ В}; r = P_{\text{макс}} / I^2 = 3,0 \text{ Ом}.$$

$$31.24. P_{\text{макс}} = \mathcal{E}^2 \eta / 4R(1 - \eta) = 11 \text{ Вт}.$$

$$31.25. r = (n-1)R_1 R_2 / (R_2 - nR_1) = 14 \text{ Ом}.$$

$$31.26. R_2 = \frac{(R_1^2 + r^2) - \sqrt{(R_1^2 + r^2)^2 - 4R_1^2 r^2}}{2R_1} = 0,62 \text{ Ом}; \eta = \frac{R}{R+r}; \eta_1 = 80 \%,$$

$$\eta_2 = 20 \%.$$

31.27. $P_{\text{внут}} = P_1(1 - \eta_2) / \eta_2 = 32 \text{ Вт}$. *Указание.* Мощность, выделяемая во внешнюю цепь, в первом и втором случаях одинакова. Это видно из сравнения КПД.

$$31.28. r = \sqrt{R_1 R_2}.$$

$$31.29. I_1 = \mathcal{E} / 3R = 0,10 \text{ А}; I_2 = \mathcal{E} / 1,5R = 0,20 \text{ А}.$$

$$31.30. P_{\text{посл}} = P_{\text{пар}} = n\mathcal{E}^2 / 4r = 1,0 \text{ Вт}.$$

$$31.31. Q = N\mathcal{E}^2 / r.$$

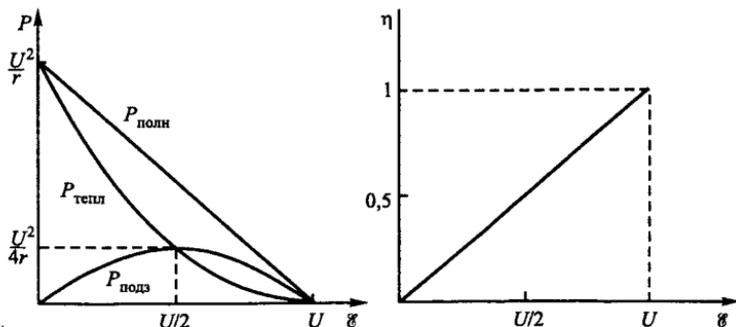
31.32. Рис. 323; 1) $P_{\text{полн}} = (U^2 - U\mathcal{E}) / r$; 2) $P_{\text{подз}} = (\mathcal{E}U - \mathcal{E}^2)U / r$; 3) $P_{\text{тепл}} = (U - \mathcal{E})^2 / r$; 4) $\eta = \mathcal{E} / U$. $P_{\text{подз}}$ максимальна при $\mathcal{E} = U/2$.

$$31.33. P_{\text{тепл}} = (U - \mathcal{E})^2 / r = 1,6 \text{ Вт}; P_{\text{потр}} = (U - \mathcal{E})U / r = 4,8 \text{ Вт}.$$

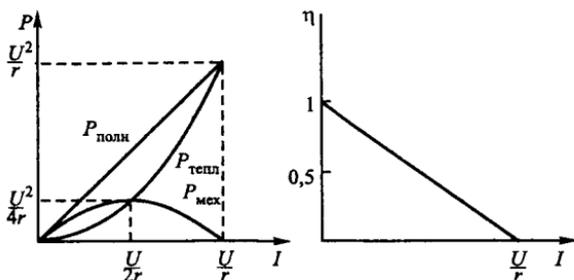
$$31.34. n = \mathcal{E} / U = 0,80; P = (U - \mathcal{E})\mathcal{E} / r = 2,4 \text{ Вт}.$$

$$31.35. \mathcal{E} = U/2 = 6,0 \text{ В}.$$

$$31.36. I = P / \mathcal{E}_2 = 0,50 \text{ А}.$$



Р и с. 323



Р и с. 324

31.37. Рис. 324. 1) $P_{\text{полн}} = IU$; 2) $P_{\text{мех}} = IU - I^2r$; 3) $P_{\text{тепл}} = I^2r$; 4) $\eta = 1 - Ir/U$. $P_{\text{мех}}$ максимальна при $I = U/2r$.

31.38. $P_{\text{потр}} = IU = 0,88$ кВт; $P_{\text{мех}} = UI - I^2R = 0,75$ кВт; $\eta = 1 - IR/U = 85\%$.

31.39. $P = UI - UI^2 / I_0 = 58$ Вт.

31.40. $I_{1,2} = (U \pm \sqrt{U^2 - 4RP}) / 2R$; $I_1 = 25$ А; $I_2 = 30$ А.

31.41. $\eta_1 = P_1 I_2 (I_2 - I_1) / (P_1 I_2^2 - P_2 I_1^2) = 83\%$;

$\eta_2 = P_2 I_1 (I_2 - I_1) / (P_1 I_2^2 - P_2 I_1^2) = 67\%$;

$I_0 = (P_1 I_2^2 - P_2 I_1^2) / (P_1 I_2 - P_2 I_1) = 60$ А.

31.42. $\tau = cm(t_k - t_0) / IU = 10$ мин.

31.43. $\tau = c\rho_0 I^2 (T_{\text{пл}} - T_0) / U^2 = 1,0$ с, где ρ и ρ_0 — удельное сопротивление и плотность свинца соответственно.

31.44. $\Delta T = j^2 \rho \tau / c\rho_0 = 4,0$ К, где ρ и ρ_0 — удельное сопротивление и плотность меди соответственно.

31.45. $P = c\rho_0 \frac{V}{\tau \eta} (T_k - T_0) = 1,5$ кВт, где ρ_0 — плотность воды.

31.46. $r = \sqrt{R\tau / cm\Delta T} - R = 3,0$ Ом.

31.47. 1) $\tau = \tau_1 + \tau_2 = 32$ мин; 2) $\tau = \tau_1 \tau_2 / (\tau_1 + \tau_2) = 6,0$ мин.

31.48. $m = P\tau / \eta q = 84$ г.

31.49. $I = \mu mgv / U\eta = 59$ А; $v_1 = \mu / (\sin\alpha - \mu \cos\alpha) = 2,5$ м/с, где $\sin\alpha$ — уклон.

31.50. $I = mgv(\mu \cos\alpha - \sin\alpha) / U\eta = 0,24$ кА, где $\sin\alpha$ — уклон горы.

31.51. $R = (UI\tau - mgh) / I^2\tau = 9,7$ Ом.

32.1. 1) Увеличится в 2 раза; 2) уменьшится в 2 раза; 3) не изменится.

32.2. Уменьшается.

32.3. $m = m_e It / e = 0,20$ г.

32.4. $v_1 / v_2 = S_2 / S_1 = 1,5$.

32.5. $v = IM / 2e\rho N_A S = 0,37$ мм/с.

32.6. $E = 4I\rho / \pi d^2 = 16$ мВ/м.

32.7. Сила тока сначала увеличивается, а потом остается постоянной.

32.8. Увеличится.

32.9. Во всех случаях увеличится.

$$32.10. x_{\text{H}} = 1,0 \text{ г/моль}, k_{\text{H}} = 10,4 \cdot 10^{-9} \text{ кг/Кл}; x_{\text{Na}} = 23 \text{ г/моль}, k_{\text{Na}} = 2,4 \cdot 10^{-7} \text{ кг/Кл}; x_{\text{O}} = 8,0 \text{ г/моль}, k_{\text{O}} = 8,3 \cdot 10^{-8} \text{ кг/Кл}; x_{\text{Cu}} = 32 \text{ г/моль}, k_{\text{Cu}} = 3,3 \cdot 10^{-7} \text{ кг/Кл}.$$

32.11. Одинаково.

$$32.12. W / m = nFU / M\eta = 30 \text{ МДж/кг}.$$

$$32.13. t = h\rho nF / Mj = 1 \text{ ч } 58 \text{ мин}.$$

$$32.14. h = Mjt / \rho nF = 50 \text{ мкм}.$$

$$32.15. m = Mit / nF = 1,9 \text{ г}.$$

$$32.16. I = mnF / Mt = 4,0 \text{ А}.$$

$$32.17. R = UMt / mnF = 2,0 \text{ Ом}.$$

$$32.18. V = \frac{ItRT}{F\rho} \left(\frac{M_{\text{H}}}{n_{\text{H}}M_{\text{H}_2}} + \frac{M_{\text{O}}}{n_{\text{O}}M_{\text{O}_2}} \right) = 0,62 \text{ л}.$$

$$32.19. W = \frac{M_{\text{H}_2} FeN_{\Lambda} U}{gM_{\text{H}}(M_{\text{юзд}} - M_{\text{H}_2})} = 4,7 \text{ ГДж}.$$

$$32.20. N = It / 2e = 2,5 \cdot 10^9.$$

32.21. Да. Надо увеличить мощность ионизатора.

$$32.22. E = W / e\lambda = 54 \text{ МВ/м}; v = \sqrt{2W / m_e} = 2,7 \cdot 10^6 \text{ м/с}.$$

$$32.23. \frac{n_0}{n} = \frac{n_0 k T_0}{p_0} \cdot 100 = 0,10 \text{ \%}.$$

$$32.24. \varphi = E\lambda = 15 \text{ В}; v = \sqrt{2eE\lambda / m_e} = 2,3 \cdot 10^6 \text{ м/с}.$$

$$32.25. l = \varphi / E = 0,30 \text{ км}.$$

$$32.26. \varphi = Er = 15 \text{ кВ}; q = 4\pi\epsilon_0 Er^2 = 8,3 \text{ нКл}.$$

$$32.28. v = \sqrt{2A / m_e} = 1,26 \cdot 10^6 \text{ м/с}.$$

32.29. $v = \sqrt{2eU / m_e} = 8,4 \cdot 10^6 \text{ м/с}$. Указание. Энергия теплового движения пренебрежимо мала.

$$32.30. N = I_{\text{нас}} t / e = 2,5 \cdot 10^{17}.$$

$$32.32. I = Pe / W = 0,10 \text{ МА}.$$

$$32.34. 1) j = env = 7,2 \text{ А/м}^2; 2) \rho = E / env = 1,4 \cdot 10^{-3} \text{ Ом} \cdot \text{м};$$

$$3) \gamma = env / E = 7,2 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}.$$

32.35. 1) Мышьяк, фосфор, сурьма; 2) бор, алюминий, индий, галлий.

IX.1. Ток в проводнике, замкнутом на источник тока, $I_1 = \mathcal{E} / (2R + 10r) = 0,20 \text{ А}$; ток в проводниках, подключенных к источнику, $I_2 = \mathcal{E} / (2R + 10r) = 0,10 \text{ А}$; в остальных ток равен нулю.

$$\text{IX.2. } I = \mathcal{E} / (\alpha R_1 R_2 + R_1 + R_2) = 48 \text{ мкА}.$$

$$\text{IX.3. } q_A = 2C\mathcal{E} / 3 = 2,0 \text{ мкКл}; q_B = 2C\mathcal{E} / 3 = 2,0 \text{ мкКл}; q_C = 0; \Delta q = 2\mathcal{E}C = 6,0 \text{ мкКл}.$$

$$\text{IX.4. } v = \mathcal{E}^2 RT / 4R_0 r PSM = 0,47 \text{ м/с}.$$

$$\text{IX.5. } P = IUn(1-n)^2 / k[k-(1-n)^2] = 0,16 \text{ Вт.}$$

$$\text{IX.6. } v = \frac{v_1 I_2^2}{I^2} - \frac{UI_2(I_2 - I_1)\eta}{MgI_1} = 26 \text{ см/с.}$$

$$\text{IX.7. } m = M\alpha t^2 / 2neN_A = 2,4 \text{ г; } m(t) = M\alpha t^2 / 2neN_A.$$

IX.8. На левой стороне среднего электрода будет выделяться серебро:

$$\frac{m_{\text{Ag}}}{t} = \frac{2mR}{2R + M_{\text{Ag}}U / 2Fnm} = 0,64 \text{ мг/с; на правой стороне будет выделяться хлор:}$$

$$\frac{m_{\text{Cl}}}{t} = \frac{2mM_{\text{Cl}}(R + M_{\text{Ag}}U / 2Fnm)}{M_{\text{Ag}}(2R + M_{\text{Ag}}U / 2Fnm)} = 0,44 \text{ мг/с.}$$

Г л а в а X

33.1. 1) Притягиваются; 2) отталкиваются; 3) будут вращаться, а затем притянутся.

33.2. У электронных пучков преобладает кулоновское отталкивание.

33.3. Будет.

33.4. В случае 2.

33.5. а) повернется; б, в) повернется и втянется в область более сильного поля.

33.6. а) $M = p_m B$, направлен за плоскость рисунка; б) $M = p_m B \sin \alpha$, направлен за плоскость рисунка; в) $M = 0$, положение устойчивого равновесия; г) $M = 0$, положение неустойчивого равновесия.

$$33.7. B = M / ISN = 50 \text{ мТл.}$$

$$33.8. B = 0.$$

$$33.9. \text{ а) } B_0 = \mu\mu_0 I / \pi r, \text{ «на нас»}; \text{ б) } B_0 = \mu\mu_0 I(\pi + 1) / 2\pi R, \text{ «на нас»}; \\ \text{ в) } B_0 = \mu\mu_0 I(\pi - 1) / 2\pi R, \text{ «от нас»}.$$

$$33.10. B = \frac{\mu\mu_0 I}{\pi r} \cos 30^\circ = 10 \text{ мТл.}$$

$$33.11. I = 2\pi RB / \mu\mu_0(\pi + 1) = 4,1 \text{ А.}$$

33.12. Магнитное поле внутри длинного соленоида — однородное.

$$33.13. z = Bd / \mu\mu_0 I = 4,5. \text{ Не менее 5 слоев.}$$

$$33.14. F = IB \sin \alpha = 4,2 \text{ мН.}$$

$$33.15. I_1 = \sqrt{\pi r F / \mu_0} = 2,2 \text{ А; } I_2 = I_1 / n = 1,1 \text{ А.}$$

$$33.16. T = BIl / 2 = 10 \text{ мН.}$$

$$33.17. B = mg / Il = 19,6 \text{ мТл.}$$

$$33.18. I = \mu mg / Bl = 13,6 \text{ А.}$$

$$33.19. B_1 = mg(\mu \cos \alpha - \sin \alpha) / Il = 9,6 \text{ мТл; } B_2 = mg(\mu \cos \alpha + \sin \alpha) / Il = 0,50 \text{ Тл.}$$

$$33.20. B = mgtg \alpha / Il.$$

$$33.21. F = \pi d^2 UB(1 + \cos \alpha) / 4\rho = 14 \text{ Н, горизонтально влево, где } \alpha = 60^\circ.$$

$$33.22. A = IB \sin \alpha = 0,30 \text{ Дж.}$$

$$33.23. A = 2IBSN = 12 \text{ мДж.}$$

$$33.24. M = P / 4n = 7,4 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

$$33.25. p_m = m_e v^2 / 2B.$$

33.26. 1) Нет, да, нет; 2) да, нет, да.

33.27. 1) По параболе; 2) по спирали, ось которой направлена вдоль индукции магнитного поля.

$$33.28. v = eB / 2\pi m_e = 0,11 \text{ ГГц}.$$

$$33.29. \Delta p = 2\sqrt{em_e \Delta \Phi} = 2,2 \cdot 10^{-23} \text{ кг} \cdot \text{м/с}.$$

$$33.30. s = \frac{\pi}{B} \sqrt{\frac{2m_p \Delta \Phi}{q}} = 72 \text{ см}.$$

$$33.31. 1) R_\alpha / R_p = m_\alpha q_p / m_p q_\alpha = 2, \quad \omega_\alpha / \omega_p = q_\alpha m_p / q_p m_\alpha = 1/2;$$

$$2) R_\alpha / R_p = m_\alpha q_p / 2m_p q_\alpha = 1, \quad \omega_\alpha / \omega_p = q_\alpha m_p / q_p m_\alpha = 1/2.$$

$$33.32. \varphi = \arcsin(dB \sqrt{e / m_\alpha \Delta \Phi}) = 30^\circ.$$

$$33.33. R = \frac{1}{2\pi v} \sqrt{\frac{2W}{m_p}} = 0,27 \text{ м}.$$

$$33.34. N = eBl / 2\pi m_e v \cos \alpha = 22.$$

$$33.35. p = qBh / 2\pi \cos \alpha = 1,2 \cdot 10^{-23} \text{ кг} \cdot \text{м/с}.$$

$$33.36. v = \frac{eB}{2\pi m_e} \sqrt{\pi^2 d^2 + h^2} = 4,5 \cdot 10^6 \text{ м/с}.$$

$$33.37. R = \frac{1}{B} \sqrt{\frac{m_e \Delta \Phi_0}{e}} = 2,1 \text{ см}; \quad h = \frac{2\pi}{B} \sqrt{\frac{2m_e \Delta \Phi}{e}} = 44 \text{ см}.$$

33.38. По спирали с изменяющимся шагом.

$$33.39. a = \frac{e}{m_e} \sqrt{E^2 + B^2 v^2} = 9,8 \cdot 10^{12} \text{ м/с}^2, \text{ вектор ускорения будет составлять}$$

с вектором кулоновской силы угол $\alpha = \operatorname{arctg} \frac{Bv}{E} = 64^\circ$ и лежать в плоскости, перпендикулярной плоскости, в которой лежат векторы v , E , B .

$$33.40. N = \frac{Bv_0 \cos \alpha}{2\pi E} = 5,0; \quad \frac{h_1}{h} = \frac{Bv_0 \cos \alpha - \pi E}{Bv_0 \cos \alpha - \pi E(2N - 1)} = 9,0.$$

$$33.41. v = E / B = 0,50 \cdot 10^6 \text{ м/с}.$$

$$34.1. 1) \Phi = BS = 2,0 \text{ мВб}; \quad 2) \Phi = 0; \quad 3) \Phi = BS \cos 45^\circ = 1,4 \text{ мВб};$$

$$4) \Phi = BS \cos 60^\circ = 1,0 \text{ мВб}.$$

$$34.2. \Phi = \frac{\pi}{B} \left(\frac{m_e v}{e} \right)^2 = 2,0 \text{ мкВб}.$$

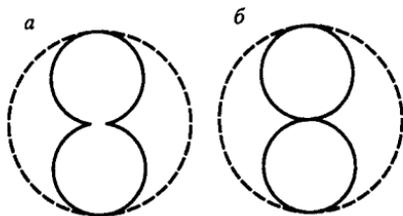
$$34.3. 1) \Delta \Phi = \Phi; \quad 2) \Delta \Phi = 2\Phi; \quad 3) \Delta \Phi = 0; \quad 4) \Delta \Phi = \Phi; \quad 5) \Delta \Phi = 2\Phi.$$

$$34.4. 1) \text{Нет}; \quad 2) \text{да}; \quad 3) \text{да}; \quad 4) \text{нет}; \quad 5) \text{да}.$$

34.5. 1) В случае a — против часовой стрелки, в случае b — по часовой; 2) направления токов меняются на противоположные.

$$34.6. 1) a, b \text{ — кольцо сжимается}; \quad 2) a, b \text{ — кольцо растягивается}.$$

$$34.7. 1) \mathcal{E} = 2ASr; \quad 2) \mathcal{E} = CS; \quad 3) \mathcal{E} = 0; \quad 4) \mathcal{E} = B\omega S \sin \omega t.$$



Р и с. 325

- 34.8. $\Delta B / \Delta t = q / CS = 10$ мТл/с.
 34.9. $q = 0,05\pi r^2 C \sin \alpha = 0,25$ нКл.
 34.10. $q = \frac{\pi r^2 B}{R} (1 - \cos \alpha) = 15$ мкКл, $q(\alpha) = q_0(1 - \cos \alpha)$.
 34.11. $\alpha_2 = \arccos \left(1 - \frac{q_2(1 - \cos \alpha_1)}{q_1} \right) = 60^\circ$.
 34.12. $R = \frac{Bl^2}{q} - R_r = 7,1$ Ом.
 34.13. $\Delta B / \Delta t = 16\rho I / \pi d^2 D = 0,54$ Тл/с.
 34.14. $Q = k B_0 S^2 / R = 7,2$ мДж.
 34.15. $q = Bl^2(4 - \pi) / \pi R = 0,14$ мКл.
 34.16. $R = \frac{\pi D^2 B}{4q} = 1,4$ Ом.
 34.17. $B = 36\rho q / lS = 3,4$ мТл.
 34.18. $q = l^2 B_\perp / 16R = 125$ мкКл.
 34.19. Возможны два случая (рис. 325): а — 1) $q = \pi r^2 B / 2R = 0,57$ мКл,
 2) $q = \pi r^2 B / R = 1,13$ мКл; б — 1) $q = \pi r^2 B / 2R = 0,57$ мКл, 2) $q = 0$.
 34.20. $\mathcal{E} = N \Delta \Phi / \Delta t = 30$ В.
 34.21. $\mathcal{E} = \frac{\Delta B}{\Delta t} N \pi r^2 \cos \alpha = 12,6$ мВ.
 34.22. $q = NSB / R = 80$ мкКл.
 34.23. $q = \frac{BSN}{R} (\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2)$. 1) $q = 0,67$ мКл; 2) $q = 1,8$ мКл;
 3) $q = 2,5$ мКл; 4) $q = 10$ мКл.
 34.24. $\Delta B / \Delta t = 4IR / \pi D^2 N \sin \alpha = 76$ мкТл/с.
 34.25. $N = q(R_1 + R_2) / 2BS = 5$.
 34.26. $P = \frac{N \pi D^3 S \Delta B}{16\rho \Delta t} = 29$ мкВт.
 34.27. $I = \frac{l^2 \Delta B}{8r + 7,5R \Delta t} = 34$ мкА.

$$34.28. t = \mu mgR / A^2 l^2 h = 1,5 \text{ с.}$$

$$34.29. \mathcal{E} = Blv \sin \alpha = 1,0 \text{ мВ.}$$

$$34.30. \Delta \varphi = \pi B_{\perp} l^2 n = 1,6 \text{ мВ.}$$

$$34.31. I = Blv / (R+r) = 20 \text{ мА, против часовой стрелки;}$$

$$F = B^2 l^2 v / (R+r) = 1,0 \text{ мН.}$$

34.32. $F = (B^2 l^2 + \mu mgR) / R(\cos \alpha + \mu \sin \alpha)$, где α — угол между силой F и горизонтом.

$$34.33. I = Blv(R_1 + R_2) / (RR_1 + RR_2 + R_1 R_2).$$

$$34.34. v = mgR / B^2 l^2 = 8,7 \text{ м/с; ток в переключке течет справа налево.}$$

$$34.35. v = mgR / B^2 l^2 \sin \alpha = 17,4 \text{ м/с.}$$

34.36. $v = \rho_0 \rho g \sin \alpha / B^2 = 46 \text{ см/с}$, где ρ_0 — плотность меди; ρ — удельное сопротивление меди.

$$34.37. 1) I = \mathcal{E} / R = 0,50 \text{ А; 2) } I = (\mathcal{E} + Bvl) / R = 0,70 \text{ А;}$$

$$3) I = (\mathcal{E} - Bvl) / R = 0,30 \text{ А. Влево, } v = \mathcal{E} / Bl = 10 \text{ м/с.}$$

$$34.38. v = \mathcal{E} / Bl = 0,5 \text{ м/с, влево.}$$

$$34.39. \omega = 2\mathcal{E} / BR^2 = 4,0 \cdot 10^2 \text{ рад/с.}$$

$$34.40. 1) I = \mathcal{E} / R = 5,0 \text{ А; 2) } v = \mathcal{E} / Bl - \mu mgR / B^2 l^2 = 2,0 \text{ м/с;}$$

$$3) P = \mu mg \mathcal{E} / Bl = 49 \text{ Вт; 4) } P_{\text{тепл}} = \left(\frac{\mu mg}{Bl} \right)^2 R = 48 \text{ Вт;}$$

$$5) P_{\text{мех}} = \frac{\mu mg}{Bl} \left(\mathcal{E} - \frac{\mu mgR}{Bl} \right) = 1,0 \text{ Вт.}$$

$$34.41. 1) \mathcal{E} = LA; 2) \mathcal{E} = 2CLt; 3) \mathcal{E} = I_0 \omega L \cos \omega t; 4) \mathcal{E} = 0.$$

34.42. 1) Уменьшится в 2 раза; 2) увеличится в 2 раза; 3) увеличится в 16 раз.

34.43. $I_1 = 0$, $I_2 = \mathcal{E} / r$. В момент размыкания ключа через оба амперметра начинает проходить одинаковый ток, уменьшающийся со временем до нуля.

$$34.44. L = \mathcal{E} t / \Delta I = 5,0 \text{ мГн.}$$

$$34.45. B = LI / NS = 2,0 \text{ мТл.}$$

$$34.46. L = \Phi / I = 0,10 \text{ мГн. } Q = \Phi I / 2 = 0,20 \text{ мДж.}$$

$$34.47. W = LI^2 / 2 = 10 \text{ Дж; увеличится в 4 раза.}$$

$$34.48. W = \Phi I / 2 = 1,25 \text{ Дж.}$$

$$34.49. \Phi = 2QR / U = 10 \text{ мВб.}$$

$$34.50. Q = L\mathcal{E}^2 / 2r^2 = 0,60 \text{ Дж.}$$

$$34.51. Q_1 = Q_2 = L\mathcal{E}^2 / 4(R+2r) = 4,0 \text{ мДж.}$$

$$35.1. 1) \Phi = BS \cos(2\pi \nu t + \varphi_0); 2) \mathcal{E} = 2\pi \nu BS \sin(2\pi \nu t + \varphi_0).$$

35.2. $\mathcal{E}_{\text{max}} = BS2\pi \nu$; 1) \mathcal{E}_{max} возрастет в N раз; 2) \mathcal{E}_{max} возрастет в n раз; период уменьшится в n раз.

$$35.3. I = 0,25 \sin(100\pi t + \varphi_0); I_{\text{max}} = 0,25 \text{ А; } \nu = 50 \text{ Гц.}$$

35.4. Из-за искрения в подвижных контактах.

$$35.5. U = U_0 \sin \omega t; U_1 = 0,20 \text{ кВ; } U_2 = 0; U_3 = -0,20 \text{ кВ.}$$

$$35.6. 1) U = U_0 \sin \omega t; 2) I = \frac{U_0}{R} \sin \omega t; 3) P = \frac{U_0^2}{R} \sin^2 \omega t.$$

$$35.7. U_{\max} = U\sqrt{2} = 0,31 \text{ кВ.}$$

$$35.8. U = U_{\text{н}}\sqrt{2} = 707 \text{ кВ.}$$

$$35.9. U = 180 \sin 100\pi t; I = 5,6 \sin 100\pi t; P_{\max} = 2P = 1,0 \text{ кВт.}$$

$$35.10. \frac{t}{T} = 1 - \frac{2}{\pi} \arcsin \frac{\sqrt{2}}{2} = 0,50.$$

$$35.11. 1) Z = \sqrt{R^2 + \frac{1}{\omega^2 C^2}} = 0,22 \text{ кОм}; 2) I = \frac{U}{Z} = 1,0 \text{ А}; 3) U_R = IR = 0,15 \text{ кВ},$$

$$U_C = \frac{I}{\omega C} = 0,16 \text{ кВ}; 4) P_R = I^2 R = 0,15 \text{ кВт}, P_C = 0;$$

$$5) \cos \varphi = R \left(\sqrt{R^2 + \frac{1}{\omega^2 C^2}} \right)^{-1} = 0,68.$$

$$35.12. 1) Z = \sqrt{R^2 + \omega^2 L^2} = 58 \text{ Ом}; 2) I = U / Z = 3,8 \text{ А}; 3) U_R = IR = 125 \text{ В},$$

$$U_L = I\omega L = 0,18 \text{ кВ}; 4) P_R = I^2 R = 0,48 \text{ кВт}, P_L = 0; 5) \cos \varphi = R / \sqrt{R^2 + \omega^2 L^2} = 0,57.$$

$$35.13. 1) Z = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C} \right)^2} = 0,14 \text{ кОм}; 2) I = U / Z = 0,87 \text{ А};$$

$$3) U_R = IR = 60 \text{ В}, U_C = I / \omega C = 0,14 \text{ кВ}, U_L = I\omega L = 27 \text{ В};$$

$$4) \cos \varphi = R / Z = 0,49; 5) L = (4\pi^2 \nu^2 C)^{-1} = 50 \text{ Гн}, \cos \varphi = 1,0.$$

35.14. I_2 возрастает, U_2 уменьшается; I_1 возрастает, U_1 практически не меняется.

35.15. I_1 возрастет, I_2 уменьшится.

35.16. $k = 0,20$; $N_2 = N_1 U_2 / U_1 = 3,5 \cdot 10^3$; в первой.

35.17. $N_1 = 2,5 \cdot 10^2$; $N_2 = 1,4 \cdot 10^4$.

$$35.18. \eta = \frac{kU_2}{U_1} 100 = 96 \text{ \%}.$$

$$35.19. N_2 = N_1 (U_2^2 + P_2 R_2) / U_1 U_2 = 72.$$

• 35.20. $N_2 = N_1 / k = 30$; $S_2 = S_1 k = 80 \text{ мм}^2$; $R_2 = R_1 / k^2 = 6,0 \text{ мОм}$;
 $P = 2 I_1^2 R_1 = 0,26 \text{ кВт}.$

$$35.21. I_A = \eta U_1 / (R_2 + R_A) k = 0,38 \text{ А}.$$

$$35.22. U_{\text{н}} = \frac{kU_1 R_{\text{н}}}{R_1 + k^2 (R_2 + R_{\text{н}})} = 88 \text{ В}.$$

$$35.23. U = \sqrt{PR / (1 - \eta)} = 60 \text{ кВ}.$$

$$35.24. 1) \eta_1 = 1 - PR / U_1^2 = 0,11; \eta_2 = 1 - PR / U_2^2 = 0,99;$$

$$2) U_{\text{н}} = U_1 - PR / U_1 = 120 \text{ В}; U_{\text{н}2} = U_2 - PR / U_2 = 6,15 \text{ кВ}.$$

$$35.25. T = 2\pi \sqrt{LC} = 0,31 \text{ мкс}, \nu = 1 / T = 3,2 \text{ МГц}.$$

35.26. 1) Уменьшится; 2) увеличится.

$$35.27. \nu_2 / \nu_1 = 0,75.$$

$$35.28. v = 2v_0.$$

35.29. Амплитудными значениями тока и напряжения.

$$35.30. t = T/8.$$

$$35.31. T_2 = T_1/2 = 10 \text{ мкс.}$$

$$35.32. v = 1/2\pi\sqrt{LC} = 10 \text{ МГц, } I_{\max} = \mathcal{E}\sqrt{C/L} = 9,4 \text{ мА,}$$

$$I_d = \mathcal{E}\sqrt{C/2L} = 6,6 \text{ мА.}$$

$$35.33. Q = C\Delta\varphi^2/2 = 0,10 \text{ мкДж.}$$

35.34. В 4 раза.

$$35.35. I_{1\max} = U\sqrt{\frac{L_2C}{L_1(L_1+L_2)}} = 1,4 \text{ А; } I_{2\max} = U\sqrt{\frac{L_1C}{L_2(L_1+L_2)}} = 0,70 \text{ А.}$$

$$35.36. U = 2 \cos 500t, \text{ В; } W_{L_1}^{\max} = L_1q^2/2C(L_1+L_2) = 0,80 \text{ мкДж;}$$

$$W_{L_2}^{\max} = L_2q^2/2C(L_1+L_2) = 7,2 \text{ мкДж.}$$

$$35.37. W_{L_1}^{\max} = L_1q^2/2C(L_1+L_2) = 32 \text{ мДж;}$$

$$W_{L_2}^{\max} = L_2q^2/2C(L_1+L_2) = 8,0 \text{ мДж.}$$

$$35.38. I = -1,25 \sin 2 \cdot 10^3 t, \text{ А; } W_{C_1}^{\max} = C_1C_2^2U^2/2(C_1+C_2)^2 = 48 \text{ мДж;}$$

$$W_{C_2}^{\max} = C_2C_1^2U^2/2(C_1+C_2)^2 = 14 \text{ мДж.}$$

$$35.39. P = U^2CR/2L = 5,0 \text{ мкВт.}$$

$$35.40. t = l/c = 20 \text{ мкс.}$$

$$35.41. \Delta\varphi = 2\pi vl/c = \pi/5.$$

$$35.42. \Delta\lambda = \frac{c}{v} \left(1 - \frac{1}{\sqrt{\epsilon}} \right) = 50 \text{ м, длина волны уменьшается.}$$

$$35.43. C = \lambda^2/4\pi^2c^2L = 51 \text{ пФ.}$$

$$35.44. v = 1/2\pi n.$$

$$35.45. v = c/\lambda, 3,0 \dots 30 \text{ МГц.}$$

$$35.46. C = \lambda^2/4\pi^2c^2L, 2,0 \dots 200 \text{ пкФ.}$$

$$35.47. v = 1/2\pi c\sqrt{LC}, 71 \text{ кГц} \dots 0,71 \text{ МГц; } \lambda = 2\pi c\sqrt{LC}, 0,42 \dots 4,2 \text{ км.}$$

$$35.48. N = c/\lambda v = 2,0 \cdot 10^3.$$

$$35.49. l_{\max} = c/2v = 37 \text{ км; } N = \tau c/\lambda = 4,0 \cdot 10^3.$$

$$\text{X.1. } I = 8S\rho g \operatorname{tg} \alpha / B = 27 \text{ А.}$$

$$\text{X.2. } \varphi_C - \varphi_D = IB/nea.$$

$$\text{X.3. } R_r = m_e v_0 / eB + eE^2 r^2 / m_e B v_0; R_r = \frac{m_e v_0}{eB} \left(1 + \frac{4\pi^2 E^2}{B^2 v_0^2} \right) = 2,2 \text{ см.}$$

$$\text{X.4. } \mathcal{E} = \frac{BR^2 \sin^2 \alpha}{2} \sqrt{\frac{g}{R \cos \alpha}} = 0,83 \text{ В.}$$

$$\text{X.5. } \omega = \mathcal{E}/Bl^2.$$

$$\text{X.6. } P = 5U^2/3R.$$

$$\text{X.7. } A_r / A_{rT} = (1 - 2\pi R\sqrt{C/L})^{-1/2} = 1,03.$$

Глава XI

36.1. Рис. 326. Точка пересечения отрезка AB' с зеркалом является искомой точкой.

36.2. $AA' = l = 15$ см.

36.3. Рис. 327: а) 32° ; б) 58° с поверхностью стола.

36.4. 2α .

36.5. $v_1 = 2v = 3,0$ см/с от зеркала.

36.6. $v = 2\omega l$.

36.7. $v_{\text{отр}} = \sqrt{(2v)^2 + u^2} = 5,0$ см/с; $\alpha = \text{arctg}(2v/u) = 53^\circ$ с направлением движения источника.

36.8. Рис. 328. Глаз следует расположить в области, ограниченной лучами $I'I''$.

36.9. $h = H/2$.

36.10. Рис. 329. Такая система зеркал дает два изображения. Чтобы увидеть их одновременно, глаз наблюдателя должен находиться в одной из точек полосы, ограниченной лучами $O'A$ и $O''B$.

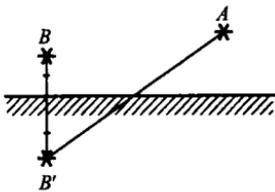


Рис. 326

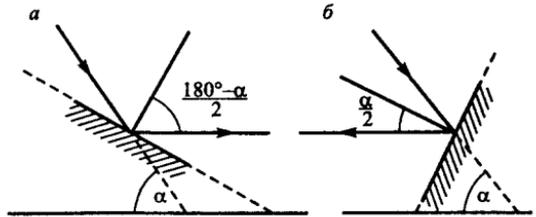


Рис. 327

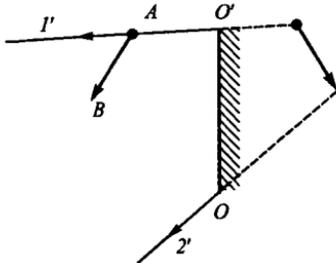


Рис. 328

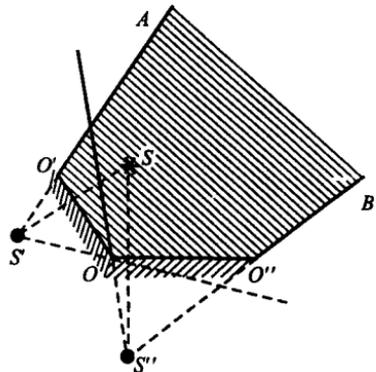
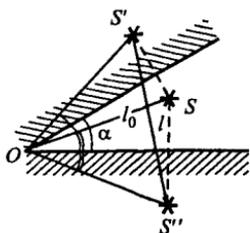
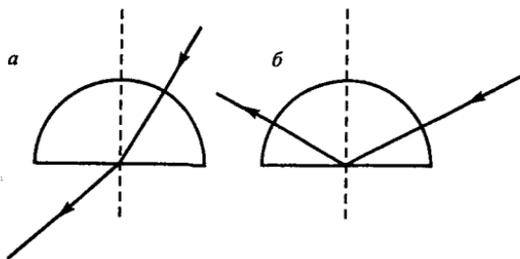


Рис. 329



Р и с. 330



Р и с. 331

36.11. $l = l_0 = 12$ см (рис. 330).

36.12. $\alpha = 180^\circ - 2 \arcsin(a/4b) = 132^\circ$.

36.13. 3; бесконечное число; $360/\alpha - 1$.

36.14. Отражение от прозрачных тел всегда меньше, чем от непрозрачных.

36.15. Не изменится.

36.16. В неоднородной.

36.17. $\alpha = \arctg(n_c/n_n) = 48^\circ$.

36.18. $\gamma = 180^\circ - \alpha - \arcsin(n_n \sin \alpha / n_c) = 87^\circ$, $\alpha_{\min} = \arcsin(n_c/n_n) = 34^\circ$.

$$36.19. n = \frac{\sin \arctg \frac{\sin \beta_1}{\sin \beta_2}}{\sin \beta_1} = 1,5.$$

$$36.20. l_1 = h \operatorname{ctg} \alpha = 0,75 \text{ м}; l_2 = l_1 + H \operatorname{tg} \arcsin \frac{\cos \alpha}{n} = 2,0 \text{ м}.$$

36.21. Рис. 331.

$$36.22. D = 2h / \sqrt{n^2 - 1} = 34 \text{ см}.$$

$$36.23. h_1 = (l - 2h)n / 2 = 13 \text{ см}.$$

$$36.24. H = nh = 2,7 \text{ м}.$$

$$36.25. H = \frac{h + l\sqrt{n^2 - 1}}{2} = 7,4 \text{ м}.$$

$$36.26. l = nD = 18 \text{ см}.$$

$$36.27. l = dn / \sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha} = 3,7 \text{ см}; \text{ под углом } \alpha = 60^\circ.$$

$$36.28. d = l \cos \beta / \sin(\alpha - \beta) = 4,9 \text{ см}, \text{ где } \beta = \arcsin(\sin \alpha / n).$$

$$36.29. n = \sin \alpha / \sin \varphi = 1,5.$$

$$36.30. \delta = \arcsin(n \sin \varphi) - \varphi = 19^\circ.$$

$$36.31. \delta = 2 \arcsin[n \sin(\varphi/2)] - \varphi = 25^\circ.$$

37.1. Для увеличения обзора.

37.5. а) действительное; б) мнимое.

37.6. а) вогнутое; б) вогнутое; в) выпуклое.

37.7. Уменьшится яркость.

$$37.9. F = \sqrt{ab} = 18 \text{ см.}$$

37.10. На расстоянии $d = R(\Gamma + 1) / 2\Gamma = 60$ см от зеркала.

$$37.11. f = Rd / (R + 2d) = 10 \text{ см; да.}$$

$$37.12. R = 2fd / (f + d) = 40 \text{ см.}$$

$$37.13. f = \Gamma d = 45 \text{ см; } R = 2\Gamma d / (1 + \Gamma) = 36 \text{ см.}$$

$$37.14. F = l\Gamma / (\Gamma^2 - 1) = 24 \text{ см.}$$

$$37.15. F = a\Gamma_1\Gamma_2 / (\Gamma_2 - \Gamma_1) = 10 \text{ см.}$$

$$37.16. R = (b^2 - a^2) / a = 10 \text{ см.}$$

$$37.17. a = d(R - d) / (2d - R) = 60 \text{ см.}$$

37.18. Указание. Воспользоваться понятием побочной оптической оси.

37.19. См. указание к задаче 37.18.

37.20. См. указание к задаче 37.18.

37.21. Указание. Воспользоваться свойствами оптического центра и фокуса линзы.

37.22. Указание. Воспользоваться свойством фокуса линзы.

37.23. Можно, поместив ее в среду с $n > n_c$.

$$37.24. R = F(n - 1) = 8,0 \text{ см.}$$

37.25. $n_2 = (n_1 - 1 + k) / k = 1,5$, где n_1 — показатель преломления флинт-гласа.

$$37.26. R_1 = (n - 1)(k - 1) / kD = 7,5 \text{ см; } R_2 = kR_1 = 12 \text{ см.}$$

37.27. Увеличится в $(n_{\text{кв}} - 1)n_{\text{кв}} / (n_{\text{кв}} - n_n) = 3,42$ раза.

37.28. $f = F/2$, изображение действительное.

$$37.29. f = 0,8F; \Gamma = 1/5.$$

$$37.30. F_1 = \Gamma d / (1 + \Gamma) = 7,5 \text{ см; } F_2 = \Gamma d / (\Gamma - 1) = 15 \text{ см.}$$

37.31. $D = (1 + \Gamma)^2 / l\Gamma = 1,25$ дптр; на расстоянии $d = l / (1 + \Gamma) = 1,0$ м от предмета.

$$37.32. x = l\Gamma_1\Gamma_2 = 9,0 \text{ см.}$$

$$37.33. F = \Gamma l / 2 = 15 \text{ см, } \Gamma(d) = F / (d - F).$$

$$37.34. F = \frac{2AB \cdot BC \cdot (AB + BC)}{(BC - AB)^2} = 1,2 \text{ м.}$$

$$37.35. F = (l^2 - a^2) / 4l = 16 \text{ см.}$$

$$37.36. l_{\text{min}} = 4F = 40 \text{ см, } \Gamma = 1.$$

$$37.37. D_1 = -D_2 = -2,25 \text{ дптр.}$$

$$37.38. F = R / 2n = 20 \text{ см.}$$

37.39. $f = dF / (2d - F) = -30$ см, т.е. изображение мнимое.

$$37.40. f = \frac{d(3 - dD)}{2dD(2 - dD) - 1} = 1,0 \text{ м. Указание. Изображение, даваемое лин-$$

зой, является источником для зеркала, которое, отражая лучи, посылает их снова на линзу.

$$37.41. l = \frac{F}{2} \left(2 + \frac{\Gamma_1}{\Gamma} - \Gamma_1 \right) = 7,0 \text{ см. См. указание к задаче 37.40.}$$

37.42. $\Gamma = \frac{\Gamma_1 F_2}{F_1(1 - \Gamma_1) + l - F_2} = 2$. Указание. Изображение, даваемое первой линзой, является источником для второй.

37.43. $\Gamma = \frac{l}{dD_1 - 1 - D_2(adD_1 - a - d)} = 8$. Мнимое, восьмикратно увеличенное. См. указание к задаче 37.42.

$$37.44. f_2 = \frac{F_2[F_1(d+a) - ad]}{F_1(d+a - F_2) - d(a - F_2)} = 12 \text{ см от второй линзы;}$$

$$H = \frac{hF_1F_2}{d(F_1 + F_2 - a) + F_1(a - F_2)} = 9,0 \text{ см. См. указание к задаче 37.42.}$$

$$37.45. R = 2ndf / (d - f) = 72 \text{ см.}$$

$$38.1. H = h(d - F) / F = 36 \text{ м.}$$

38.2. Можно.

$$38.3. \tau = d\Delta x D / v = 10 \text{ мс.}$$

$$38.4. d_{\min} = d / (1 + dD) = 19 \text{ см.}$$

$$38.5. d = (h_1 + nh_2) / (Dh_1 + Dnh_2 - n) = 11 \text{ см.}$$

38.6. $d = (\Gamma + 1)F / \Gamma = 18 \text{ см}$, где Γ — линейное увеличение проекционного аппарата.

$$38.7. \Gamma = (f - F) / F = 29.$$

$$38.8. F = fh / (h + H) = 20 \text{ см.}$$

38.9. Увеличится.

38.10. Так как показатель преломления воды близок к показателю преломления роговицы (хрусталика) и лучи практически не преломляются.

$$38.11. \Delta x = \phi / l = 1,5 \text{ мм.}$$

38.12. Близорукость. Нужна рассеивающая линза с $D = (d - d_0) / dd_0 = -4,0$ дптр.

Указание. Для глаза с нормальным зрением расстояние наилучшего зрения $d_0 = 25 \text{ см}$. Чтобы восполнять недостаток зрения, человек носит очки такой оптической силы, чтобы лучи, падающие от точек, удаленных на 25 см, фокусировались оптической системой очки — глаза на сетчатке.

$$38.13. d = d_0 / (1 - d_0 D) = 80 \text{ см. См. указание к задаче 38.12.}$$

$$38.14. d = d_1 d_2 / (d_2 - d_1) = 12,5 \text{ см.}$$

$$38.15. \Gamma_2 = \frac{\Gamma_1 n}{\Gamma_1(n-1) + 1} = 2. \text{ Уменьшится в 2 раза.}$$

38.16. $D = \Gamma / d_0 = 8$ дптр, где d_0 — расстояние наилучшего зрения; Γ — увеличение лупы.

38.17. Дальнотворкому.

$$38.18. \Delta l = F^2 / (d - F) = 5,9 \text{ мм.}$$

$$38.19. F_{\text{ог}} = \Gamma / (\Gamma - 1) = 60 \text{ см}; F_{\text{ок}} = l / (1 - \Gamma) = -6,0 \text{ см};$$

$$\Delta l = \Gamma^2 l^2 / (\Gamma - 1)(d\Gamma - d - \Gamma l) = 6,0 \text{ мм, где } \Gamma \text{ — увеличение трубы Галилея.}$$

$$38.20. l = \frac{F_1 f - F_2(F_1 - f)}{f - F_2} = 1,1 \text{ м}; d = \frac{\alpha F_1(f - F_2)}{F_2} = 3,5 \text{ см.}$$

$$38.21. \Gamma = F/d_0 = 10, \text{ где } d_0 \text{ — расстояние наилучшего зрения.}$$

38.22. Можно. Надо выдвинуть окуляр так, чтобы он давал действительное изображение.

$$38.23. \Gamma = \frac{F_1(d_0 + F_2)}{F_2(d - F_1)} = 116; l = \frac{dF_1}{d - F_1} + \frac{d_0 F_2}{d_0 + F_2} = 17 \text{ см, где } d_0 \text{ — расстояние наилучшего зрения.}$$

$$38.24. d = \frac{lF_1 F_2 + d_0 l F_1 - d_0 F_1 F_2}{lF_2 + d_0 l - d_0 F_2 - F_1 F_2 - d_0 F_1} = 4,1 \text{ мм, где } d_0 \text{ — расстояние наилучшего зрения.}$$

$$38.25. \Gamma = \frac{1}{dD_1 - 1 - D_2(ldD_1 - l - d)} = 80.$$

$$39.2. \Phi = 2\pi I = 0,16 \cdot 10^3 \text{ лм.}$$

$$39.3. E_1 = I / h^2 = 0,16 \cdot 10^3 \text{ лк}; E_2 = Ih / (h^2 + R^2)^{3/2} = 80 \text{ лк.}$$

$$39.4. \Delta h = h - \sqrt{I/E} = 0,2 \text{ м.}$$

$$39.5. l = \sqrt{(Ih/E)^{2/3} - h^2} = 8 \text{ м.}$$

$$39.6. h = R/\sqrt{2} = 0,7R, \text{ где } R \text{ — радиус стола.}$$

$$39.7. \Phi = 4\pi I = 0,75 \text{ клм}; R = \frac{4I}{d^2} = 6,0 \text{ клм/м}^2.$$

$$39.8. E = Rr^2 / l_2 = 0,40 \text{ клк.}$$

$$39.9. \alpha = 1 - R/E = 0,95.$$

$$39.10. \text{ На расстоянии } x = \frac{l\sqrt{I_1}}{\sqrt{I_1} + \sqrt{I_2}} = 0,53 \text{ м от первой лампы.}$$

$$39.11. E = I \frac{(l^2 + h^2)^{3/2} + h^3}{(l^2 + h^2)^{3/2} h^2} = 27 \text{ лк.}$$

$$39.12. \text{ Уменьшить до } \tau_2 = \tau_1(l - \Delta l)^2 / l^2 = 4,0 \text{ с.}$$

39.13. Уменьшится яркость.

$$39.14. B_1 / B_2 = d_1^2 / d_2^2 = 625.$$

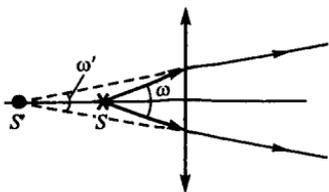
$$39.15. E = \Phi/S = 0,10 \text{ клк}; R = \rho\Phi / S = 80 \text{ лм/м}^2, \text{ где } S \text{ — площадь экрана.}$$

$$39.16. E = \Phi(d - F)^2 / SF^2 = 9,0 \text{ лк, где } S \text{ — площадь диапозитива;}$$

$$R = \rho E = 6,8 \text{ лм/м}^2.$$

39.17. Объектив выдвинуть. Экспозицию увеличить.

39.18. Увеличится в 1,1 раза. *Указание.* Плоское зеркало приводит к появлению еще одного источника S' , являющегося отражением источника S .



Р и с. 332

$$39.19. E = E_0 \frac{(R/2)^2 + (l - R/2)^2}{(R/2)^2} = 0,40 \text{ клк.}$$

Указание. Так как источник находился в фокусе вогнутого зеркала, отражается параллельный пучок. Эта дополнительная освещенность такая же, как освещенность самого зеркала.

$$39.20. I = I_0 F^2 / (F - d)^2 = 0,25 \text{ ккд. Указание.}$$

Световой поток внутри телесного угла ω и ω' один и тот же (рис. 332).

$$39.21. E = I / (d + f - dfD)^2 = 625 \text{ лк.}$$

XI.1. $l = d_0 / 2 - d / n = 11,5$ см, где d_0 — расстояние наилучшего зрения.

$$XI.2. \Delta\varphi = 60^\circ.$$

XI.3. $\gamma = 2 \arcsin \frac{\sin(\varphi / 2)}{n} = 76^\circ$, где n — показатель преломления воды.

$$XI.5. d_1 = \frac{d(3l_1 l_1 F - l_1 l_2^2 + Fl_2^2 - 2l_2 F^2 - l_1 F^2)}{l_1 F^2} = 2,0 \text{ см.}$$

$$XI.6. \alpha = \frac{1}{2} \arcsin \frac{aF}{b(a + d - F)} = 15^\circ.$$

XI.7. $\delta = \frac{F^2(\Gamma_r + 1)^2 \Gamma_m}{\Gamma_r d_0} = 16$ см, где d_0 — расстояние наилучшего зрения.

Г л а в а XII

40.1. $\lambda_n = \lambda / n = 0,38$ мкм; зеленый.

40.2. Коротковолновые.

40.3. Стекло пропускает, а кумач отражает красный свет.

40.4. Через стекло синего цвета. Буквы будут казаться черными.

$$40.5. \delta = \arcsin \frac{\sin \alpha}{n_1} - \arcsin \frac{\sin \alpha}{n_2} = 0,55^\circ.$$

$$40.6. \delta = 7,4^\circ.$$

$$40.7. \Delta F = R \Delta n / 2(n_1 - 1)(n_2 - 1) = 1,6 \text{ см.}$$

40.8. $\Delta y_2 / \Delta y_1 = (l + \Delta l) / l = 2,0$. Полосы станут шире в 2 раза.

$$40.9. \Delta\varphi = 2\pi \Delta r / \lambda = \pi / 2.$$

$$40.10. \Delta y = \tilde{l} / d = 3,6 \text{ мм.}$$

40.11. Да.

40.12. $d_{\min} = \lambda / 4n = 100$ нм, где n — показатель преломления воды.

40.13. С увеличением угла падения разность хода лучей уменьшается.

$$40.14. \alpha = \lambda / 2ns = 10^\circ.$$

40.15. Полосы станут шире.

$$40.16. d = l / N = 2,0 \text{ мкм.}$$

$$40.17. \varphi = \arcsin (k\lambda / d) = 30^\circ.$$

$$40.18. \lambda = \frac{l \sin(\alpha/2)}{kN} = 0,71 \text{ нм}, k_{\max} = \frac{k}{\sin(\alpha/2)} = 2.$$

$$40.19. \lambda_2 = k\lambda_1 / k_2 = 0,51 \text{ нм}.$$

$$40.20. k_{\max} = d / \lambda_2 = 3.$$

$$41.1. E = hc / \lambda, m = h / \lambda c. E_1 = 2,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}; E_2 = 5,2 \cdot 10^{-19} \text{ Дж};$$

$$m_1 = 2,9 \cdot 10^{-36} \text{ кг}; m_2 = 5,8 \cdot 10^{-36} \text{ кг}.$$

$$41.2. m = hv / c^2 = 2,2 \cdot 10^{-33} \text{ кг}; p = hv / c = 6,6 \cdot 10^{-25} \text{ кг} \cdot \text{м/с}.$$

$$41.3. p = E / c = 1,6 \cdot 10^{-27} \text{ кг} \cdot \text{м/с}.$$

$$41.4. \lambda = hc / nE = 0,41 \text{ нм}.$$

$$41.5. v = \lambda E / h = 1,75 \cdot 10^8 \text{ м/с}.$$

$$41.6. \lambda = h / m_e c = 2,42 \text{ пм}.$$

$$41.7. \lambda = h / m_p c = 1,32 \cdot 10^{-15} \text{ м}.$$

$$41.8. \lambda = h / \sqrt{2m_e e \Delta\varphi} = 0,55 \text{ нм}.$$

$$41.9. n = P\lambda / hcS = 2,5 \cdot 10^{18} \text{ (см}^2 \cdot \text{с)}^{-1}.$$

$$41.10. p = 2Nh \sin \alpha / \lambda S = 1,1 \text{ мкПа}.$$

$$41.11. l = \sqrt{d^2 P\lambda / 16hcN} = 0,81 \cdot 10^6 \text{ м}.$$

$$41.12. \Delta M = W\tau / c^2 = 6,0 \cdot 10^9 \text{ кг}.$$

41.13. Нет.

$$41.14. U = hc / e\lambda = 20,5 \text{ кВ}.$$

$$41.15. \lambda = hc / A. \lambda_{\kappa} = 0,577 \text{ нм}; \lambda_{\text{пл}} = 0,235 \text{ нм}.$$

41.16. Нет.

$$41.17. v = \sqrt{\frac{2}{m_e} \left(\frac{hc}{\lambda} - A \right)} = 2,2 \cdot 10^5 \text{ м/с}.$$

$$41.18. v = \frac{A + mv^2 / 2}{h} = 4,9 \cdot 10^{15} \text{ Гц}.$$

$$41.19. p = \sqrt{2m \left(\frac{hc}{\lambda} - A \right)} = 6,7 \cdot 10^{-25} \text{ кг} \cdot \text{м/с}.$$

$$41.20. \lambda_{\text{кр}} = hc / e(\Delta\varphi_1 - 2\Delta\varphi_2) = 0,62 \text{ нм}.$$

$$41.21. \lambda = hc / (A + e\Delta\varphi_3) = 340 \text{ нм}.$$

$$41.22. \Delta\varphi_3 = \frac{hc}{e\lambda} - \frac{A}{e} = 5,05 \text{ В}.$$

$$41.23. v = v_0 + \frac{e\varphi}{h} = 1,3 \cdot 10^{15} \text{ Гц}.$$

41.24. Первый; $\text{tg } \alpha = h/e$.

$$41.25. N = rhc\Delta\lambda / ke^2\lambda_1\lambda_2 = 4,3 \cdot 10^7.$$

$$41.26. E = (h\nu - A) / er = 0,17 \text{ кВ/м.}$$

$$41.27. \lambda = hc / (e\varphi + A) = 0,20 \text{ мкм.}$$

$$41.28. \tau = h\nu c (h\nu - A) / Pe^2 = 79 \text{ пс.}$$

$$41.29. v_{\max} = \sqrt{\frac{2\left(\frac{hc}{\lambda} + e\Delta\varphi - A\right)}{m_e}} = 1,5 \cdot 10^6 \text{ м/с.}$$

Глава XIII

$$42.1. q = 3,8 \cdot 10^{-18} \text{ Кл.}$$

42.2. Алюминий.

$$42.3. r_1 = 0,53 \cdot 10^{-10} \text{ м; } v = 2,2 \cdot 10^6 \text{ м/с.}$$

$$42.4. E = 513 \text{ В/м; } \varphi = 27,2 \text{ В.}$$

$$42.5. F = 82 \text{ нН; } F / F_T = 2,3 \cdot 10^{39}.$$

$$42.6. E_n = -27,2 \text{ эВ; } E_k = 13,6 \text{ эВ; } E = -13,6 \text{ эВ.}$$

$$42.7. \varphi = 13,6 \text{ В.}$$

$$42.8. \varphi_1 = 10,2 \text{ В.}$$

$$42.9. v = 8 \cdot 10^5 \text{ м/с.}$$

42.10. Весь спектр.

$$42.11. 122 \text{ нм; } 103 \text{ нм; } 0,66 \text{ мкм.}$$

$$42.12. \lambda = 90 \text{ нм.}$$

$$42.13. E = 1,9 \text{ эВ.}$$

$$42.14. \lambda_1 = 0,81 \text{ мкм; } \lambda_2 = 1,9 \text{ мкм.}$$

$$43.4. 28,2 \text{ МэВ.}$$

$$43.5. 212 \text{ МэВ.}$$

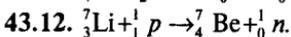
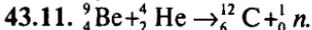
$$43.6. 36,2 \text{ МэВ.}$$

$$43.7. 0,601 \text{ МэВ; } 7,46 \text{ МэВ; } 7,42 \text{ МэВ.}$$

$$43.8. 4,46 \text{ МэВ.}$$

$$43.9. 20,6 \text{ МэВ.}$$

$$43.10. 7,26 \text{ МэВ.}$$



43.14. 1) Выделяется; 2) выделяется; 3) поглощается; 4) поглощается.

$$43.15. 17,36 \text{ МэВ.}$$

$$43.16. 17,6 \text{ МэВ.}$$

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Введение	4
Векторные и скалярные величины	4
ЧАСТЬ ПЕРВАЯ. МЕХАНИКА	7
Глава I. КИНЕМАТИКА	7
§ 1. Равномерное прямолинейное движение	7
§ 2. Равноускоренное прямолинейное движение	13
§ 3. Равноускоренное криволинейное движение	19
§ 4. Криволинейное движение	24
Дополнительные задачи	27
Глава II. ДИНАМИКА	28
§ 5. Динамика прямолинейного движения	28
§ 6. Динамика криволинейного движения	35
§ 7. Импульс. Закон сохранения импульса	40
§ 8. Механическая работа. Мощность. Механическая энергия	44
§ 9. Законы сохранения в механике	50
Дополнительные задачи	55
Глава III. СТАТИКА	56
§ 10. Равновесие материальной точки	56
§ 11. Равновесие твердого тела	60
§ 12. Жидкости и газы	67
Дополнительные задачи	72
Глава IV. МЕХАНИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ	74
§ 13. Кинематика гармонического колебательного движения	74
§ 14. Динамика гармонического колебательного движения	76
§ 15. Волны. Звук	80
Дополнительные задачи	82
ЧАСТЬ ВТОРАЯ. МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА. ТЕРМОДИНАМИКА	84
Глава V. МОЛЕКУЛЯРНО-КИНЕТИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ СТРОЕНИЯ ВЕЩЕСТВА	84
§ 16. Масса и размеры молекул	84
§ 17. Движение молекул. Взаимодействие молекул	85
§ 18. Тепловое расширение твердых и жидких тел	86

Глава VI. СВОЙСТВА ГАЗОВ	88
§ 19. Молекулярно-кинетическая теория газов	88
§ 20. Уравнение состояния идеального газа. Газовые законы	89
§ 21. Свойства паров. Влажность	95
Дополнительные задачи	97
Глава VII. ТЕПЛОТА И РАБОТА	98
§ 22. Изменение внутренней энергии путем теплообмена	98
§ 23. Изменение внутренней энергии в процессе совершения работы	101
§ 24. Применение первого начала термодинамики к газам	103
Дополнительные задачи	108
ЧАСТЬ ТРЕТЬЯ. ЭЛЕКТРИЧЕСТВО	110
Глава VIII. ЭЛЕКТРОСТАТИКА	110
§ 25. Электрические заряды. Закон Кулона	110
§ 26. Электрическое поле. Его характеристики и связь между ними	112
§ 27. Проводники и диэлектрики в электрическом поле	117
§ 28. Электроемкость. Конденсаторы	120
Дополнительные задачи	126
Глава IX. ПОСТОЯННЫЙ ТОК	128
§ 29. Сила тока. Закон Ома для участка цепи. Соединения проводников	128
§ 30. Закон Ома для замкнутой цепи	133
§ 31. Работа и мощность тока	138
§ 32. Электрический ток в различных средах	143
Дополнительные задачи	145
Глава X. ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМ. ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ	147
§ 33. Взаимодействие магнитного поля с током	147
§ 34. Электромагнитная индукция. Самоиндукция	152
§ 35. Переменный ток. Трансформаторы	160
Дополнительные задачи	165
ЧАСТЬ ЧЕТВЕРТАЯ. ОПТИКА. СТРОЕНИЕ АТОМА	167
Глава XI. ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ ОПТИКА. ФОТОМЕТРИЯ	167
§ 36. Отражение и преломление света на плоской границе	167
§ 37. Сферические зеркала и линзы	170
§ 38. Оптические приборы	175
§ 39. Фотометрия	177
Дополнительные задачи	179
Глава XII. ВОЛНОВЫЕ И КВАНТОВЫЕ СВОЙСТВА СВЕТА	180
§ 40. Волновая природа света	180
§ 41. Квантовая природа света	182
Глава XIII. АТОМНАЯ ФИЗИКА	184
§ 42. Строение атома	184
§ 43. Строение ядра	185
Приложения	187
Ответы	199