

Приложение к журналу

КВАНТ

№1/99

МАТЕРИАЛЫ ВСТУПИТЕЛЬНЫХ ЭКЗАМЕНОВ ПО ФИЗИКЕ

Бюро  Квантум

**МАТЕРИАЛЫ ВСТУПИТЕЛЬНЫХ ЭКЗАМЕНОВ
ПО ФИЗИКЕ**

Составитель В.А.Тихомирова



Москва 1999
Бюро «Квантум»

УДК 373.167.1:53(075.4)
ББК 22.3 Я 721
М34

Приложение
к журналу «Квант»
№1/99

Под редакцией А.И.Черноуцана

М34 Материалы вступительных экзаменов по физике/
Составитель В.А.Тихомирова. — М.: Бюро Квантум, 1999.
— 128 с. (Прил. к журналу «Квант» №1/99)
ISBN 5-85843-016-3

Книга представляет собой сборник задач по физике, предлагавшихся на вступительных экзаменах в вузы и опубликованных в журнале «Квант» в течение последних семи лет. Все задачи снабжены ответами.

Для старшеклассников и выпускников средних школ, лицеев и гимназий, для слушателей подготовительных отделений и курсов, а также для всех тех, кто самостоятельно готовится к конкурсным экзаменам в вузы.

ББК 22.3 Я721

ISBN 5-85843-016-3

© Бюро Квантум
«Квант», 1999

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	4	
	Задачи	Ответы
Глава 1. Механика		
Кинематика	5	105
Основы динамики	9	106
Законы сохранения в механике	21	108
Жидкости и газы	31	111
Глава 2. Молекулярная физика. Тепловые явления		
Основы молекулярно-кинетической теории	35	112
Тепловые явления	47	116
Глава 3. Основы электродинамики		
Электростатика	59	118
Законы постоянного тока	68	120
Магнитное поле. Электромагнитная индукция	78	122
Глава 4. Оптика		
Геометрическая оптика	88	123
Волновая оптика	101	126

ПРЕДИСЛОВИЕ

В этой книге собраны задачи по физике, предлагавшиеся на вступительных экзаменах в различные вузы в 1993 — 1997 годах и опубликованные в журнале «Квант». (Напомним, что конкурсные материалы предыдущих лет собраны в самом первом Приложении к журналу «Квант» — в 1993 году.)

Задачи скомпонованы не по вузам (как на страницах журнала), а по темам, но после каждой задачи в скобках указан номер соответствующего вуза: 1 — Государственная академия нефти и газа им. И.М.Губкина, 2 — Московский государственный авиационный институт, 3 — Московский государственный авиационный технологический университет им. К.Э.Циолковского, 4 — Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова, 5 — Московский государственный инженерно-физический институт, 6 — Московский государственный институт электроники и математики, 7 — Московский государственный институт электронной техники, 8 — Московский педагогический государственный университет, 9 — Московский физико-технический институт, 10 — Московский энергетический институт, 11 — Новосибирский государственный университет, 12 — Санкт-Петербургский государственный технический университет, 13 — Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет, 14 — Физико-математический колледж при «Курчатовском институте». Мы не стремились к единому стилю в формулировках задач — напротив, сохранены наиболее характерные особенности конкретного вуза (связанные, в частности, с типом вступительного экзамена — устный, письменный, машинный).

В данный сборник не вошли задачи по темам «Колебания и волны» и «Квантовая физика». Вы найдете их в следующем Приложении, которое также предназначено абитуриентам: в него, кроме задач, войдут статьи по физике из раздела «Практикум абитуриента», опубликованные в «Кванте» в последние годы.

КИНЕМАТИКА

1.1. Катер, переправляясь через реку шириной 600 м, двигался перпендикулярно течению реки со скоростью 4 м/с в системе отсчета, связанной с водой. На сколько метров будет снесен катер течением, если скорость течения 1,5 м/с? (1)

1.2. Самолет летит из пункта A в пункт B и обратно со скоростью $v_1 = 600$ км/ч относительно воздуха. Сколько времени затратит самолет на весь полет, если вдоль линии полета непрерывно дует ветер постоянного направления со скоростью $v_2 = 20$ м/с? Расстояние между пунктами $l = 900$ км. (2)

1.3. Катер, движущийся со скоростью $v_1 = 30$ км/ч, буксирует спортсмена на водных лыжах (рис.1). Трос, за который держится спортсмен, составляет с направлением движения катера угол $\alpha = 150^\circ$. Направление движения спортсмена образует с тросом угол $\beta = 60^\circ$. Чему равна скорость спортсмена (v_2) в этот момент времени? (4)

1.4. Жесткий стержень AB длиной l опирается концами о

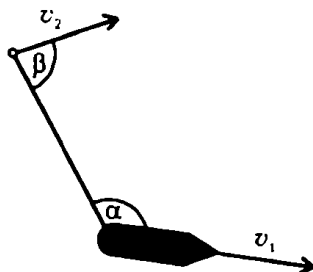


Рис. 1

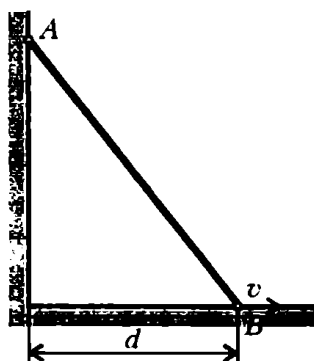


Рис. 2

пол и стену (рис.2). Конец B движется по полу равномерно со скоростью v , причем при $t = 0$ точка B находится на расстоянии d от угла. Найдите скорость конца A в произвольный момент времени t . (10)

1.5. За две секунды движения тело прошло путь 20 м, при этом его скорость, не меняя направления, увеличилась в 3 раза по сравнению с первоначальной. Каково было ускорение тела? (1)

1.6. На последнем километре пути скорость поезда уменьшилась на $\Delta v_1 = 10$ м/с. Определите изменение скорости на предпоследнем километре пути. Движение по прямой равнозамедленное. (7)

1.7. При равноускоренном движении тела с начальной скоростью величина перемещения за 5-ю секунду больше величины перемещения за 1-ю секунду на $\Delta s = 10$ м. Найдите ускорение тела. (4)

1.8. От движущегося поезда отцепляют последний вагон. При этом поезд продолжает движение с той же скоростью. Считая, что вагон движется равнозамедленно, найдите, во сколько раз путь, пройденный вагоном до его остановки, меньше пути, пройденного поездом к этому моменту. (1)

1.9. Тело двигалось по оси X с постоянным ускорением. В точке $x_1 = 2$ м оно имело проекцию скорости $v_{1x} = 2$ м/с, а в точке $x_2 = 3$ м – проекцию скорости $v_{2x} = 3$ м/с. Найдите координату точки, из которой тело начало движение. (7)

1.10. Тело, движущееся вдоль прямой с постоянным ускорением, прошло за первую секунду путь $s_1 = 1$ м, за вторую $s_2 = 2$ м. Какой путь пройдет тело за третью секунду? (7)

1.11. За пятую секунду равнозамедленного движения тело проходит путь $s_5 = 5$ см и останавливается. Какой путь тело проходит за вторую секунду этого движения? (7)

1.12. Стартовав, автомобиль разгоняется, выходит на первую отметку и до второй отметки, находящейся на расстоянии $l = 0,5$ км от первой, движется с постоянной скоростью. На каком расстоянии до первой отметки должен стартовать автомобиль, чтобы время его появления на второй отметке после старта было наименьшим? (3)

1.13. При торможении от скорости $v_1 = 40$ км/ч до полной остановки автомобиль прошел путь $s_1 = 16$ м. Какой путь пройдет этот автомобиль на той же дороге при снижении скорости от $v_3 = 100$ км/ч до $v_2 = 60$ км/ч? Считайте, что ускорение при торможении постоянно и одинаково в обоих случаях. (4)

1.14. Проекция скорости движущегося тела изменяется по закону $v_x = 10 - 2t$. Опишите характер движения тела. Постройте график зависимости проекции скорости от времени и найдите, графически и аналитически, проекции скорости через 2 с и 8 с от начала движения. Определите координаты тела в

эти моменты времени, если оно начало двигаться из начала координат. (8)

1.15. В последнюю секунду свободного падения тело прошло путь вдвое больший, чем в предыдущую секунду. С какой высоты падало тело? ¹ (12)

1.16. Парашютист сразу же после прыжка пролетает расстояние 50 м, на котором сила сопротивления воздуха пренебрежимо мала. Далее, после раскрытия парашюта, он движется с ускорением 2 м/с^2 и достигает земли со скоростью 3 м/с . С какой высоты парашютист прыгал и сколько времени он находился в воздухе? (3)

1.17. Определите время равноускоренного движения снаряда в стволе вертикально установленного орудия, если после выстрела снаряд достигает высоты $H = 4,5 \cdot 10^3 \text{ м}$. Длина ствола $L = 3 \text{ м}$. Сопротивлением воздуха пренебречь. (7)

1.18. Два камня брошены из одной точки с одинаковыми скоростями: один – вертикально вверх, другой – вертикально вниз. Они упали на землю с интервалом времени τ . С какой скоростью были брошены камни? Сопротивление воздуха не учитывать. (9)

1.19. Аэростат поднимается вертикально вверх с ускорением $a = 2 \text{ м/с}^2$. Через $\tau = 5 \text{ с}$ от начала движения из него выпал предмет. Через какое время этот предмет упадет на землю? (8)

1.20. С вертолета, поднимающегося вертикально вверх с постоянной скоростью $1,5 \text{ м/с}$, сбрасывают небольшой мешок с почтой. Какими будут скорости мешка и пройденный им путь через 2 с ? На каком расстоянии от вертолета окажется мешок к концу второй секунды? Сопротивлением воздуха пренебречь. (8)

1.21. Двигатель ракеты, запущенной с поверхности земли, сообщает ей постоянное ускорение, равное $a = 10 \text{ м/с}^2$ и направленное вертикально вверх. Сколько времени должен проработать двигатель, чтобы ракета достигла максимальной высоты $H = 250 \text{ м}$? Сопротивление воздуха не учитывать. (4)

1.22. Тело брошено вертикально вверх с начальной скоростью $v_0 = 3 \text{ м/с}$. Когда оно достигло верхней точки полета, из того же пункта с такой же начальной скоростью брошено второе тело. На каком расстоянии от точки бросания встретятся тела? (8)

1.23. Жонглер бросает мячи вертикально вверх с одинаковыми начальными скоростями и через одинаковые промежутки

¹ Здесь и далее ускорение свободного падения принять равным $g = 10 \text{ м/с}^2$.

времени τ . Каждый мяч находится в полете в течение времени 4τ . В момент бросания четвертого мяча расстояние между вторым и третьим мячами равно $s = 0,5$ м. Вычислите длительность полета мяча. (7)

1.24. Самолет летит по дуге окружности радиусом $R = 1$ км, сохраняя одну и ту же высоту $h = 1,5$ км. С интервалом времени $\tau = 10,5$ с ($\approx 10\pi/3$ с) с него сбрасывают два мешка. На каком расстоянии друг от друга упадут эти мешки на землю, если скорость самолета $v = 100$ м/с? Сопротивлением воздуха можно пренебречь. (4)

1.25. Тело, брошенное с вышки высотой $h = 10$ м, упало на землю со скоростью, равной $v = 15$ м/с и направленной под прямым углом к начальной скорости. Определите время падения. Сопротивление воздуха не учитывать. (6)

1.26. В горизонтальном направлении со скоростью 10 м/с брошено тело, которое падает на землю через 3 с. Найдите тангенс угла, который составит вектор скорости тела с горизонтом при падении. (1)

1.27. Мяч, брошенный одним игроком другому под некоторым углом к горизонту со скоростью $v_0 = 20$ м/с, достиг высшей точки траектории через $\tau = 1$ с. На каком расстоянии друг от друга находились игроки? Силу сопротивления воздуха считайте пренебрежимо малой. (7)

1.28. С какой наименьшей скоростью должен бросить камень мальчик с берега реки шириной $L = 12$ м, чтобы перебросить его на другой берег, если он бросает этот камень с высоты $h = 1$ м от поверхности воды под углом $\alpha = 30^\circ$ к горизонту? Сопротивлением воздуха пренебречь. (7)

1.29. Какую минимальную скорость должен иметь камень, брошенный мальчиком, чтобы он перелетел дом высотой $H = 25$ м и шириной $L = 12,5$ м? Для броска мальчик может выбрать место на любом расстоянии от дома. Ростом мальчика можно пренебречь. (3)

1.30. Дымовая шашка падает вертикально с высоты H_0 с нулевой начальной скоростью. Дым сносится ветром, который дует горизонтально на всех высотах с постоянной скоростью v_0 . На сколько дым будет снесен относительно вертикальной траектории шашки на высоте h над поверхностью земли в момент падения шашки на землю? (11)

1.31. С вершины холма бросили камень под углом к горизонту со скоростью $v_0 = 10$ м/с. В момент падения камня на склон холма угол между направлением скорости камня и горизонтом составил $\beta = 60^\circ$, а разность высот точек бросания и падения

равна $\Delta h = 5$ м. Найдите угол между направлением начальной скорости камня и горизонтом. (4)

1.32. Колесо катится без проскальзывания по ленте транспортера, движущейся горизонтально со скоростью $v_0 = 1$ м/с, в направлении движения ленты (рис.3). Известно, что относительно неподвижного наблюдателя скорость \vec{v}_B точки B , находящейся на ободе колеса на его горизонтальном диаметре, составляет с горизонтом угол $\alpha = 30^\circ$. Найдите скорость центра колеса относительно неподвижного наблюдателя. (4)

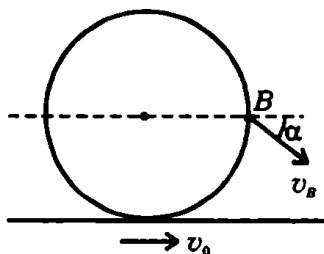


Рис. 3

1.33. Атракцион состоит в катании на карусели по окружности радиусом $R = 10$ м, расположенной в горизонтальной плоскости на высоте $h = 5$ м от земли. На каком расстоянии от оси карусели упадет на землю предмет, выпавший из рук одного из катающихся, если время полного оборота карусели $T = 5$ с? (4)

1.34. Два самолета летят навстречу друг другу с одинаковыми по модулю скоростями v_0 . Завидев друг друга на расстоянии L , пилоты начинают разворот по окружностям, оставаясь в горизонтальной плоскости и не меняя величин скоростей. Найдите минимальное расстояние между самолетами, если повороты выполняются с одинаковыми ускорениями a . (11)

1.35. Магнитофонная лента перематывается с одной бобины (катушки) на другую. Угловая скорость приемной бобины постоянна и равна ω , радиус пустой бобины R , толщина ленты h . Какова будет скорость подачи ленты через время t после начала движения? (12)

Основы динамики

1.36. Три бруска, массы которых 0,5 кг, 0,3 кг и 0,1 кг, связаны нитями и лежат на столе. К первому бруску приложена горизонтально направленная сила, равная 18 Н. Какова сила натяжения нити, связывающей первый и второй бруски? Трение не учитывать. (1)

1.37. На какое расстояние от поверхности Земли нужно удалить тело, чтобы сила тяготения уменьшилась в 100 раз? Радиус Земли 6400 км. (1)

1.38. На какой высоте от поверхности Земли ускорение свободного падения вдвое меньше, чем ускорение свободного падения на поверхности Земли? Радиус Земли $R_3 = 6400$ км. (4)

1.39. Определите период обращения искусственного спутника, вращающегося по круговой орбите радиусом R . Радиус Земли R_3 , ускорение свободного падения у поверхности Земли g . (10)

1.40. Во сколько раз отличаются минимальные периоды обращения спутников для Марса и Земли? Масса Марса составляет $\alpha = 0,11$ массы Земли, а радиус – $\beta = 0,53$ радиуса Земли. (9)

1.41. Груз прикрепляют к нити и подвешивают – опыт проводится в Москве. При какой продолжительности суток нить расположилась бы параллельно оси вращения Земли? Радиус Земли $R_3 = 6400$ км. (9)

1.42. Луна движется вокруг Земли с периодом $T = 27,3$ суток по орбите, которую можно считать круговой. Радиус Земли $R_3 = 6400$ км. Ускорение свободного падения на поверхности Земли $g = 9,8$ м/с². Определите по этим данным расстояние между Землей и Луной. (9)

1.43. Спутник движется вокруг некоторой планеты по круговой орбите радиусом $r = 4,7 \cdot 10^9$ м со скоростью $v = 10^4$ м/с. Какова средняя плотность планеты, если ее радиус $R = 1,5 \cdot 10^8$ м? Гравитационная постоянная $G = 6,67 \cdot 10^{-11}$ Н·м²/кг². (8)

1.44. Известно, что сила тяжести, действующая на тело на высоте h над поверхностью планеты на полюсе, равна весу этого же тела на поверхности планеты на экваторе. Найдите период вращения планеты вокруг оси, если радиус планеты R , а ускорение свободного падения у поверхности на полюсе равно g . Планету считать однородным шаром. (4)

1.45. Вес тела на экваторе некоторой планеты составляет $\eta = 97\%$ от веса этого же тела на полюсе. Найдите период вращения планеты вокруг своей оси, если плотность вещества планеты $\rho = 2,5 \cdot 10^3$ кг/м³. Планету считайте однородным шаром. Гравитационная постоянная $G = 6,67 \cdot 10^{-11}$ м³/(кг·с²). (4)

1.46. В лифте, движущемся вертикально вверх с ускорением $a_0 = 2$ м/с², находится вращающийся с частотой $f = 1,3$ об/с горизонтальный столик, на котором лежит маленький коробок. Коэффициент трения коробка о столик $\mu = 0,4$. Найдите максимальное расстояние коробка от оси вращения, при котором он еще будет удерживаться на столике. Найдите также ускорение коробка относительно земли. (12)

1.47. Лента горизонтального транспортера движется со скоростью $u = 0,5$ м/с. На ленту, касаясь ее, влетает шайба с

начальной скоростью, равной $v = 2,1 \text{ м/с}$ и перпендикулярной краю ленты. Найдите ширину ленты, при которой шайба остановится на ее краю, если коэффициент трения между шайбой и лентой $\mu = 0,75$. (12)

1.48. Небольшое тело массой m , находящееся на горизонтальной плоскости, испытывает действие постоянной по модулю силы (рис.4). Угол α между вектором \vec{F} и горизонтом может непрерывно изменяться. Определите максимальное ускорение тела. Коэффициент трения между телом и плоскостью μ . (2)

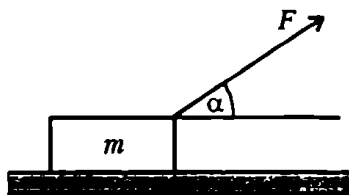


Рис. 4

1.49. Угол наклона плоской доски к горизонту составляет $\alpha = 30^\circ$.

На доску положили кирпич массой $m = 2 \text{ кг}$. Коэффициент трения между доской и кирпичом $\mu = 0,8$. Вычислите величину силы трения, действующей на кирпич. (7)

1.50. На столе лежат один на другом два журнала, придавленные небольшим грузом. Нижний журнал закреплен, а к верхнему привязана нить, свисающая с края стола, с подвешенным к ней другим грузом. Если этот груз отпустить, то журнал соскальзывает. Если же вставить некоторое количество страниц одного журнала между страницами другого, то при прежних условиях журнал останется неподвижным. Объясните явление. (11)

1.51. На перекладину с круглым сечением надета петля из тонкой легкой однородной нити (рис.5). К петле с помощью невесомого крюка A на такой же нити подвешен груз, массу которого постепенно увеличивают до разрыва нити. Определите, при каких значениях угла α порвется петля, а при каких – нить, соединяющая груз с крюком. (11)

1.52. В лифте, опускающемся с ускорением 2 м/с^2 , на пружине жесткостью 560 Н/м висит груз. Найдите массу груза (в г), если удлинение пружины равно 1 см . (1)

1.53. Невесомый блок (рис.6) подвешен при помощи невесомой нити и двух пружин жесткостями k_1 и k_2 . На какое расстояние опустится блок, если к его оси приложить силу F ? (6)

1.54. К нижнему концу поплавка прикреплена леска с грузом. Определите силу

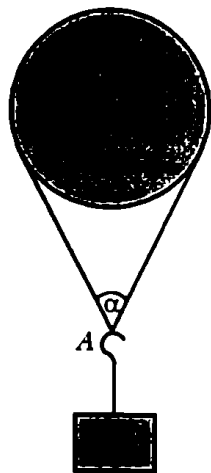


Рис. 5

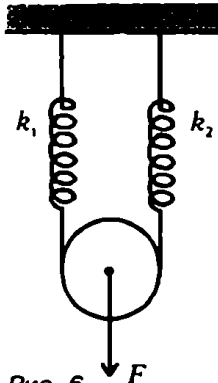


Рис. 6

натяжения лески, если плавающий поплавочек погружен в воду на $k = 2/3$ своей длины. Масса поплавка $m = 10$ г. (4)

1.55. Брусек массой $m = 2$ кг, лежащий на шероховатой горизонтальной плоскости, приходит в движение с ускорением $a = 3 \text{ м/с}^2$, когда на него действуют горизонтальной силой $F = 11$ Н. Какой минимальной горизонтальной силой следует подействовать на брусок, чтобы только сдвинуть его с места? (7)

1.56. Санки массой $m = 18,3$ кг расположены на горизонтальной плоскости. К санкам приложили силу, составляющую с горизонтом угол $\alpha = 30^\circ$. Вычислите минимальную величину этой силы, достаточную для начала движения санок. Коэффициент трения $\mu = 0,1$. (7)

1.57. Человек тянет санки массой $m = 8$ кг с силой $F = 100$ Н за веревку под углом $\alpha = 30^\circ$ к горизонту. Санки движутся горизонтально, коэффициент трения санок о снег $\mu = 0,1$. 1) Определите ускорение, с которым движутся санки. 2) Под каким углом к горизонту «выгоднее» тянуть санки? (13)

1.58. На гладкой горизонтальной плоскости покоится тело массой $M = 4$ кг. Через время $\tau = 3$ с после начала действия постоянной по величине и направлению горизонтальной силы тело достигло скорости $v = 0,6 \text{ м/с}$. Найдите величину этой силы. Силу какой минимальной величины следует приложить к этому телу, чтобы перемещать его по шероховатой горизонтальной поверхности с ускорением $a = 1 \text{ м/с}^2$, если коэффициент трения скольжения $\mu = 0,2$? (7)

1.59. Вычислите время, за которое тело соскользнет с нулевой начальной скоростью с наклонной плоскости высотой $h = 26$ см с углом наклона $\beta = 60^\circ$, если по наклонной плоскости с углом наклона $\alpha = 45^\circ$ и тем же коэффициентом трения оно движется равномерно. (7)

1.60. Какой путь пройдет шайба до остановки, если ее пустить вверх по плоской ледяной горке с начальной скоростью v_0 ? Коэффициент трения шайбы о лед μ , угол наклона горки к горизонту α . (10)

1.61. По наклонной плоскости, образующей угол α с горизонтом, втягивают за веревку ящик массой M . Коэффициент трения ящика о плоскость μ . Под каким углом к плоскости следует тянуть веревку, чтобы двигать ящик равномерно с минимальным усилием? (4)

1.62. Ледяная горка составляет с горизонтом угол $\alpha = 30^\circ$. По ней пускают снизу вверх камень, который за время $t = 2$ с проходит расстояние $l = 12$ м, после чего скатывается вниз. 1) Найдите коэффициент трения камня о горку и время скатывания камня с горки. 2) При каком максимальном угле α камень «застрянет» на горке? (13)

1.63. Шайба, брошенная вдоль наклонной плоскости, скользит по ней, двигаясь вверх, а затем возвращается к месту броска. График зависимости модуля скорости шайбы от времени приведен на рисунке 7. Найдите угол наклона плоскости к горизонту. (9)

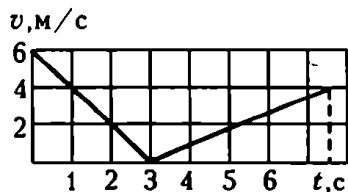


Рис. 7

1.64. По наклонной плоскости, образующей угол $\alpha = 30^\circ$ с горизонтом, с помощью пружины, параллельной плоскости, брусок сначала равномерно втащили вверх, а затем, удерживая за пружину, равномерно спустили вниз. Отношение удлинений пружины при движении вверх и вниз составляет $\Delta L_1 / \Delta L_2 = n = 4$. Определите коэффициент трения между бруском и плоскостью. (7)

1.65. Брусок массой $2,8$ кг перемещают вверх вдоль вертикальной стены с помощью силы, равной 70 Н и направленной под углом α к вертикали. Найдите ускорение бруска, если известно, что $\sin \alpha = 0,6$, а коэффициент трения между стеной и бруском $0,4$. (1)

1.66. Тело массой m соскальзывает с наклонной плоскости с ускорением a . Каким будет ускорение, если тело прижать с силой N еще одной плоскостью, параллельной наклонной? Коэффициенты трения скольжения между телом и плоскостями одинаковы и равны μ . (11)

1.67. Автомобиль массой M поднимается с постоянной скоростью вверх по дороге, составляющей угол α с горизонтом. Найдите силу взаимодействия ведущих (задних) колес с поверхностью дороги. Расстояние между осями автомобиля L , центр тяжести находится посередине между осями на высоте H от поверхности дороги. Силу трения, действующую на передние колеса, не учитывайте. (4)

1.68. Жесткость резинового жгута, длина которого l и масса m , равна k . Кольцо, изготовленное из этого жгута, вращается с угловой скоростью ω в горизонтальной плоскости вокруг вертикальной оси, проходящей через центр кольца. Определите радиус вращающегося кольца. (12)

1.69. Велосипедист производит поворот радиусом 30 м на наклонном треке. Чему равна максимально допустимая скорость движения, если коэффициент трения 0,5, а тангенс угла наклона трека к горизонту $1/2$? (1)

1.70. Грузик, подвешенный на легкой нерастяжимой нити длиной 30 см, свободно вращается в вертикальной плоскости. В верхней точке окружности скорость грузика равна 2 м/с. Во сколько раз сила натяжения нити в нижней точке больше, чем в верхней? (1)

1.71. Невесомый блок радиусом $R = 10$ см подвешен при помощи невесомой нити и пружины жесткостью $k = 50$ Н/м (рис.8). На какой угол повернется блок, если к его оси приложить силу $F = 10$ Н? Блок относительно нити не проскальзывает. (6)

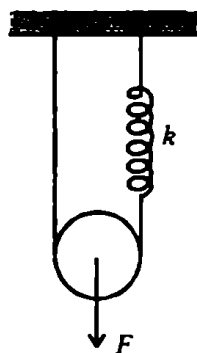


Рис. 8

1.72. Машина массой 1,5 т движется со скоростью 72 км/ч по выпуклому мосту, радиус кривизны которого 100 м. С какой силой (в кН) давит машина на мост, проезжая через его середину? (1)

1.73. С какой скоростью должен двигаться велосипедист по выпуклому мосту, имеющему радиус кривизны $R = 120$ м, чтобы в верхней точке траектории давление на дорогу было в 3 раза меньше, чем при движении на горизонтальном участке? (8)

1.74. Висячий мостик (рис.9), имеющий форму дуги окружности радиусом $R = 4$ м, выдерживает максимальную нагрузку $P = 1000$ Н. С какой максимальной скоростью может ехать по нему велосипедист, масса которого (вместе с велосипедом) $m = 90$ кг? (4)

1.75. Шарик, подвешенному на нити, сообщили некоторую начальную скорость, после чего он начал двигаться по окружности в вертикальной плоскости. Определите массу шарика, если известно, что сила натяжения нити в верхней точке траектории составляет $T_1 = 1$ Н, а в нижней точке — $T_2 = 2$ Н.

Сопротивлением воздуха можно пренебречь. (4)

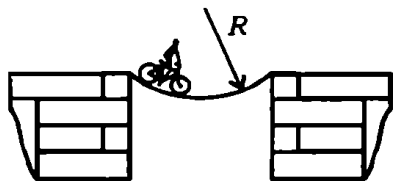


Рис. 9

1.76. Маленький шарик, привязанный двумя невесомыми нерастяжимыми нитями к точкам A и B опоры, находящимся на одной вертикали, равномерно движется по окружности в гори-

зонтальной плоскости (рис.10). Длины нитей одинаковы и равны расстоянию между A и B : $L = AB = 0,6$ м. При каких значениях скорости движения шарика нижняя нить будет провисать? (4)

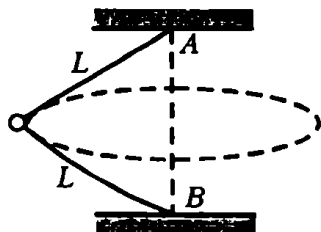


Рис.10

1.77. Колесо радиусом R катится по дороге без проскальзывания с ускорением a . В некоторый момент времени прилипший к ободу комочек грязи массой m находится в передней точке колеса. Найдите равнодействующую сил, действующих на этот комок, если скорость оси колеса в этот момент равна v . (11)

1.78. Однородная балка массой $m = 60$ кг упирается одним концом в угол между стеной и полом. Угол наклона балки к полу $\alpha = 30^\circ$. К другому концу балки со стороны стены привязан канат. Угол между балкой и канатом $\beta = 60^\circ$. Определите силы нормального давления балки на стену и пол. (6)

1.79. К лестнице AC , стоящей в углу комнаты, приложена горизонтальная сила F на расстоянии $AD = 1/3 AC$ (рис.11). При некотором значении этой силы лестница перестает опираться на стенку в точке A . Под каким углом к горизонтالي направлена при этом сила, действующая на точку C со стороны пола? Лестница не скользит, $AB = 3$ м, $BC = 4$ м. (4)

1.80. Три однородных шара, массы которых 1 кг, 2 кг и 2 кг соответственно, укреплены на легком стержне. Центр второго шара находится на расстоянии 50 см, а центр третьего — на расстоянии 150 см от центра первого шара. На каком расстоянии (в см) от центра первого шара находится центр тяжести всей системы? (1)

1.81. На тонкую квадратную пластину из алюминия наложена пластина из стали в форме круга. Толщина пластин одна и та же. Сторона квадрата $a = 10$ см, радиус круга $R = a/4$. Круг касается стороны квадрата и проходит через его центр. Определите, на каком расстоянии от

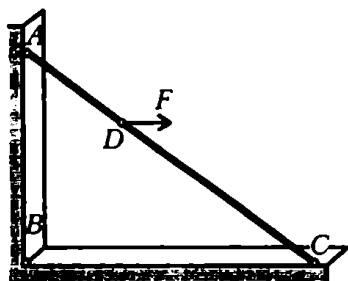


Рис.11

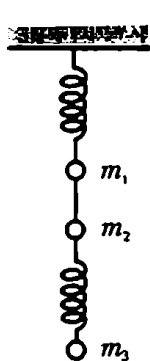
центра квадрата находится центр тяжести фигуры. Плотность алюминия $\rho_1 = 2,7 \cdot 10^3$ кг/м³, стали $\rho_2 = 8,0 \cdot 10^3$ кг/м³. (6)

1.82. Два связанных между собой бруска массами 0,6 кг и 0,3 кг движутся по горизонтальной плоскости под действием

горизонтальной силы $4,5 \text{ Н}$, приложенной ко второму бруску. Каково ускорение брусков? Какова сила натяжения связывающей их нити? Коэффициент трения $0,05$. (8)

1.83. Вертолет массой M вместе с грузом массой m , висющим на тросе, взлетает вертикально вверх с ускорением a . В процессе взлета трос обрывается. Определите ускорение вертолета сразу после обрыва троса. (11)

1.84. В вертикальную стенку на одной высоте и на расстоянии $2l$ друг от друга вбиты два гвоздя, через которые перекинута тонкая невесомая нерастяжимая нить. К концам нити и к ее середине прикреплены грузы одной и той же массы m (средний груз находится на одинаковых расстояниях от гвоздей). Вначале



грузы удерживаются так, что средняя часть нити горизонтальна, затем их отпускают без начальной скорости. Какую скорость будет иметь средний груз, проходя положение равновесия? Трение не учитывайте. (4)

1.85. Шары с массами m_1 , m_2 и m_3 подвешены к потолку с помощью двух невесомых пружин и легкой нити (рис.12). Система покоится. 1) Определите натяжение нити. 2) Определите ускорение (направление и модуль) шара массой m_1 сразу после пережигания нити. (9)

Рис. 12

1.86. На горизонтальной плоскости стоят два кубика одинаковых размеров, имеющие массы m_1 и m_2 . Коэффициенты трения кубиков о плоскость μ_1 и μ_2 . К первому кубику прикладывают силу \vec{F} , линия действия которой проходит через центры обоих кубиков перпендикулярно боковым граням. Кубики скреплены легкой недеформированной (в исходном состоянии) пружиной, ось которой совпадает с линией действия силы \vec{F} . При какой величине этой силы второй кубик сдвинется с места? (4)

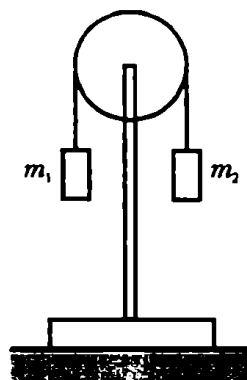


Рис. 13

1.87. На горизонтальной поверхности стоит штатив массой $M = 1 \text{ кг}$, на котором укреплен невесомый блок. На концах невесомой нерастяжимой нити, перекинутой через блок, подвешены грузы, массы которых $m_1 = 0,2 \text{ кг}$ и $m_2 = 0,8 \text{ кг}$ соответственно (рис.13). Пренебрегая трением, найдите силу, с которой основание штатива давит на поверхность. (4)

1.88. На наклонной плоскости находятся два соприкасающихся друг с другом цилиндра (рис.14). Нижний цилиндр начинают медленно спускать без вращения. При этом верхний цилиндр в случае малого наклона плоскости к горизонту вращается, а в случае большого наклона – скользит без вращения. Объясните явление. (11)

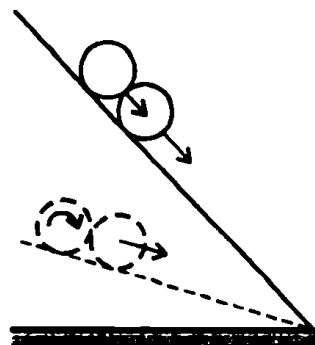


Рис. 14

1.89. На наклонной плоскости лежат два тела с одной и той же массой m , соединенные нитью. Коэффициенты трения тел о плоскость у верхнего μ_2 , у нижнего μ_1 , причем $\mu_2 > \mu_1$. Угол наклона плоскости медленно увеличивают. Найдите натяжение нити в момент, когда тела начнут скользить вниз. (11)

1.90. На гладкой наклонной плоскости, составляющей угол α с горизонтом, лежит доска массой M (рис.15). На доске находится брусок массой m . Доска и брусок связаны нерастяжимой

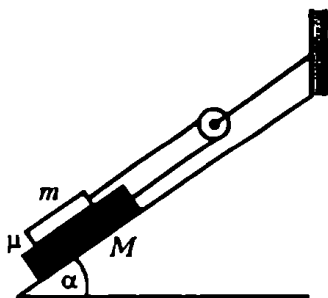


Рис. 15

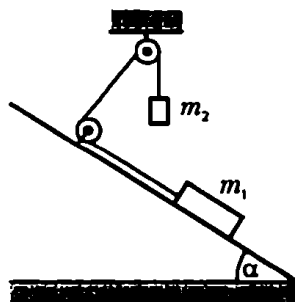


Рис. 16

невесомой нитью, перекинутой через блок, закрепленный на вершине наклонной плоскости. Коэффициент трения между бруском и доской μ . При каких отношениях M/t тела будут неподвижны? (11)

1.91. Тело массой $m_1 = 1$ кг лежит на наклонной плоскости с углом наклона к горизонту $\alpha = 45^\circ$ (рис.16). Груз какой массы m_2 следует подвесить через систему неподвижных блоков, чтобы первое тело находилось в покое? Коэффициент трения о плоскость $\mu = 0,2$. (6)

1.92. На гладкой горизонтальной поверхности лежит прямоугольный клин с углом $\alpha = 15^\circ$ при основании, упираясь торцом в неподвижную вертикальную стенку. По верхней грани клина

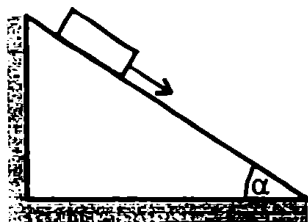


Рис. 17

соскальзывает без трения брусок массой $m = 0,2 \text{ кг}$ (рис. 17). Найдите силу нормального давления клина на стенку. (4)

1.93. Призма находится на горизонтальной поверхности шероховатого стола. На поверхность призмы, наклоненную под углом α к горизонту, положили брусок массой m и отпустили. Он стал соскальзывать, а призма осталась в покое. Коэффициент трения скольжения между бруском и призмой μ . Найдите силу трения между призмой и столом. (9)

1.94. На горизонтальной поверхности одна на другой лежат две одинаковые пластинки массой m каждая. Если к верхней пластинке приложить горизонтальную силу $F > F_0$, то она начнет двигаться относительно остающейся неподвижной нижней пластинки. Коэффициент трения скольжения нижней пластинки о горизонтальную поверхность μ . Найдите минимальную горизонтальную силу, которую надо приложить к нижней пластинке, чтобы в процессе движения верхняя пластинка с нее соскользнула. (4)

1.95. На горизонтальном столе лежат два бруска, связанные нитью (рис. 18). Нить расположена в вертикальной плоскости, проходящей через центры брусков, и образует с горизонтом угол α . К первому брусу массой m_1 приложена сила \vec{F} , линия действия которой горизонтальна и проходит через его центр. Определите зависимость силы натяжения нити от величины силы F при движении брусков, если коэффициент трения брусков о стол μ , масса второго бруска m_2 , а угол α неизменный. (4)



Рис. 18

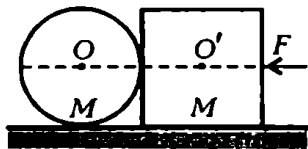


Рис. 19

1.96. На горизонтальной поверхности лежат касающиеся друг друга кубик и цилиндр массой M каждый (рис. 19). С какой минимальной горизонтальной силой F , направленной вдоль прямой OO' , проходящей через центры тел, надо толкать кубик, чтобы при движении системы цилиндр не вращался? Коэффициенты трения обоих тел о поверхность и между собой одинаковы и равны μ ($\mu < 1$). (11)

1.97. Две пружины с одинаковой жесткостью k закреплены в вершине O угла, образованного горизонтальным полом и вертикальной стенкой (рис.20). Противоположные концы пружин прикреплены к центрам двух малых тел, массой m каждое, соединенных невесомым стержнем. Вначале пружины не деформированы и имеют длину l каждая. С какой горизонтальной силой необходимо удерживать нижнее тело, чтобы расстояние от него до точки O было в два раза меньше, чем у верхнего? Стержень с массами может двигаться только в вертикальной плоскости. Трения нет. (11)

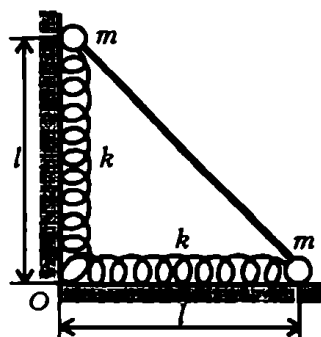


Рис. 20

1.98. Наклонная плоскость, образующая с горизонтом угол $\alpha = 30^\circ$, движется с ускорением \vec{a} , направленным влево, как показано на рисунке 21. При каких значениях a тело, находящееся на наклонной плоскости, будет скользить вверх вдоль нее? Коэффициент трения между телом и плоскостью $\mu = 0,3$. (4)

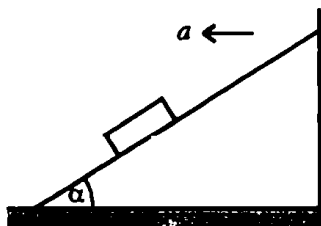


Рис. 21

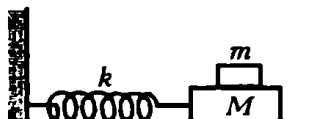


Рис. 22

1.99. На гладком столе помещен брусок массой $M = 1$ кг, на котором лежит коробок массой $m = 50$ г (рис.22). Брусок прикреплен к одному из концов невесомой пружины, другой конец которой заделан в неподвижную стенку. Брусок отводят от положения равновесия перпендикулярно стенке на расстояние Δl и отпускают без начальной скорости. При каком значении Δl коробок начнет скользить по бруску? Коэффициент трения коробка о брусок $\mu = 0,2$, жесткость пружины $k = 500$ Н/м. Трением бруска о стол пренебречь. (4)

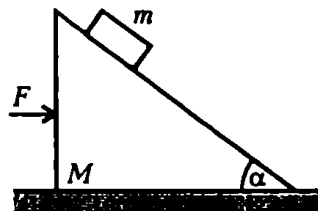


Рис. 23

1.100. На горизонтальной плоскости находится клин массой M с углом наклона α (рис.23). На гладкую по-

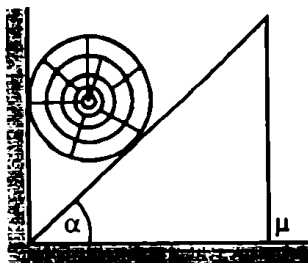


Рис. 24

верхность клина помещают брусок массой m . Вся система разгоняется приложенной к клину постоянной горизонтальной силой F . Коэффициент трения между клином и плоскостью μ , трения между клином и бруском нет. Какова должна быть сила F , чтобы брусок в процессе разгона был неподвижен относительно клина? (14)

1.101. На горизонтальном полу лежит клин, вершина которого касается вертикальной стенки (рис.24). Сверху на клин кладут массивное бревно, масса которого много больше массы клина. При каком угле α клин не сдвинется с места, если коэффициент трения клина о пол μ , а трение бревна о стенку и клин отсутствует? (11)

1.102. На гладком горизонтальном столе находится подвижный клин массой $M = 1$ кг с углом $\alpha = 30^\circ$ при основании. На клин кладут брусок массой $m = 2$ кг, после чего оба тела начинают движение из состояния покоя. Найдите угол, который будет составлять с горизонтом скорость бруска до тех пор, пока он не покинет поверхности клина. Трение не учитывать. (4)

1.103. С вершины гладкого клина массой M , высотой h и углом наклона α съезжает брусок массой m . Клин находится на горизонтальной плоскости; трения между бруском и клином нет. а) Каков должен быть минимальный коэффициент трения между клином и плоскостью для того, чтобы при спуске бруска клин оставался в покое? б) Какую скорость приобретет клин после спуска бруска, если трения между клином и плоскостью нет? Размерами бруска по сравнению с размерами клина можно пренебречь. (14)

1.104. Тонкая однородная палочка, подвешенная за один из

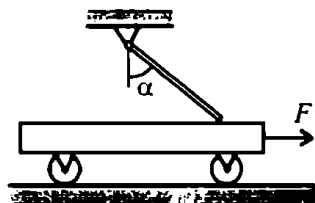


Рис. 25

концов на шарнире, опирается другим концом о горизонтальную поверхность тележки, образуя с вертикалью угол $\alpha = 45^\circ$ (рис.25). Какую силу F нужно приложить к тележке, чтобы она двигалась вправо по горизонтальному столу с постоянной скоростью? Масса палочки $m = 100$ г, коэффициент трения между нею и поверхностью тележки $\mu = 0,2$. Трением между тележкой и столом пренебречь. (4)

Масса палочки $m = 100$ г, коэффициент трения между нею и поверхностью тележки $\mu = 0,2$. Трением между тележкой и столом пренебречь. (4)

1.105. Оцените силу, которая действует на плечо со стороны приклада при выстреле из ружья. (11)

1.106. Мяч массой 150 г, летящий со скоростью 2 м/с, пойман на лету. Какова средняя сила удара мяча о руку, если он остановился за 0,01 с? (1)

1.107. Оцените среднюю силу, с которой водяные капли действуют на зонтик во время сильного дождя. (11)

1.108. К одному из концов длинной тонкой нити прикреплен грузик, а другой конец присоединен к жесткой опоре через небольшой отрезок упругой резинки. В свободном состоянии грузик висит на нити в поле тяжести на достаточно большой высоте от пола. Если грузик поднять вертикально вверх на полную длину нити и затем отпустить, то при падении он растягивает резинку (не касаясь пола), но нитка остается целой. Если же конец нити привязать непосредственно к опоре, убрав резинку, то при падении грузика с прежней высоты нить обрывается. Объясните причину различия в результатах. (11)

1.109. Определите время подъема камня массой $m = 1$ кг, брошенного под углом к горизонту, если начальный импульс, равный $p = 10$ кг·м/с, в $n = 2$ раза больше импульса тела в верхней точке траектории. (6)

1.110. Человек захотел спуститься по веревочной лестнице из свободно висящего аэростата массой 400 кг. Какой минимальной длины лестницу он должен привязать к гондole аэростата, чтобы, ступая на последнюю ступеньку, коснуться земли? Масса человека 80 кг, расстояние от земли до аэростата в начальный момент 15 м. (1)

1.111. Из пушки производится выстрел таким образом, что дальность полета снаряда в $\alpha = 2$ раза превышает максимальную высоту траектории. Считая известной величину начального импульса снаряда $p_0 = 1000$ кг·м/с, определите величину его импульса в верхней точке траектории. Сопротивлением воздуха можно пренебречь. (4)

1.112. Дети стреляют косточками от слив, сжимая их между пальцами. Оцените максимальное расстояние, на которое может улететь такая косточка. (11)

1.113. Тело массой $m = 10$ кг, двигаясь под действием постоянной силы, увеличивает свою скорость с $v_1 = 5$ м/с до $v_2 = 25$ м/с. Определите работу действующей на тело силы. (8)

1.114. Тонкий лом длиной 1,5 м и массой 16 кг лежит на горизонтальной поверхности. На сколько изменится потенциа-

ная энергия лома, если его поставить на землю в вертикальное положение? (1)

1.115. Моторы электровоза при его движении со скоростью 72 км/ч потребляют мощность 800 кВт . КПД силовой установки электровоза 80% . Определите силу тяги (в кН) моторов. (1)

1.116. Шарик подбросили вверх, сообщив ему кинетическую энергию 20 Дж . Через некоторое время он вернулся в точку бросания, имея кинетическую энергию 10 Дж . Определите, во сколько раз сила тяжести, действующая на шарик, больше средней силы сопротивления воздуха. (1)

1.117. При стрельбе из рогатки вертикально вверх для растягивания резины используется подвешивание одного и того же груза. Если толщину резины уменьшить вдвое, то высота взлета тела, запускаемого из рогатки, существенно увеличивается. Объясните явление. (11)

1.118. Пуля массой 10 г , выпущенная под углом α к горизонту, в верхней точке имеет кинетическую энергию 450 Дж . Определите угол α , если начальная скорость пули 600 м/с . (8)

1.119. Тело массой $m = 1 \text{ кг}$ бросили с некоторой высоты с начальной скоростью, равной $v_0 = 20 \text{ м/с}$ и направленной под углом $\alpha = 30^\circ$ к горизонту. Определите кинетическую энергию тела через $t = 2 \text{ с}$ после начала его движения. Сопротивлением воздуха можно пренебречь. (4)

1.120. Под каким углом к горизонту нужно бросить камень, чтобы в верхней точке траектории кинетическая энергия камня была в $n = 3$ раза больше его потенциальной энергии? Сопротивление воздуха не учитывать. (4)

1.121. Санки массой $m = 10 \text{ кг}$ скатились с горы высотой $h = 5 \text{ м}$ и остановились на горизонтальном участке. Какую минимальную работу совершит мальчик, возвращая санки по линии их скатывания? (12)

1.122. Тележка движется по горизонтальной дороге со скоростью $v = 36 \text{ км/ч}$ и въезжает на подъем. Преодолит ли тележка подъем, высота которого 4 м ? Сопротивлением движению можно пренебречь. (3)

1.123. Шайба, брошенная по горизонтальному льду со скоростью $v_1 = 2 \text{ м/с}$, скользит до остановки $s_1 = 5 \text{ м}$. Определите путь, пройденный до остановки шайбой, брошенной вверх вдоль ледяной наклонной плоскости с начальной скоростью $v_2 = 15 \text{ м/с}$. Угол наклона плоскости к горизонту $\alpha = 30^\circ$. (7)

1.124. На наклонную плоскость положили шайбу и сообщили ей скорость, направленную вдоль плоскости вверх. Коэффициент трения шайбы о плоскость μ . Найдите угол наклона плоско-

сти к горизонту, при котором шайба пройдет минимальное расстояние до остановки. (4)

1.125. На какой высоте потенциальная энергия тела, брошенного с поверхности земли под углом к горизонту, равна кинетической? Сопротивлением воздуха пренебречь. Начальная скорость тела 16 м/с . (3)

1.126. На нити длиной $2,5 \text{ м}$ подвешен шар. Какую горизонтальную скорость нужно сообщить шару, чтобы он поднялся до высоты, на которой расположена точка подвеса? (1)

1.127. Маленький шарик, подвешенный на нити, движется в поле тяжести по окружности так, что нить составляет с вертикалью постоянный угол $\alpha_1 = 30^\circ$. Другой такой же шарик, подвешенный на нити такой же длины, движется так, что его нить составляет с вертикалью постоянный угол $\alpha_2 = 45^\circ$. Определите, во сколько раз кинетическая энергия второго шарика превышает кинетическую энергию первого шарика. (4)

1.128. Система из двух шаров, массы которых $m_1 = 0,6 \text{ кг}$ и $m_2 = 0,3 \text{ кг}$, соединенных невесомой спицей длиной $l = 0,5 \text{ м}$, вращается вокруг оси, проходящей через центр тяжести и перпендикулярной спице, с угловой скоростью $\omega = 2 \text{ с}^{-1}$. Найдите энергию системы. (4)

1.129. Небольшое тело скользит без трения по внутренней поверхности желоба, выполненного в виде двух сопряженных в точке A окружностей с радиусами R и $R/2 < r < R$ (рис.26). Найдите скорость тела в наивысшей точке его траектории (после отрыва от желоба), если первоначально тело находилось в точке

B на высоте, равной R относительно точки A . Сопротивлением воздуха пренебречь. (2)

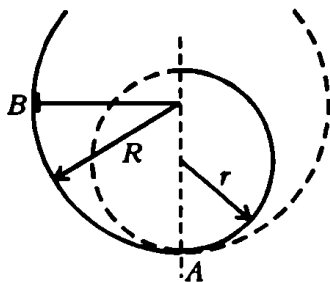


Рис. 26

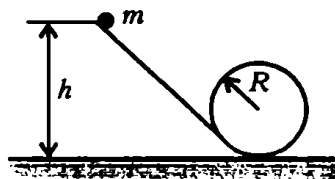


Рис. 27

1.130. В школьном опыте с «мертвой петлей» шарик массой m отпущен с высоты $h = 3R$, где R – радиус петли (рис.27). С какой силой шарик давит на опору в нижней и верхней точках петли? (8)

1.131. Груз, висящий на легкой пружине жесткостью $k = 400 \text{ Н/м}$, растягивает ее на некоторую величину ΔL . При-

кладывая к грузу вертикальную силу, медленно увеличивают удлинение пружины в $n = 3$ раза. При этом внешняя сила совершает работу $A = 0,32$ Дж. Найдите начальное удлинение пружины. (7)

1.132. Санки, движущиеся прямолинейно по горизонтальному льду (без трения) со скоростью $v_0 = 6$ м/с, выезжают на асфальт, где коэффициент трения скольжения $\mu = 0,6$. Какой путь пройдут санки по асфальту до полной остановки? Санки считайте материальной точкой. Какой путь пройдут санки по асфальту до полной остановки, если считать, что санки – однородное тело, а длина полозьев $L = 1,2$ м? (7)



Рис. 28

1.133. Брусек массой $m = 1$ кг покоится на горизонтальной шероховатой поверхности (рис.28). К нему прикреплена пружина жесткостью $k = 20$ Н/м. Какую работу нужно совершить для того, чтобы сдвинуть с места брусек, растягивая пружину в горизонтальном направлении, если коэффициент трения между бруском и поверхностью $\mu = 0,2$? (4)

1.134. Два груза массами $0,04$ кг и $0,01$ кг соединены невесомой нитью, переброшенной через неподвижный блок, и расположены над столом на высоте $0,5$ м над его поверхностью. В начальный момент грузы покоятся, затем их отпускают. Какое количество теплоты выделится при ударе первого груза о стол? Удар абсолютно неупругий. (3)

1.135. На невесомой нити, перекинутой через неподвижный цилиндр, подвешены два груза, массы которых $m_1 = 10$ кг и $m_2 = 1$ кг. Первоначально грузы удерживают на одной высоте. После освобождения грузов (без начальной скорости) первый, двигаясь равноускоренно, опускается на высоту $h = 2$ м за время $\tau = 1$ с. Какое количество теплоты выделяется за это время из-за трения нити о поверхность цилиндра? (4)

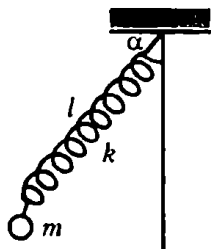


Рис. 29

1.136. Верхний конец невесомой пружины жесткостью k с начальной длиной l_0 закреплен, к нижнему концу прикреплен грузик массой m (рис.29). Пружину растянули до длины l , отклонили на угол α от вертикали, а затем грузик отпустили без начальной скорости. Какое количество теплоты выделится в этой системе после затухания всех колебаний? (4)

1.137. По доске, наклоненной к горизонту под углом $\alpha = \arcsin(1/3)$, можно передвигать вверх или вниз грузы, прикла-

дывая силу вдоль доски. Чтобы передвинуть ящик массой $m = 30$ кг вниз на расстояние $L = 3$ м, надо совершить минимальную работу $A = 100$ Дж. Какую минимальную работу потребуется совершить, чтобы вернуть по доске этот ящик назад? (9)

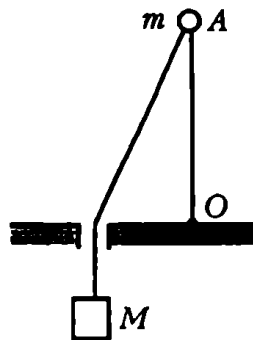


Рис. 30

1.138. Невесомый стержень OA длиной l с грузиком массой m на конце может вращаться без трения вокруг точки O , расположенной на поверхности стола (рис.30). Другой грузик – массой M – прикреплен к первому при помощи нерастяжимой нити, пропущенной через отверстие в столе на расстоянии $l/2$ от точки O . В начальный момент стержень вертикален, его скорость равна нулю. Далее стержень отпускают. Найдите скорость грузика массой m в момент, когда он коснется поверхности стола. (11)

1.139. Два груза массой m каждый связаны нитью (рис.31). Между грузами вставлена легкая упругая пружина, сжатая на величину x . Система движется со скоростью v вдоль прямой, перпендикулярной ее оси. В некоторый момент нить пережигают, и грузы разлетаются под углом 90° . Найдите упругость пружины. (9)

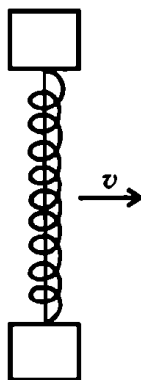


Рис. 31

1.140. Человек массой $M = 70$ кг, неподвижно стоявший на коньках, бросил вперед в горизонтальном направлении снежный ком массой $m = 3,5$ кг. Какую работу совершил человек при броске, если после броска он откатился назад на расстояние $s = 0,2$ м? Коэффициент трения коньков о лед $\mu = 0,01$. (4)

1.141. С верхней точки шара радиусом $R = 54$ см, закрепленного на горизонтальной поверхности стола, соскальзывает без начальной скорости и без трения небольшой шарик. На какую максимальную высоту от стола поднимется шарик после упругого удара о стол? (9)

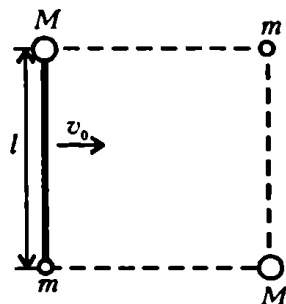


Рис. 32

1.142. Невесомый стержень длиной l с телами массами m и M , закрепленными на его концах, движется поступательно со скоростью v_0 , перпендикулярной его оси (рис.32). Найдите натяжение стержня

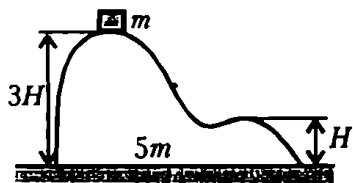


Рис. 33

горка с двумя вершинами, высоты которых $3H$ и H (рис.33). На левой вершине горки находится шайба массой m . От незначительного толчка вправо шайба приходит в движение. Найдите скорость шайбы на правой вершине, если: 1) горка закреплена на столе; 2) горка не закреплена. Считать, что при движении шайба не отрывается от поверхности горки, а поступательно движущаяся горка не отрывается от стола. (9)

1.144. На легкой нерастяжимой нити длиной L висит небольшой шарик массой m . По шарiku нанесли удар в горизонтальном направлении. Известно, что, пока шарик после удара двигался по дуге окружности, он поднялся на высоту h . Найдите среднюю силу, действовавшую на шарик во время удара, если длительность удара τ много меньше периода малых колебаний шарика. Трением пренебречь. (4)

1.145. На гладкой наклонной плоскости, составляющей угол $\alpha = 30^\circ$ с горизонтом, покоится брусок массой $m = 200$ г, удерживаемый пружиной жесткостью $k = 5$ Н/м, другой конец которой закреплён в верхней точке плоскости. Бруску сообщают начальную скорость $v_0 = 0,1$ м/с, направленную вдоль наклонной плоскости вверх. На какую максимальную высоту относительно исходного уровня поднимется брусок? Трение не учитывать. (4)

1.146. К одному концу нити, перекинутой через неподвижный блок, присоединен груз массой m , а к другому концу через пружину присоединен груз массой M . Груз массой M лежит на горизонтальном полу, а груз массой m поддерживают так, что пружина не растянута. В некоторый момент груз массой m отпускают. При каком минимальном значении m груз массой M оторвется от пола? (11)

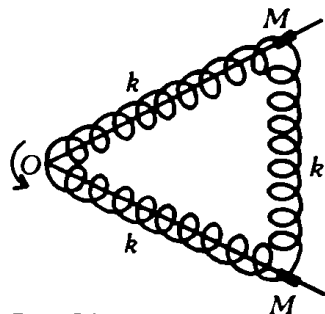


Рис. 34

1.147. На невесомый гладкий стержень, согнутый под углом $\alpha = 60^\circ$ в горизонтальной плоскости, надеты две небольшие одинаковые муфты M . Муфты соединены между собой и с

вершиной угла тремя легкими одинаковыми пружинами, как показано на рисунке 34. Длина недеформированной пружины L , жесткость k . Какую работу нужно совершить, чтобы раскрутить эту систему вокруг вертикальной оси, проходящей через точку O , до такой скорости, при которой длина пружин увеличится в n раз? (4)

1.148. В середине боковой стороны бруска массой M , лежащего на горизонтальной плоскости стола, прикреплена легкая пружина жесткостью k , другой конец которой прикреплен к вертикальной стенке так, что ось пружины горизонтальна (рис.35). К середине противоположной стороны бруска прикреплена легкая нерастяжимая нить, перекинутая через неподвижный блок. На нити висит другой блок, к оси которого подвешен кубик массой m . Верхний конец нити прикреплен к потолку. Первоначально кубик удерживали в положении, при котором пружина не деформирована, а нить слегка натянута. Отрезки нити, не лежащие на блоках, либо горизонтальны, либо вертикальны. Пренебрегая трением и массой блоков, найдите максимальную скорость бруска после отпущения кубика без начальной скорости. (4)

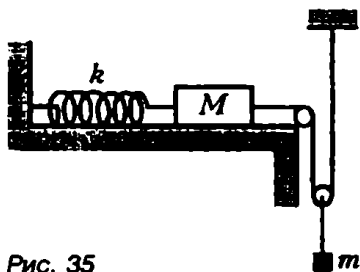


Рис. 35

1.149. Шарик массой $m = 100$ г ударяется о стену под углом $\alpha = 60^\circ$ к ее поверхности, имея скорость $v = 5$ м/с (рис.36). Через $t = 0,8$ с после удара шарик упал на землю. Чему равна средняя сила абсолютно упругого удара о стену, если продолжительность удара $\Delta t = 5 \cdot 10^{-3}$ с? На какой высоте от земли произошел удар? (6)

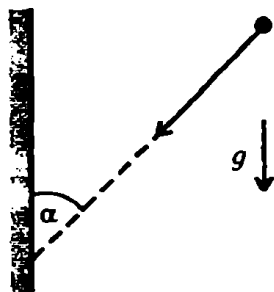


Рис. 36

1.150. Шар массой 3 кг, имевший скорость 4 м/с, испытывает абсолютно неупругий центральный удар с покоящимся шаром такой же массы. Сколько тепла выделилось при ударе? (1)

1.151. По горизонтальной поверхности стола скользит брусок массой m и сталкивается неупруго с неподвижным бруском массой $2m$, имея перед ударом скорость $v = 2$ м/с. Какое расстояние пройдут слипшиеся бруски до остановки? Коэффициент трения скольжения между брусками и столом $\mu = 1/18$. (9)

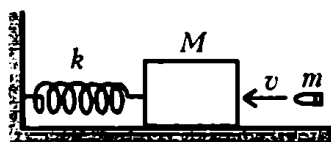


Рис. 37

1.152. Пуля попадает в ящик с песком и застревает в нем (рис.37). На сколько сожмется пружина жесткостью k , удерживающая ящик, если пуля имеет массу m и движется со скоростью v , а масса ящика с песком

равна M ? Трение отсутствует. (8)

1.153. Пуля летит горизонтально со скоростью v_0 , пробивает лежащую на горизонтальной поверхности стола коробку и вылетает в том же направлении с вдвое меньшей скоростью. Масса коробки в пять раз больше массы пули. Коэффициент трения скольжения между коробкой и столом μ . 1) Найдите скорость коробки сразу после вылета из нее пули. 2) На какое расстояние передвинется коробка? (9)

1.154. По абсолютно гладкой горизонтальной поверхности движется со скоростью 7 м/с ящик с песком массой 4 кг . В песок попадает гиря массой 3 кг , отпущенная с некоторой высоты без начальной скорости. Определите скорость ящика после попадания в него гири. (1)

1.155. На тележке массой m_1 стоит ящик с песком массой m_2 ; коэффициент трения между ними μ . В ящик попадает и застревает в нем летящая горизонтально со скоростью v_0 пуля массой m_3 . На какое расстояние сдвинется ящик относительно тележки? (11)

1.156. Брусок, двигавшийся по горизонтальной поверхности стола со скоростью v_0 , сталкивается с неподвижным бруском вдвое большей массы. На какое расстояние разъедутся бруски после столкновения? Удар упругий, центральный. Коэффициенты трения брусков о стол одинаковы и равны μ . (9)

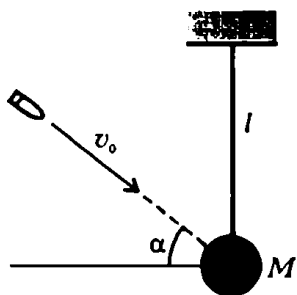


Рис. 38

1.157. В небольшой шар массой M , подвешенный к потолку на невесомом стержне длиной l , попадает пуля массой m , летевшая со скоростью v_0 под углом α к горизонту (рис.38), и застревает в нем. Определите, на какой максимальный угол отклонится стержень с шаром от вертикали. (5)

1.158. Легкий шарик начинает свободно падать и, пролетев расстояние l , сталкивается упруго с тяжелой плитой, движущейся вертикально вверх со скоростью u . Определите время между двумя последовательными ударами шарика о плиту. (12)

1.159. Два тела с одинаковыми массами движутся перпендикулярно друг другу со скоростями $v_1 = 6 \text{ м/с}$ и $v_2 = 8 \text{ м/с}$. Определите величину и направление скорости тел после абсолютно неупругого соударения. (6)

1.160. Два тела, массы которых $m_1 = 1 \text{ кг}$ и $m_2 = 2 \text{ кг}$, движутся во взаимно перпендикулярных направлениях со скоростями $v_1 = 10 \text{ м/с}$ и $v_2 = 15 \text{ м/с}$ соответственно. После соударения первое тело остановилось. Какое количество теплоты выделилось при ударе? (4)

1.161. Шарик падает на плоскость из точки A без начальной скорости и испытывает с плоскостью абсолютно упругое соударение. На каком расстоянии от места падения он ударится о плоскость второй раз? Угол наклона плоскости к горизонту 45° , а расстояние от точки A до плоскости 25 см . (1)

1.162. В заднюю стенку башни танка, идущего со скоростью 72 км/ч , ударяется пуля, летевшая горизонтально в том же направлении, что и танк, со скоростью 750 м/с . Определите скорость пули сразу после отскока, если удар абсолютно упругий. Задняя стенка башни танка скошена и составляет угол 30° с вертикалью. (3)

1.163. Тело бросили со скоростью $v_0 = 1 \text{ м/с}$ с высоты $h = 5 \text{ м}$, и оно попало в ящик с песком, который двигался по гладкой горизонтальной поверхности со скоростью $u = 5 \text{ м/с}$. Определите, под каким углом к горизонту упало тело, если после удара скорость ящика не изменилась. Сопротивление воздуха не учитывать. (6)

1.164. Два небольших тела, находящиеся на концах горизонтального диаметра гладкой полусферы радиусом $R = 20 \text{ см}$, соскальзывают без начальных скоростей навстречу друг другу (рис.39). При столкновении тела слипаются и далее движутся как одно целое. Найдите отношение масс тел, если максимальная высота над нижней точкой полусферы, на которую поднимаются слипшиеся тела после столкновения, равна $h = 5 \text{ см}$. Трение не учитывать. (4)

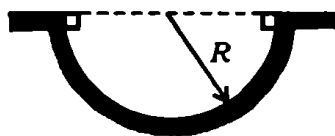


Рис. 39

1.165. Маленький стальной шарик массой $m_1 = 10 \text{ г}$ подвешен на нити длиной $L = 1 \text{ м}$. Его выводят из положения равновесия, отклоняя нить на угол 90° , и отпускают без начальной скорости. В нижней точке траектории этот шарик испытывает упругое центральное соударение с покоящимся на столе шариком массой $m_2 = 30 \text{ г}$. На какую высоту поднимется первый шарик после удара? (4)

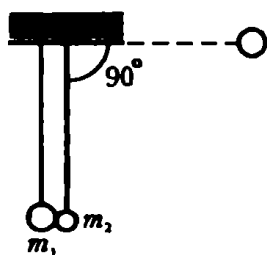


Рис. 40

1.166. Два шара – стальной массой $m_1 = 0,5$ кг и свинцовый массой $m_2 = 0,4$ кг – подвешены на нитях так, как показано на рисунке 40. Расстояние от точки подвеса до центра каждого шара $l = 25$ см. Свинцовый шар отклоняют от положения равновесия на угол 90° и отпускают. На какую высоту поднимется стальной шар после соударения, если свинцовый останется в положении равновесия? (3)

1.167. Гранату бросают от поверхности земли под углом $\alpha = 30^\circ$ к горизонту с начальной скоростью $v_0 = 10$ м/с. В верхней точке траектории граната разрывается на два одинаковых осколка, скорости которых сразу после взрыва направлены горизонтально. На каком расстоянии друг от друга упадут осколки, если кинетическая энергия, сообщенная им при взрыве, равна $E = 18$ Дж, а масса гранаты $m = 1$ кг? Сопротивлением воздуха пренебречь. (4)

1.168. По гладкой горизонтальной поверхности стола скользят вдоль одной прямой навстречу друг другу массивный брусок со скоростью $u = 1$ м/с и небольшой шарик со скоростью $v = 2$ м/с. В некоторый момент времени шарик оказался в точке А на расстоянии $s = 1,5$ м от бруска. Через какое время, считая от этого момента, шарик снова окажется в точке А? Столкновение шарика с бруском упругое. Скорость шарика перпендикулярна грани бруска, о которую он ударяется. Масса шарика намного меньше массы бруска. (9)

1.169. Кусок пластилина массой $m = 32$ г попадает в брусок массой $6m$, двигавшийся по гладкой горизонтальной поверхности стола, и прилипает к нему (рис.41). Перед ударом скорость куска пластилина равна $v = 7$ м/с и направлена под углом $\alpha = 60^\circ$ к горизонту, а скорость бруска равна $v/4$ и лежит в одной вертикальной плоскости со скоростью пластилина. 1) Определите скорость бруска с пластилином после удара. 2) На сколько увеличилась суммарная внутренняя энергия бруска, пластилина и окружающих тел? (9)

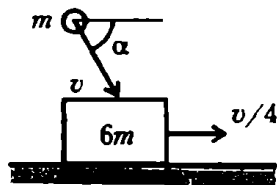


Рис. 41

1.170. Два одинаковых шарика упруго сталкиваются друг с другом. После удара первый шарик, двигавшийся со скоростью $v_1 = 5$ м/с, начинает двигаться под углом $\alpha = 60^\circ$ к первоначаль-

ному направлению, а второй останавливается. Определите скорость первого шарика после удара. (6)

1.171. Движущийся поступательно по гладкой горизонтальной плоскости кубик массой M абсолютно неупруго ударяется гранью о грань другого кубика тех же размеров, но массой m , лежавшего на той же плоскости. Кубик массой m прикреплен к вертикальной стене легкой пружиной жесткостью k так, что ось пружины совпадает с прямой, проходящей через центры масс кубиков. Найдите первоначальную скорость кубика массой M , если максимальное сжатие пружины равно ΔL . (4)

1.172. Тело массой $m_1 = 2$ кг летит горизонтально со скоростью $v = 8$ м/с и налетает на другое тело массой $m_2 = 0,9$ кг, находящееся на горизонтальной поверхности и прикрепленное к горизонтально расположенной пружине, упирающейся в стенку (рис.42). Коэффициент трения тела массой m_2 о поверхность $\mu = 0,3$. При ударе пружина деформировалась на $\Delta l = 0,2$ м. Считая удар абсолютно

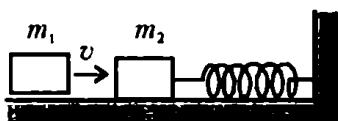


Рис. 42

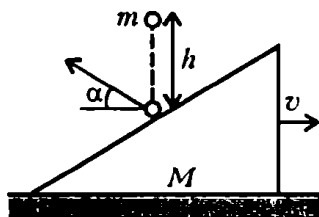


Рис. 43

неупругим, определите жесткость пружины. Массой пружины пренебречь. (6)

1.173. На покоящийся на гладком горизонтальном столе клин массой $M = 1$ кг с высоты $h = 50$ см падает шарик массой $m = 10$ г и отскакивает под углом $\alpha = 30^\circ$ к горизонту (рис.43). Найдите скорость клина (v) после удара. Соударение между шариком и клином считать абсолютно упругим, трение между клином и столом не учитывать. (4)

Жидкости и газы

1.174. Оцените, во сколько раз масса океана превосходит массу воздушной оболочки Земли. (11)

1.175. В сообщающихся сосудах находится ртуть. Площадь сечения одного сосуда в 4 раза больше, чем другого. В широкий сосуд наливают столб воды высотой 102 см. На сколько сантиметров поднимется ртуть в узком сосуда? Плотность ртути 13600 кг/м³, воды 1000 кг/м³. (1)

1.176. Аквариум, имеющий форму прямоугольного параллелепипеда, доверху заполнен водой. С какой силой действу-

ет вода на стенку аквариума, если ее длина 1,2 м, а высота 0,5 м? Атмосферное давление не учитывайте. Плотность воды 1000 кг/м^3 . (1)

1.177. Бассейн площадью $S = 100 \text{ м}^2$, заполненный водой до уровня $h = 1 \text{ м}$, разделен пополам перегородкой. Перегородку медленно передвигают так, что теперь она делит бассейн в отношении 1:3. Какую для этого надо совершить работу, если вода через перегородку не проникает? (12)

1.178. Бревно, имеющее длину $l = 3,5 \text{ м}$ и диаметр $d = 0,3 \text{ м}$, плавает в воде. Какова масса человека, который может стоять на бревне, не замочив ног? Плотность дерева $\rho = 0,7 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$. (8)

1.179. Какой массы груз нужно положить на плоскую льдину, чтобы она полностью погрузилась в воду? Площадь льдины 2 м^2 , толщина льдины 15 см. Плотность льда $0,9 \text{ г/см}^3$. (8)

1.180. Цилиндр плавает в вертикальном положении в сосуде с водой. В сосуд подливают более легкую жидкость слоем толщиной 20 см так, что она не доходит до верха цилиндра. При этом высота части цилиндра, находящейся в воде, уменьшается на 16 см. Чему равна плотность легкой жидкости? Плотность воды 1000 кг/м^3 . (1)

1.181. Однородный шарик массой 50 г лежит на дне пустого стакана. В стакан наливают жидкость так, что объем погруженной части шарика оказывается в 5 раз меньше его общего объема. Плотность жидкости в 1,5 раза больше плотности материала шарика. Найдите (в мН) силу давления шарика на дно стакана. (1)

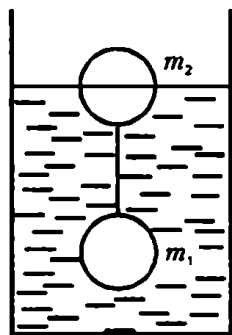


Рис. 44

1.182. Определите силу натяжения нити, связывающей два шарика объемом $V = 10 \text{ см}^3$ каждый, если верхний шарик плавает, наполовину погрузившись в воду (рис.44). Нижний шарик в три раза тяжелее верхнего. Плотность воды $\rho_v = 10^3 \text{ кг/м}^3$. (6)

1.183. Тонкостенный цилиндрический стакан массой $m = 30 \text{ г}$, высотой $L = 10 \text{ см}$ и площадью дна $S = 60 \text{ см}^2$ плавает в сосуде с керосином. В стакан наливают воду. Найдите максимальную высоту слоя воды в стакане (от его дна), при которой стакан еще не тонет. Плотность керосина $\rho_k = 800 \text{ кг/м}^3$. (4)

1.184. Два шара лежат в сосуде так, как показано на рисунке

45. Радиус нижнего шара в два раза больше, чем верхнего. Если в сосуд налить воду плотностью ρ_0 до середины верхнего шара, то нижний перестанет давить на дно. Найдите плотность материала, из которого изготовлены шары. Трением о боковые стенки пренебречь. (11)

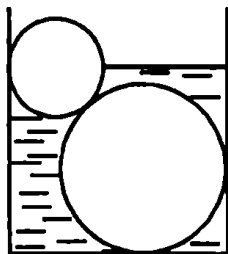


Рис. 45

1.185. В лунку размером $10 \times 10 \times 10$ см, целиком заполненную водой, опускают цилиндрическое тело (ось цилиндра вертикальна). В результате часть воды из лунки выливается, а тело начинает плавать в ней (рис.46). После этого из лунки отлили еще $m = 250$ г воды, так что цилиндр стал плавать, касаясь дна лунки. Какая масса воды осталась в лунке и чему равна плотность материала цилиндра? Диаметр цилиндра d немного меньше 10 см, высота цилиндра равна его диаметру. (9)

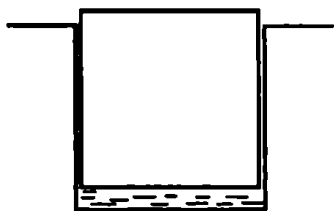


Рис. 46

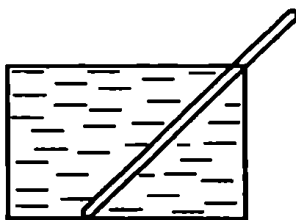


Рис. 47

1.186. Однородный пластмассовый стержень длиной $L = 0,3$ м с площадью поперечного сечения $S = 4$ мм², который на две трети погружен в наполненный до краев водой сосуд, опираясь о дно и край сосуда, находится в равновесии (рис.47). Найдите силу, с которой стержень давит на дно сосуда. Плотность пластмассы $\rho = 1500$ кг/м³, воды $\rho_0 = 1000$ кг/м³. Трением стержня о дно сосуда пренебречь. (4)

1.187. На рычажных весах в открытых сосудах при температуре 0°C уравновешены литр воды и соответствующий кусок льда. Лед растаял. Оцените, сколько воды и куда нужно добавить, чтобы восстановить равновесие. (11)

1.188. В цилиндрическом сосуде с несмешивающейся с водой жидкостью, плотность которой $\rho = 1,2$ г/см³, при температуре $t = 0^\circ\text{C}$ плавает льдина массой $m = 1$ кг. На какую величину изменится уровень этой жидкости в сосуде, когда льдина растает? Площадь основания сосуда $S = 10^{-1}$ м². (4)

1.189. В цилиндрический сосуд с водой (стенки сосуда

вертикальны) опустили кусок льда, в который был заморожен осколок стекла. В результате уровень воды в сосуде поднялся на $h_1 = 11$ мм, а лед стал плавать, целиком погрузившись в воду. На сколько опустится уровень воды в сосуде за время таяния всего льда? Плотности стекла $\rho_c = 2$ г/см³, воды $\rho_w = 1$ г/см³, льда $\rho_l = 0,9$ г/см³. (9)

1.190. Тело, состоящее из куска льда и вмёрзшего в него алюминиевого бруска, плавает в воде так, что под водой находится $\alpha = 0,95$ объема тела. Какой процент льда должен растаять, чтобы тело полностью погрузилось в воду? Плотность воды $\rho_w = 10^3$ кг/м³, льда $\rho_l = 0,9 \cdot 10^3$ кг/м³, алюминия $\rho_a = 2,7 \cdot 10^3$ кг/м³. (4)

1.191. Мощность, развиваемая двигателями ракеты, неподвижно зависшей над землей, равна N . Найдите скорость истечения газов из сопла двигателя, если масса ракеты m . (4)

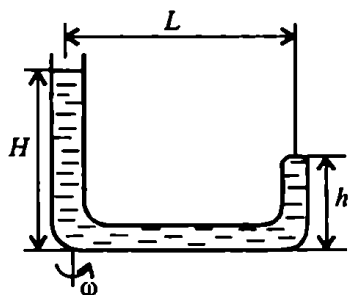


Рис. 48

1.192. Тонкая трубка, запаянная с одного конца, заполнена водой и закреплена на горизонтальной платформе, вращающейся с угловой скоростью ω вокруг вертикальной оси. Открытое и запаянное колена трубки вертикальны. Геометрические размеры установки даны на рисунке 48. Атмосферное давление p_0 , плот-

ность воды ρ . 1) Найдите давление воды в месте изгиба трубки, расположенном на оси вращения. 2) Найдите давление воды у запаянного конца трубки. (9)

ГЛАВА 2. МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА. ТЕПЛОВЫЕ ЯВЛЕНИЯ

ОСНОВЫ МОЛЕКУЛЯРНО-КИНЕТИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ

2.1. Какова средняя квадратичная скорость движения молекул гелия, если, имея массу 4 кг, он занимает объем 5 м^3 при давлении 200 кПа? (8)

2.2. Найдите число атомов ртути, содержащихся в объеме $V = 1 \text{ см}^3$ при температуре $t = 27^\circ\text{C}$, если давление паров ртути $p = 0,75 \text{ Па}$. Постоянная Больцмана $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К}$. (4)

2.3. В сосуде под поршнем находится идеальный газ. В результате нагревания объем газа увеличился в 4 раза. Во сколько раз изменилась средняя квадратичная скорость молекул газа? (2)

2.4. Оцените, во сколько раз среднее расстояние между молекулами пара над кипящей водой больше расстояния между молекулами воды. (11)

2.5. При нагревании газа при постоянном объеме на 1 К давление увеличилось на 0,4%. При какой начальной температуре (в кельвинах) находился газ? (1)

2.6. Газ находится в цилиндре с подвижным поршнем и при температуре 300 К занимает объем 300 см^3 . Какой объем (в см^3) займет газ, если температура понизится до 270 К? Давление постоянно. (1)

2.7. Газ охладили при постоянном объеме от 127°C до 27°C . На сколько процентов надо после этого уменьшить объем газа в изотермическом процессе, чтобы давление стало равным первоначальному? (1)

2.8. В цилиндре, закрытом поршнем, находится газ объемом V_0 . Сдвинув поршень, объем газа уменьшили на величину ΔV . При этом давление оказалось в n раз больше, чем в случае, когда начальный объем увеличили на ΔV . Температура поддерживается постоянной. Найдите ΔV . (11)

2.9. Постройте график процесса 1–2 для идеального газа постоянной массы, изображенного на рисунке 49, в координатах p, V . (5)

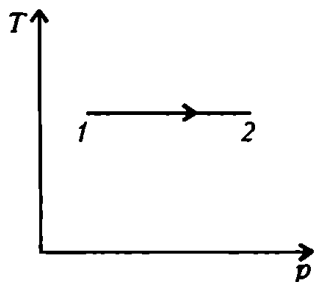


Рис. 49

2.10. Бутылку заполнили водой наполовину. Плотнo закрыв горлышко пальцем, ее перевернули, опустили в тарелку с водой так, чтобы горлышко бутылки оказалось под уровнем воды в тарелке, и палец убрали. Объясните, почему вода удерживается в бутылке. (11)

2.11. Объем пузырька воздуха по мере всплывания его на поверхность со дна озера увеличился в $k = 3$ раза. Определите глубину озера. Температуру воды считайте постоянной. Атмосферное давление $p_0 = 10^5$ Па. (4)

2.12. В цилиндрическом сосуде с газом находится в равновесии тяжелый поршень. Массы газа и его температуры над поршнем и под поршнем одинаковы. Если внутренний объем нижней части сосуда обозначить через V_0 , то внутренний объем верхней части сосуда равен $3V_0$. Каким будет отношение внутренних объемов верхней и нижней частей сосуда, если температуру газа увеличить в два раза? (6)

2.13. В вертикальном цилиндре под тяжелым поршнем находится газ. Если цилиндр перевернуть вверх дном, то концентрация молекул газа уменьшится в $k = 2$ раза. Определите массу поршня, считая газ идеальным. Площадь сечения цилиндра $S = 30$ см², атмосферное давление $p_0 = 10^5$ Па, температура постоянна. Трение не учитывайте. (4)

2.14. Два моля гелия при постоянном давлении $p_0 = 10^6$ Па охлаждаются на $\Delta T = 1$ К так, что относительное уменьшение объема газа $\Delta V/V_0$ составило $\alpha = 0,25\%$. На сколько литров уменьшился объем газа? Найдите также начальную температуру газа. (9)

2.15. Атмосфера Венеры состоит в основном из углекислого газа CO_2 , масса которого, по некоторым оценкам, составляет $m = 6 \cdot 10^{16}$ т. Чему равна плотность углекислого газа вблизи поверхности Венеры, если его температура $T = 800$ К? Радиус Венеры $R_v = 6300$ км, а ускорение свободного падения $g_v = 8,2$ м/с². Толщина атмосферы Венеры много меньше радиуса планеты. (9)

2.16. В вертикально расположенном цилиндрическом сосуде под поршнем находится идеальный газ. Сосуд помещают в лифт. Когда лифт неподвижен, расстояние между поршнем и дном сосуда $h = 12$ см. При движении лифта с постоянным ускорением

расстояние между поршнем и дном цилиндра составляет $x = 10$ см. Найдите ускорение лифта. Температуру считать постоянной, атмосферное давление не учитывать. (4)

2.17. Оцените, на какое время хватит аквалангисту баллона со сжатым воздухом на глубине сорок метров. Начальное давление воздуха в баллоне сто атмосфер. (11)

2.18. При изобарном нагревании некоторой массы идеального газа его плотность уменьшилась вдвое. На сколько процентов увеличилась температура газа по шкале Кельвина? (7)

2.19. В сосуде объемом $4 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$ находится $0,012 \text{ кг}$ газа при температуре 177°C . При какой температуре плотность этого газа будет равна $6 \cdot 10^{-6} \text{ кг/см}^3$, если давление остается неизменным? (8)

2.20. Идеальный газ переводится из состояния с параметрами $p_1 = 200 \text{ кПа}$ и $T_1 = 500 \text{ К}$ в состояние с параметрами $p_2 = 138 \text{ кПа}$ и $T_2 = 300 \text{ К}$ так, что объем газа меняется по закону $V = a + bT$, где a и b – постоянные, $T_1 \geq T \geq T_2$. Определите максимальную концентрация молекул газа в этом процессе. Постоянная Больцмана $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К}$. (4)

2.21. Цилиндрический колокол для подводных работ высотой $h = 2 \text{ м}$ опускается вверх дном с борта катера на дно водоема глубиной $H = 3 \text{ м}$. Найдите толщину воздушной подушки, образовавшейся у «потолка» колокола к моменту его касания дна водоема. Температуру считайте постоянной. (9)

2.22. Открытую пробирку с воздухом при давлении p_1 нагрели до температуры T_1 , затем герметично закрыли и охладили до температуры $T_2 = 10^\circ\text{C}$. Давление при этом упало до $p_2 = 0,7p_1$. До какой температуры T_1 была нагрета пробирка? Тепловым расширением пробирки можно пренебречь. (4)

2.23. В вертикально расположенном цилиндре под тяжелым поршнем находится моль идеального газа при температуре $T = 300 \text{ К}$. Какова потенциальная энергия поршня? Атмосферным давлением пренебречь. Потенциальную энергию поршня на уровне дна сосуда принять равной нулю. (4)

2.24. При каждом ходе поршневой насос захватывает 20 дм^3 воздуха из атмосферы при нормальных условиях ($T_0 = 273 \text{ К}$, $p_0 = 1 \text{ атм}$) и нагнетает его в резервуар объемом 2 м^3 . Температура в резервуаре постоянна и равна 300 К . Сколько ходов должен сделать поршень насоса, чтобы повысить давление в резервуаре от нормального ($p_0 = 1 \text{ атм}$) до 8 атм ? (1)

2.25. В сосуде находится водяной пар и вода при температуре 100°C . В процессе изотермического расширения вода начинает испаряться. К моменту, когда она вся испарилась, объем пара

увеличился в $\beta = 10$ раз. Найдите отношение объемов пара и воды в начале опыта. (9)

2.26. Идеальный газ в исходном состоянии имел температуру T_0 . Затем давление газа уменьшили в $n = 2$ раза, увеличив его объем во столько же раз, так, что объем изменялся в зависимости от давления по линейному закону. Найдите максимальную температуру газа при этом процессе. (4)

2.27. Сосуд с идеальным газом при температуре $t_1 = 27^\circ\text{C}$ снабжен клапаном, открывающимся при перепаде давлений $\Delta p = 4 \cdot 10^5$ Па. Газ нагревают до $t_2 = 127^\circ\text{C}$, при этом часть газа выходит из сосуда через клапан. Какое давление установится в сосуде после охлаждения газа до начальной температуры t_1 ? Атмосферное давление $p_0 = 10^5$ Па. (7)

2.28. После выпуска части газа из баллона давление в нем уменьшилось в α раз, а температура понизилась в β раз. Найдите оставшуюся в баллоне долю массы газа. Газ считайте идеальным. (11)

2.29. В баллоне объемом $V = 0,2 \text{ м}^3$ находится гелий под давлением $p = 100$ кПа при температуре $t = 17^\circ\text{C}$. После подкачки гелия давление повысилось на $\Delta p = 200$ кПа, а температура – на $\Delta t = 30^\circ\text{C}$. Молярная масса гелия $M = 4 \text{ кг/кмоль}$. 1) На сколько изменилась масса гелия в баллоне? 2) Станет ли другим давление в баллоне, если вместо гелия в баллон поместить такое же количество молекул водорода? (13)

2.30. Сколько ходов должен сделать компрессор, чтобы увеличить давление в сосуде объемом V от атмосферного $p_0 = 1 \text{ атм}$ до $p = 3 \text{ атм}$, если объем рабочего резервуара компрессора в $n = 10$ раз меньше объема сосуда? Забор воздуха производится из атмосферы. Изменением температуры можно пренебречь. (2)

2.31. Открытая с обеих сторон цилиндрическая трубка длиной 1 м наполовину погружена в ртуть. Затем верхнее отверстие трубки плотно закрывают и вынимают трубку из ртути. В трубке остается столбик ртути длиной 25 см . Определите по этим данным атмосферное давление (в кПа). Плотность ртути 1360 кг/м^3 . Температура постоянна. (1)

2.32. Трубка погружена открытым концом в сосуд с ртутью, плотность которой ρ . Высота столбика воздуха в трубке h_1 , а высота столбика ртути относительно ее уровня в сосуде H_1 . Затем трубку погружают в ртуть еще больше, так что через достаточно большое время эти высоты оказываются равными h_2 и H_2 соответственно. Найдите атмосферное давление. (11)

2.33. В горизонтально расположенной трубке столбик ртути длиной $l = 12 \text{ см}$ запирает слой воздуха толщиной $L = 35 \text{ см}$

(рис.50). Если трубку открытым концом повернуть один раз вниз, а другой вверх, то столбик ртути смещается. При этом разность величин этих смещений от начального горизонтального положения равна $a = 2$ см. Найдите величину наружного давления (в мм ртутного столба). (9)

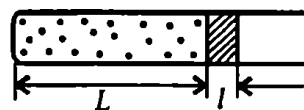


Рис.50

2.34. Запаянную с одного конца трубку длиной $l = 1$ м погружают в вертикальном положении открытым концом в сосуд с ртутью. 1) На каком расстоянии от поверхности должен находиться запаянный конец трубки, чтобы уровень ртути в ней был ниже уровня ртути в сосуде на $h = 25$ см? Атмосферное давление $p = 0,1$ МПа. 2) Может ли «застрять» ртуть в трубке, если трубку вынуть из ртути после того, как атмосферное давление а) увеличится; б) уменьшится? (13)

2.35. В открытой пробирке, вращающейся в горизонтальной плоскости с частотой $\omega = 10$ с⁻¹ вокруг вертикальной оси, проходящей через открытый край пробирки, находится столбик ртути длиной $h = 1$ см. Передний край столбика отстоит от края пробирки на $a = 20$ см. До какой температуры надо нагреть пробирку, чтобы при вдвое выросшей частоте вращения столбик не сместился? Плотность ртути $\rho = 13,6 \cdot 10^3$ кг/м³, $p_{\text{внешн}} = 10^5$ Па, $t_{\text{нач}} = 0$ °С. (6)

2.36. В прямоугольной банке с дном в виде квадрата со стороной a находится газ при температуре T_0 и давлении p_0 . Крышка, шарнирно соединенная с боковой стороной банки, герметично прижимается к ней под действием собственной силы тяжести mg . До какой температуры надо нагреть газ в банке, чтобы он начал выходить, приоткрыв крышку? Атмосферное давление также равно p_0 . (11)

2.37. Легкую сферу массой $m = 80$ г взвешивают в воздухе. При температуре воздуха $t = 47$ °С вес сферы оказался равным $P = 0,1$ Н. При какой температуре воздуха сфера перестанет давить на чашку весов? Изменением объема сферы можно пренебречь, давление воздуха считайте неизменным. (4)

2.38. Детский воздушный шарик, надутый гелием, удерживается привязанной к нему нитью. Радиус шарика $r = 15$ см, масса его оболочки $m_1 = 7,5$ г, масса гелия в нем $m_2 = 2,5$ г, атмосферное давление $p_0 = 10^5$ Па, температура воздуха $T = 300$ К. Найдите силу натяжения нити. Молярная масса воздуха $M = 0,029$ кг/моль. (4)

2.39. Какой массой должно обладать сферическое тело радиусом $r = 1$ м, чтобы оно могло плавать в атмосфере Венеры?

Атмосфера Венеры состоит из углекислого газа CO_2 , давление у поверхности планеты $p_0 = 9 \text{ МПа}$, температура $t = 527^\circ\text{C}$. (4)

2.40. Объем тонкостенного цилиндрического сосуда высотой $H = 40 \text{ см}$ равен $V = 400 \text{ см}^3$, его вес $P = 3,5 \text{ Н}$. При температуре $t = 47^\circ\text{C}$ и атмосферном давлении $p_0 = 100 \text{ кПа}$ сосуд переворачивают вверх дном и погружают в жидкость плотностью $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$. При какой температуре сосуд утонет? Атмосферное давление считайте неизменным. (4)

2.41. Надувной шарик, заполненный гелием, удерживают на нити. Найдите натяжение нити, если масса оболочки шарика $m = 2 \text{ г}$, объем $V = 3 \text{ л}$, давление гелия $p = 1,04 \cdot 10^5 \text{ Па}$, температура $t = 27^\circ\text{C}$. Молярная масса гелия $M = 4 \text{ г/моль}$, плотность воздуха $\rho = 1,3 \text{ кг/м}^3$. (4)

2.42. В сосуд, на дне которого лежит твердый шар, нагнетают воздух при температуре $t = 27^\circ\text{C}$. Когда давление в сосуде стало $p = 20 \cdot 10^5 \text{ Па}$, шар поднялся вверх. Определите массу шара, если его радиус $r = 5 \text{ см}$. Молярная масса воздуха $M = 29 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$. (10)

2.43. Вертикальный цилиндрический сосуд разделен пополам непроводящим тепло подвижным массивным поршнем. В верхнем отсеке 1 находится газ массой m_1 с молярной массой M_1 при температуре T_1 . В нижнем отсеке 2 находится другой газ массой m_2 с молярной массой M_2 при температуре T_2 . После переворачивания сосуда для восстановления прежних объемов пришлось изменить температуру в отсеке 2. При этом температура в отсеке 1 не изменилась. Найдите новую температуру в отсеке 2 и давление газа в нем. Масса поршня m , площадь сечения S . (11)

2.44. В закрытом горизонтальном цилиндре объемом V находится воздух под давлением p_0 . Цилиндр разделен на две

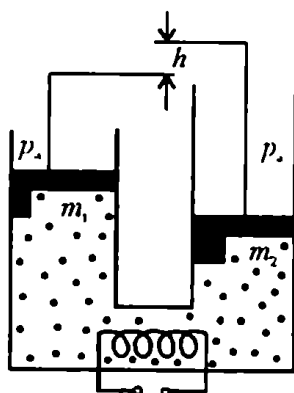


Рис. 51

одинаковые части тонким поршнем массой m . Длина цилиндра $2l$. Цилиндр приводят во вращение вокруг вертикальной оси, проходящей через его середину. Найдите угловую скорость вращения, если поршень оказался на расстоянии r от оси вращения. Трения нет. Температура постоянна. (5)

2.45. Сосуд с газом объемом V_0 перекрыт двумя поршнями, массы которых m_1 и m_2 ($m_1 < m_2$), а площади одинаковы и равны S (рис.51). Поршни снабжены легкими горизонтальными платформами, которые могут зацепляться друг

за друга. В исходном состоянии поршни удерживаются от опускания упорами, расстояние между платформами h . Газ в объеме медленно нагревают, и при температуре T_1 поршень массой m_1 начинает подниматься. При какой температуре начнет подниматься поршень массой m_2 ? Атмосферное давление p_a . (11)

2.46. В вертикальном закрытом цилиндре находится идеальный газ, разделенный на две части тяжелым поршнем, который может перемещаться без трения. В нижней части цилиндра масса газа вдвое больше, чем в верхней. При температуре T , одинаковой во всем цилиндре, объем нижней части цилиндра равен объему верхней части. Каким будет отношение объемов, если температуру газа увеличить в $n = 2$ раза? (4)

2.47. В вертикально расположенном цилиндрическом сосуде находится газ массой m с молярной массой M . Газ отделен от атмосферы поршнем, соединенным с дном сосуда пружиной жесткостью k . При температуре T поршень расположен на расстоянии h от дна сосуда. До какой температуры надо нагреть газ, чтобы поршень поднялся до высоты $2h$? Поршень считать невесомым. Атмосферное давление равно p_0 . (10)

2.48. В цилиндре под невесомым поршнем площадью $S = 10 \text{ см}^2$ находится азот. Масса азота $m = 14 \text{ г}$, его температура $T_1 = 300 \text{ К}$. К поршню с помощью двух блоков на невесомой нерастяжимой нити подвешен груз массой $m_0 = 5 \text{ кг}$ (рис.52). Газ в цилиндре нагревают до $T_2 = 310 \text{ К}$. На какую высоту опустится груз? Атмосферное давление $p_0 = 10^5 \text{ Па}$, молярная масса азота $M = 0,028 \text{ кг/моль}$. (6)

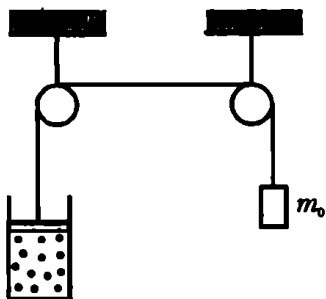


Рис.52

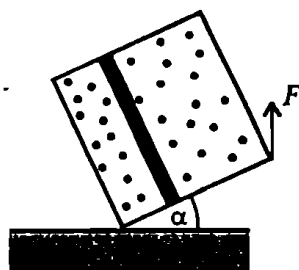


Рис.53

2.49. На горизонтальной плоскости находится невесомый кубический сосуд, разделенный тонким подвижным поршнем массой m (рис.53). В каждой части сосуда заключено по одному молю идеального газа при постоянной температуре T . С какой

вертикальной силой F надо удерживать нижнее ребро сосуда, чтобы он сохранял положение, в котором его дно составляет с плоскостью угол α ? Сторона куба равна a . Трением, а также массой газа в сосуде пренебречь. (11)

2.50. Два вертикальных цилиндра с сечениями S_1 и $S_2 > S_1$ сообщаются между собой снизу через узкий короткий канал. Цилиндры наполнены газом и плотно закрыты сверху поршнями одной и той же массы M . Поршни могут перемещаться без трения. Они находятся в равновесии на высоте h_0 , и при этом на поршень с большим сечением помещен дополнительный груз массой m . На какой высоте установится этот поршень, если груз убрать? Температура газа постоянна. (11)

2.51. На диаграмме зависимости давления p от объема V для некоторой массы идеального газа (рис.54) две изотермы пересекаются двумя изобарами в точках 1, 2, 3 и 4. Найдите отношение температур в точках 3 и 1, если отношение объемов в этих точках равно α . Объемы газа в точках 2 и 4 равны. (9)

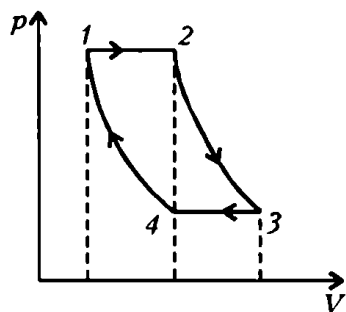


Рис. 54

2.52. Вертикально расположенный замкнутый цилиндрический сосуд разделен на две части подвижным поршнем. В обеих частях сосуда находится один и тот же идеальный газ. Расстояние между поршнем и

дном сосуда $H_1 = 30$ см. Сосуд переворачивают так, что дном становится его верхняя плоскость, при этом расстояние между дном сосуда и поршнем составляет $H_2 = 20$ см. Найдите отношение массы газа, содержавшегося в той части сосуда, которая первоначально находилась сверху, к массе газа в другой части сосуда. Высота сосуда $L = 60$ см. Температуру считать постоянной, толщиной поршня пренебречь. (4)

2.53. Баллон, содержащий кислород под давлением $p_1 = 700$ кПа, соединили с другим баллоном, содержащим такую же массу азота под давлением $p_2 = 400$ кПа. Температуры одинаковы. Определите давление смеси газов. Молярная масса кислорода $M_1 = 32 \cdot 10^{-3}$ кг/моль, азота $M_2 = 28 \cdot 10^{-3}$ кг/моль. (3)

2.54. До какого давления p_1 нужно наполнить воздухом баллон объемом $V_1 = 10$ л, чтобы при соединении его с баллоном объемом $V_2 = 30$ л, содержащим воздух при $p_2 = 1 \cdot 10^5$ Па, установилось давление $p = 2 \cdot 10^5$ Па? (10)

2.55. Газовая смесь содержит $m_1 = 32$ г кислорода (молярная масса $M_1 = 32 \cdot 10^{-3}$ кг/моль) и $m_2 = 22$ г углекислого газа ($M_2 = 44 \cdot 10^{-3}$ кг/моль). Найдите плотность смеси при нормальных условиях: $p_0 = 10^5$ Па, $t_0 = 0$ °С. (4)

2.56. В цилиндрическом сосуде 1 под поршнем массой $m = 5$ кг находится одноатомный идеальный газ (рис.55). Сосуд 1 соединен трубкой, снабженной краном, с таким же сосудом 2, в котором под поршнем массой $M = 10$ кг находится такой же газ. Сосуды и трубка теплоизолированы. В начальном состоянии кран K закрыт, температуры газа в обоих сосудах одинаковы, поршень в сосуде 2 расположен на высоте $H = 10$ см от дна. На какое расстояние передвинется поршень в сосуде 1 после открывания крана? Объемом трубки с краном можно пренебречь, атмосферное давление не учитывайте. (4)

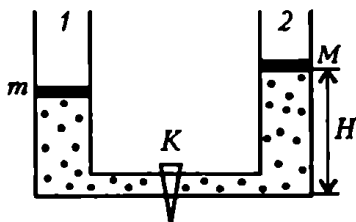


Рис. 55

2.57. Откачанный до высокого вакуума сосуд объемом $V_1 = 9$ л подсоединен через трубку с краном к сосуду объемом $V_2 = 1$ л, содержащему идеальный газ при температуре $t = 27$ °С и некотором давлении p . Определите это давление, если известно, что масса газа, перетекшего в первый сосуд после открывания крана, составляет $m = 10$ г. Молярная масса газа $M = 10$ г/моль. (4)

2.58. Горизонтально расположенный закрытый цилиндрический сосуд с гладкими стенками разделен подвижным теплопроводящим поршнем на две части, в которых находятся различные идеальные газы с одной и той же температурой $T_0 = 300$ К. Объем, занимаемый одним из газов, в $\alpha = 3$ раза больше объема, занимаемого другим газом. Газ в большем объеме нагревают, и его объем увеличивается на $\beta = 1/20$ объема всего сосуда. На сколько увеличилась температура этого газа, если температура в другой части сосуда поддерживается постоянной и равной T_0 ? (9)

2.59. Два сосуда емкостью $V_1 = 2$ л и $V_2 = 4$ л, соединенные тонкой эластичной трубкой, перекрытой краном K , наполнены азотом

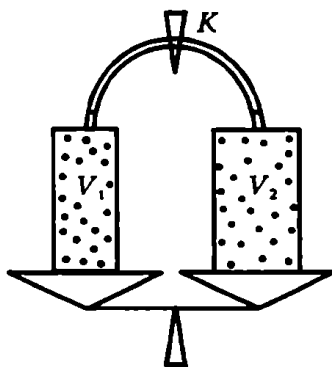


Рис. 56

(N_2) и уравновешены на равноплечных весах (рис.56). Давление газа в первом сосуде $p_1 = 3 \cdot 10^5$ Па, во втором $p_2 = 6 \cdot 10^5$ Па. Гирю какой массы нужно положить на одну из чаш весов, чтобы восстановить равновесие после того, как кран будет открыт? Температура газа $T = 300$ К. (4)

2.60. Два сосуда одинаковых объемов содержат воздух. В первом сосуде температура воздуха 250 К, давление 250 кПа; во втором – соответственно, 300 К и 600 кПа. Сосуды соединяют и после установления равновесия нагревают до 500 К. Каким будет давление в сосудах после нагревания? (3)

2.61. В объеме V_0 при температуре T_0 и давлении p находился воздух, содержащий некоторое количество озона O_3 . После долгого выдерживания в тени озон полностью превратился в молекулярный кислород O_2 , и при том же давлении температура воздуха стала T , а объем V . Найдите начальное число молей озона. (11)

2.62. В сосуде находится смесь азота N_2 и водорода H_2 . При температуре T , когда азот полностью диссоциирован на атомы, давление равно p (диссоциацией водорода пренебрегаем). При температуре $3T$, когда оба газа полностью диссоциированы, давление в сосуде равно $4p$. Каково отношение масс водорода и азота в смеси? (12)

2.63. Некоторое количество молекулярного водорода находится при температуре $T_1 = 200$ К и давлении $p_1 = 400$ Па. Газ нагревают до температуры $T_2 = 10000$ К, при которой молекулы водорода практически полностью распадаются на атомы. Вычислите новое значение давления газа, если его объем и масса остались неизменными. (7)

2.64. В переносном газовом баллоне объемом $V = 5$ л может поместиться не больше $m = 2,2$ кг жидкого пропана (C_3H_8) под давлением $p = 10$ атм и при температуре $t = 27$ °С. Сколько пропана в газообразном состоянии останется в баллоне, если из полного баллона израсходовать 80% пропана? (9)

2.65. Определите относительную влажность воздуха, взятого при температуре $T = 363$ К и давлении $p = 10^5$ Па, если отношение массы пара к полной массе воздуха в некотором объеме равно $\alpha = 0,25$. Отношение молярных масс воды и воздуха составляет $\beta = 0,6$, давление насыщенных паров воды при температуре 363 К равно $p_{\text{н}} = 70$ кПа. (2)

2.66. В помещении объемом $V = 100$ м³ относительная влажность воздуха $\phi_1 = 40\%$. Через некоторое время в помещении испарилось дополнительно $m = 0,46$ кг воды. Определите относительную влажность, которая установится после испаре-

ния. Плотность насыщенного водяного пара при температуре помещения $\rho_n = 0,023 \text{ кг/м}^3$. (4)

2.67. В цилиндре под поршнем находится $m = 10 \text{ г}$ водяного пара при температуре $t = 100^\circ\text{C}$ и давлении $p = 40 \text{ кПа}$. Какая масса пара сконденсируется, если объем пара изотермически уменьшить в 5 раз? (3)

2.68. В закрытом сосуде емкостью $V = 1 \text{ м}^3$ находится $m_1 = 0,9 \text{ кг}$ воды и $m_2 = 1,6 \text{ кг}$ кислорода. Каким будет давление в сосуде при температуре $t = 500^\circ\text{C}$, если известно, что при этой температуре вся вода превращается в пар? (8)

2.69. Давление воздуха в запертой комнате при температуре $t = 27^\circ\text{C}$ равно $p = 10^5 \text{ Па}$. Влажность воздуха при этом составляет $\varphi = 60\%$. Каким будет давление сухого воздуха и давление пара при понижении температуры на $\Delta t = 5^\circ\text{C}$? Давление насыщенного пара при $t = 27^\circ\text{C}$ равно $p_n = 3,56 \text{ кПа}$. (6)

2.70. В цилиндре под поршнем находится воздух с относительной влажностью $\varphi_1 = 80\%$ при температуре $t_1 = 27^\circ\text{C}$. Объем воздуха $V_1 = 1,5 \text{ л}$. Какой станет влажность, если объем воздуха уменьшить до $V_2 = 0,37 \text{ л}$, а температуру повысить до $t_2 = 100^\circ\text{C}$? Давление насыщенного водяного пара при t_1 равно $p_1 = 20 \text{ мм рт.ст.}$. Нормальное атмосферное давление $p_a = 760 \text{ мм рт.ст.}$ (4)

2.71. Сосуд, содержащий воздух при температуре T_1 , закрывают и начинают медленно охлаждать. При температуре T_2 на стенках сосуда появляется роса. Найдите относительную влажность атмосферного воздуха, если давления насыщенных паров при температурах T_1 и T_2 равны p_{n1} и p_{n2} соответственно. (4)

2.72. В закрытом помещении объемом $V = 83 \text{ м}^3$ стоит сосуд с водой. Какая масса воды испарится из сосуда после установления равновесия, если температуру в помещении повысить от $t_1 = 7^\circ\text{C}$ до $t_2 = 17^\circ\text{C}$? Давление насыщенного водяного пара при t_1 равно $p_1 = 1120 \text{ Па}$, а при t_2 оно равно $p_2 = 2200 \text{ Па}$. Молярная масса воды $M = 0,018 \text{ кг/моль}$. (4)

2.73. В закрытом цилиндре при температуре T_1 находится вода вместе со своим насыщенным паром. Масса воды равна m , а занимаемый ею объем много меньше объема цилиндра V . Найдите температуру, при которой вся вода в цилиндре испарится, если при T_1 давление насыщенных паров воды равно p_1 и можно считать, что в пределах интересующего интервала температур давление насыщенных паров изменяется по линейному закону $p(T) = p_1 + \alpha(T - T_1)$. (4)

2.74. Горизонтально расположенный цилиндр разделен подвижным поршнем массой $m = 5$ кг на две равные части объемом $V = 1$ л каждая. С одной стороны от поршня находится насыщенный водяной пар при температуре $t = 100$ °С, с другой – воздух при той же температуре. Цилиндр поставили вертикально так, что снизу оказался пар. На какое расстояние опустится поршень, если температуру в обеих частях цилиндра поддерживать неизменной? Площадь основания цилиндра $S = 0,01$ м², давление насыщенного пара при температуре t равно $p_{\text{н}} = 10^5$ Па. (4)

2.75. Легкая подвижная перегородка делит герметичный теплопроводящий сосуд на две неравные части, в которых находится воздух при атмосферном давлении и комнатной температуре. В меньшую часть сосуда впрыснули легко испаряющуюся жидкость, давление насыщенного пара которой при комнатной температуре равно $p_{\text{н}} = 3,5$ атм. Спустя некоторое время перегородка перестала двигаться, а жидкость почти вся испарилась. Объем части сосуда, в которой находятся воздух и пары, увеличился при этом вдвое по сравнению с первоначальным. Какую часть объема сосуда составляла вначале его меньшая часть? Объемом, занимаемым жидкостью в начале и в конце опыта, можно пренебречь. (9)

2.76. Два баллона соединены тонкой трубкой с закрытым краном. Объемы баллонов одинаковы и равны $V = 1$ л. В первом баллоне находится сухой воздух под давлением $p = 750$ мм рт.ст., а в другой баллон после откачки помещена капелька воды массой $m = 0,1$ г. Какое давление установится в баллонах после открытия крана, если температура баллонов постоянна и равна $t = 22$ °С, а давление насыщенных паров воды при этой температуре составляет $p_{\text{н}} = 20$ мм рт.ст.? (4)

2.77. Закрытый с двух торцов цилиндр, ось которого горизонтальна, разделен на две части тонким гладким подвижным поршнем. В первой части находится $m = 1$ г азота, а во второй – $M = 2$ г воды. Температура в цилиндре $t = 100$ °С, объем цилиндра $V = 2$ л. Какую часть объема занимает азот? (4)

2.78. В сосуде под массивным подвижным поршнем находится жидкость, которая занимает объем V_1 . Когда жидкость полностью испарилась, объем пара под поршнем достиг значения V_2 . Какая доля вещества (по массе) находилась в сосуде в виде жидкости, когда объем под поршнем равнялся V ? Температура в процессе не изменялась. (11)

2.79. Мыльный пузырь надувается воздухом, температура которого выше комнатной. При диаметре пузыря $d = 0,3$ мм он

начинает всплывать (в комнате). На сколько процентов температура воздуха в пузыре выше комнатной? Коэффициент поверхностного натяжения мыльного раствора $\sigma = 0,038 \text{ Н/м}$. Силой тяжести пленки пренебречь. (9)

ТЕПЛОВЫЕ ЯВЛЕНИЯ

2.80. Оцените минимальную работу, которую нужно затратить, чтобы накачать велосипедную шину. (11)

2.81. На сколько изменится внутренняя энергия восьми молей одноатомного идеального газа при изобарном нагревании от 350 К до 380 К ? (3)

2.82. Дети стреляют горошинами, выдувая их ртом через трубочку. Оцените максимальное расстояние, на которое могут улететь эти горошины. (11)

2.83. Чему равна высота водопада, если температура воды у его основания на $0,05^\circ\text{С}$ больше, чем у вершины? Считайте, что вся механическая энергия идет на нагревание воды. Удельная теплоемкость воды $4200 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)}$. (1)

2.84. Тело, движущееся со скоростью $v_0 = 26 \text{ м/с}$, абсолютно неупруго соударяется с покоящимся телом такой же массы. Постройте график зависимости изменения температуры тел от скорости тела до удара. На сколько изменится температура тел, если на нагревание пошло $\eta = 80\%$ тепла, выделившегося при ударе? Удельная теплоемкость вещества $c = 130 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)}$. (6)

2.85. Горячее тело, температура которого 70°С , приведено в соприкосновение с холодным телом с температурой 20°С . В тепловом равновесии установилась температура 30°С . Во сколько раз теплоемкость холодного тела больше теплоемкости горячего? (1)

2.86. На электрической плитке мощностью 600 Вт находится чайник с двумя литрами воды. Как долго была включена плитка, если вода и чайник нагрелись от 20°С до 100°С и 50 г воды испарилось? КПД плитки 80% , теплоемкость чайника 500 Дж/К , удельная теплоемкость воды $4,2 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)}$, удельная теплота парообразования воды $2,3 \cdot 10^6 \text{ Дж/кг}$. (8)

2.87. Подошва стального утюга массой 700 г в процессе работы нагрелась от 20°С до 200°С . Сколько времени ушло на нагревание утюга, если его мощность 750 Вт и КПД 80% ? (8)

2.88. Пластилиновый шар бросают на вертикальную стену, находящуюся на расстоянии $L = 5 \text{ м}$ от точки бросания, с начальной скоростью $v_0 = 10 \text{ м/с}$ под углом $\alpha = 45^\circ$ к горизонту.

Шар прилипает к стене. Считая, что вся кинетическая энергия шара пошла на его нагревание, найдите изменение его температуры. Удельная теплоемкость пластилина $c = 2,5 \cdot 10^3$ Дж/(кг · К). (4)

2.89. В сосуде находится кусок льда при температуре $t_1 = 0$ °С. После того как в сосуд ввели $m_2 = 30$ г пара при температуре $t_2 = 100$ °С, в сосуде установилась температура $t_3 = 15$ °С. Определите массу льда. Теплоемкостью сосуда пренебречь. Удельная теплоемкость воды $c = 4,2 \cdot 10^3$ Дж/(кг · К), удельная теплота плавления льда $\lambda = 3,3 \cdot 10^5$ Дж/кг, удельная теплота парообразования воды $r = 2,3 \cdot 10^6$ Дж/кг. (7)

2.90. В латунный калориметр массой 100 г, содержащий 250 г воды при 10 °С, впускают пар при 100 °С. Какое количество пара следует впустить, чтобы температура воды в калориметре поднялась до 50 °С? Удельная теплоемкость воды 4,2 кДж/(кг · К), латуни 0,4 кДж/(кг · К), удельная теплота парообразования воды $22,6 \cdot 10^2$ кДж/кг. (8)

2.91. При изготовлении льда в холодильнике потребовалось время $\tau_1 = 300$ с, чтобы охладить воду от $t_1 = 4$ °С до $t_2 = 0$ °С, и еще $\tau_2 = 6 \cdot 10^3$ с, чтобы превратить ее в лед. Вычислите по этим данным удельную теплоту плавления льда. Удельная теплоемкость воды $c = 4190$ Дж/(кг · К). (7)

2.92. Ко льду массой $m = 1$ кг при температуре $T_0 = 270$ К подвели количество теплоты $Q = 10^5$ Дж. Определите температуру образовавшейся воды. Удельная теплоемкость воды $c_s = 4,2$ кДж/(кг · К), $\gamma, c_i = 2,1$ кДж/(кг · К), удельная теплота плавления льда $\lambda = 340$ кДж/кг. (5)

2.93. В двух сосудах объемами $V_1 = 1$ л и $V_2 = 2$ л содержится один и тот же газ с одной и той же концентрацией молекул. В первом сосуде температура $T_1 = 300$ К, во втором – $T_2 = 350$ К. Определите, какая установится температура, если сосуды привести в тепловой контакт. Теплообмена с окружающей средой нет. (6)

2.94. Сосуд с водой, масса которой $m_1 = 100$ г и температура $t_1 = 0$ °С, был подвешен посередине комнаты. Через $\tau_1 = 15$ мин температура воды поднялась до $t_2 = 2$ °С. В другой раз в тот же сосуд вместо воды поместили лед массой $m_2 = 100$ г при температуре $t_1 = 0$ °С. В тех же условиях лед растаял за $\tau_2 = 10$ ч. Оцените по этим данным удельную теплоту плавления льда. Удельная теплоемкость воды $c = 4200$ Дж/(кг · К). (7)

2.95. Некоторое количество воды нагревается электронагревателем мощностью $P = 500$ Вт. При включении нагревателя на время $\tau_1 = 2$ мин температура воды повысилась на $\Delta T = 1$ К, а

при его отключении – понизилась за время $\tau_2 = 1$ мин на ту же величину ΔT . Какова масса нагреваемой воды, если потери тепла за счет рассеяния в окружающую среду пропорциональны времени? Удельная теплоемкость воды $c = 4,19 \cdot 10^3$ Дж/(кг · К). (4)

2.96. При работе тепловой машины расходуется 180 кг угля за 1 ч. Охлаждение машины осуществляется водой, расход которой составляет 15 л/с, температура на входе 10 °С, на выходе 20 °С. Какая часть тепла (в процентах) расходуется на нагревание воды? Удельная теплоемкость воды 4200 Дж/(кг · К), плотность воды 1000 кг/м³, удельная теплота сгорания угля 30 МДж/кг. (1)

2.97. В вертикальном теплоизолированном сосуде под поршнем массой M находится жидкость со своим насыщенным паром. Какую мощность необходимо подводить к нагревателю в жидкости, чтобы поршень поднимался с постоянной скоростью v ? Температура внутри сосуда T , молярная масса вещества M , удельная теплота парообразования λ . Внешнее давление отсутствует. (11)

2.98. Вы надежно закрыли отверстие велосипедного насоса и изо всех сил быстро сжали в нем воздух. Оцените максимальную температуру воздуха в насосе, которую можно получить в этом случае. (11)

2.99. Идеальный одноатомный газ находится в баллоне емкостью $V = 10$ л под давлением $p = 10^5$ Па. На сколько изменится внутренняя энергия газа при уменьшении его массы вдвое? (6)

2.100. При постоянном давлении 0,3 МПа газ получил 800 Дж тепла. При этом объем газа увеличился от 5 л до 7 л, а внутренняя энергия газа стала 950 Дж. Чему была равна внутренняя энергия газа до нагревания? (1)

2.101. Какая часть количества теплоты, сообщенного одноатомному газу в изобарном процессе, идет на увеличение внутренней энергии и какая часть – на совершение работы? (12)

2.102. Один моль идеального одноатомного газа совершает одинаковые работы в изобарном и изотермическом процессах. Определите отношение количеств теплоты, сообщаемых газу в этих процессах. (7)

2.103. В теплоизолированном цилиндре под теплонепроницаемым поршнем находится одноатомный идеальный газ с начальным давлением $p = 10^5$ Па, объемом $V = 3$ дм³ и температурой $T = 300$ К. При сжатии газа над ним совершили работу $A = 90$ Дж. Найдите температуру газа после сжатия. (7)

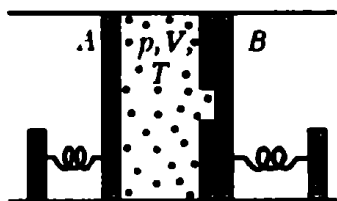


Рис. 57

2.104. Какое количество теплоты получил 1 моль идеального одноатомного газа при изобарическом нагревании от некоторой начальной температуры и последующем адиабатическом расширении, если при адиабатическом расширении газ совершает работу A , а в конечном состоянии его

температура равна начальной? (4)

2.105. Какое количество теплоты выделится при изобарном охлаждении $m = 0,1$ кг гелия от температуры $t_1 = 200$ °С до $t_2 = 27$ °С? Молярная масса гелия $M = 0,004$ кг/моль, универсальная газовая постоянная $R = 8,31$ Дж/(моль · К). (10)

2.106. Гладкий теплоизолированный цилиндр сечением S с неподвижной перегородкой закрыт с двух сторон подвижными поршнями A и B (рис.57). В отсутствие газа они поджимаются к перегородке пружинами одинаковой жесткости, но закрепленными на разных расстояниях от перегородки. Под поршень A вводят газ (его объем V , давление p , температура T), а затем открывают узкий канал в перегородке, после чего весь газ медленно выдавливается в другой отсек. Какой объем займет газ, если известно, что в отсутствие газа поршень A оказывает на перегородку давление $p/2$, а поршень B лишь касается ее? Газ можно считать теплоизолированным. Внутренняя энергия газа U связана с его температурой T соотношением $U = cT$, где c — заданная постоянная. Атмосферное давление не учитывайте. (11)

2.107. Давление азота, находящегося в сосуде объемом $V = 3 \cdot 10^{-3}$ м³, после нагревания возросло на $\Delta p = 2,2$ МПа. Определите количество теплоты, сообщенное газу. Удельная теплоемкость азота при постоянном давлении равна $c_p = 745$ Дж/(кг · К), его молярная масса $M = 0,028$ кг/моль. (8)

2.108. В трубе сечением S могут свободно, без трения двигаться два поршня, массы которых M и m . Начальное расстояние между поршнями L , атмосферное давление p_a . Газ, находящийся между поршнями, полностью откачали, после чего поршни отпустили. Какое количество теплоты выделится при их абсолютно неупругом соударении? (11)

2.109. Один моль идеального газа расширяется по закону $p = a/T$. Конечный объем газа в 4 раза больше начального. Молярная теплоемкость газа в этом процессе равна $C = C_v + 3R$, где C_v — молярная теплоемкость газа при постоянном объеме. Какую работу совершает газ в этом процессе, если его начальный объем $V_1 = 0,5$ л и $a = 33,2$ Дж · К/м³? (2)

2.110. Для нагревания некоторого количества идеального газа с молярной массой $M = 16 \cdot 10^{-3}$ кг/моль при постоянном давлении на $\Delta T = 10$ К потребовалось количество теплоты $Q_1 = 7$ Дж. Чтобы охладить этот газ до исходной температуры при постоянном объеме, от него надо отнять $Q_2 = 5$ Дж. Найдите массу газа. (4)

2.111. Одноатомный идеальный газ в количестве $\nu = 5$ моль сначала охлаждают при постоянном объеме от температуры $T_1 = 600$ К до температуры $T_2 = 400$ К, а затем продолжают охлаждать при постоянном давлении до температуры $T_3 = 300$ К. Какое количество теплоты отводят при этом от газа? (7)

2.112. Объем 120 г кислорода при изобарном нагревании увеличился в два раза. Определите работу при расширении, сообщенное количество теплоты и изменение внутренней энергии кислорода, если его начальная температура 20°C . Удельная теплоемкость кислорода при постоянном объеме 650 Дж/(кг · К). (8)

2.113. Одноатомный идеальный газ массой $m = 80$ г с молярной массой $M = 40$ г/моль нагревают в цилиндре под поршнем так, что температура газа изменяется пропорционально квадрату давления от начального значения $T_1 = 300$ К до конечного $T_2 = 400$ К. Определите работу, совершаемую газом в этом процессе, и подведенное к нему количество теплоты. (12)

2.114. Один моль идеального одноатомного газа находится при нормальных условиях. Какое количество теплоты надо сообщить газу, чтобы провести процесс, показанный на рисунке 58 (здесь $n = 1,2$)? (6)

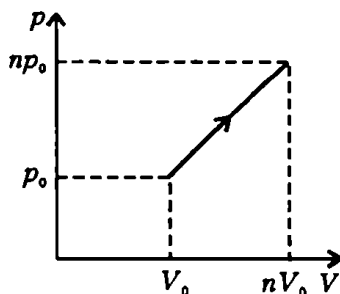


Рис. 58

2.115. В цилиндре под поршнем находится насыщенный водяной пар при давлении $p = 1,7$ кПа. Какая масса воды сконденсируется при изотермическом перемещении поршня, если при этом совершается работа $A = 1$ Дж? Плотность насыщенного пара $\rho = 1,28 \cdot 10^{-2}$ кг/м³. (4)

2.116. В закрытом теплоизолированном сосуде при температуре $t_1 = 527^\circ\text{C}$ находился озон (O_3), который через некоторое время превратился в кислород (O_2). Во сколько раз в результате этого изменилось давление в сосуде, если на образование одного моля озона из кислорода нужно затратить $q = 142$ кДж

тепла, а изохорическая молярная теплоемкость кислорода составляет $C_{V, \text{кислорода}} = 21 \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К})$? (4)

2.117. Гелий в количестве $\nu = 2$ моль расширяется в процессе с постоянной теплоемкостью C . В результате к газу подвели количество теплоты 3000 Дж, а внутренняя энергия газа уменьшилась на 2490 Дж. 1) Чему равна работа, совершенная газом? 2) Определите теплоемкость C . (9)

2.118. В вертикально расположенном цилиндрическом сосуде, площадь сечения которого $S = 23 \text{ см}^2$, под поршнем массой $M = 1 \text{ кг}$ находится одноатомный газ. Расстояние между дном сосуда и поршнем $h = 30 \text{ см}$. На внутренней стенке сосуда имеется стопорное кольцо, не позволяющее поршню превысить высоту $H = 50 \text{ см}$. Какое количество теплоты нужно сообщить газу, чтобы его давление увеличилось в $\alpha = 1,5$ раза? Атмосферное давление $p_0 = 100 \text{ кПа}$. (4)

2.119. В вертикально расположенном цилиндрическом сосуде с площадью сечения $S = 20 \text{ см}^2$ под поршнем массой $M = 4 \text{ кг}$ содержится идеальный одноатомный газ. Расстояние между поршнем и дном сосуда $h = 1 \text{ м}$. Газу сообщили количество теплоты $Q = 126 \text{ Дж}$. Во сколько раз изменится средняя квадратичная скорость молекул газа? Атмосферное давление $p_0 = 100 \text{ кПа}$. (4)

2.120. В вертикально расположенном цилиндрическом сосуде под поршнем весом $P = 20 \text{ Н}$ содержится идеальный одноатомный газ (рис.59). Между поршнем и неподвижной опорой располагается пружина, жесткость которой $k = 200 \text{ Н/м}$. Расстояние между поршнем и дном сосуда $H = 30 \text{ см}$, при этом пружина не деформирована. Какое количество теплоты нужно сообщить газу, чтобы поршень переместился на расстояние $\Delta h = 10 \text{ см}$? Атмосферное давление не учитывать. (4)

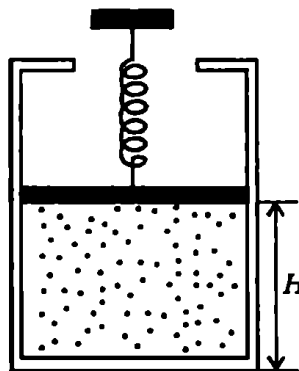


Рис. 59

2.121. Вода и водяной пар находятся в цилиндре под поршнем при температуре 110°C . Вода занимает при этом $0,1\%$ объема цилиндра. При медленном изотермическом увеличении объема вода начинает испаряться. К моменту, когда она вся испарилась, пар совершил работу $A = 177 \text{ Дж}$, а объем, который он занимал, увеличился на $\Delta V = 1,25 \text{ л}$. Найдите давление, при котором производился опыт. Сколько воды и пара было в цилиндре в начальном состоянии? (9)

2.122. В цилиндрической трубке с теплонепроницаемыми стенками имеются две жестко укрепленные перегородки 1 и 2 и свободно движущийся теплонепроницаемый поршень 3 (рис.60). В начальный момент времени объемы V_1 между перегородками 1 и 2 и V_2 между перегородкой 2 и поршнем 3 заполнены одноатомным газом с давлением $p_0 = 1$ атм и температурой T_0 . При этом поршень 3 неподвижен, так как вся система находится в атмосфере с тем же давлением p_0 . Через перегородку 1 в объем V_1 медленно передается количество теплоты Q_1 . В результате система переходит в новое равновесное состояние. Какая температура установится в пространстве между перегородкой 1 и поршнем 3? Какое количество теплоты пройдет через перегородку 2? Газ считайте идеальным. Трением поршня о стенки цилиндра пренебрегите. Рассмотрите варианты: а) $V_1 = V_2 = V_0$; б) V_1 и V_2 — произвольные. (14)

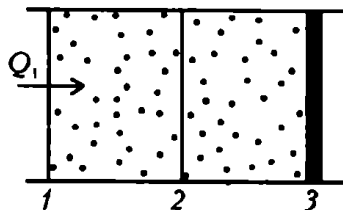


Рис. 60

2.123. В вакуумной теплоизолированной камере находятся два пузыря одинаковых размеров, один из которых наполнен гелием, а другой водородом, оба до давления p_0 . Найдите отношение давления, установившегося в камере после того, как пузыри лопнули, к начальному давлению газа в пузырях. Отношение температуры гелия к температуре водорода составляет $T_1/T_2 = 0,6$. Молярная теплоемкость гелия при постоянном объеме равна $C_{V_1} = 3/2 R$, водорода — $C_{V_2} = 5/2 R$. Объем пузыря в 160 раз меньше объема камеры. Изменением поверхностной энергии пленок при разрыве пузырей пренебречь. (9)

2.124. Гелий (He) и водород (H_2) находятся в теплоизолированном цилиндре под поршнем. Объем, занимаемый смесью газов, $V_0 = 1$ л, давление $p_0 = 37$ атм. При адиабатическом расширении смеси относительное уменьшение температуры составило 75%. Найдите работу, совершенную при этом смесью газов, если масса водорода в 1,5 раза больше массы гелия. Внутренняя энергия моля гелия равна $U_1 = 3/2 RT$, водорода — $U_2 = 5/2 RT$, где T — абсолютная температура. Молярные массы гелия и водорода равны, соответственно, $M_1 = 4$ г/моль и $M_2 = 2$ г/моль. (9)

2.125. Моль идеального газа переводится из состояния 1 в состояние 3 путем изобарического нагрева 1 — 2 и изохорического охлаждения 2 — 3 (рис.61). На участке 1 — 2 газ совершает работу $A = 1250$ Дж. В процессе всего перехода 1 — 2 — 3 к газу подводится

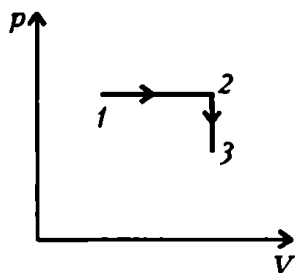


Рис. 61

количество теплоты $Q = 750$ Дж. Найдите разность температур T_2 и T_3 . (9)

2.126. Одноатомный идеальный газ переводится из состояния $p_1 = 130$ кПа, $V_1 = 1$ л в состояние $p_2 = 10$ кПа, $V_2 = 2$ л по прямой, соединяющей точки (p_1, V_1) и (p_2, V_2) на pV -диаграмме. Затем газ переводится в состояние $p_3 = 20$ кПа, $V_3 = 3$ л по прямой, соединяющей точки (p_2, V_2) и (p_3, V_3) . Какое количество теплоты сообщено газу? (4)

2.127. Один моль идеального газа переводят из состояния 1 в состояние 2 (рис.62). Определите, какое количество теплоты газ получает при нагревании и какое при охлаждении, если $p = 7,6 \cdot 10^5$ Па, $V = 20$ л. (6)

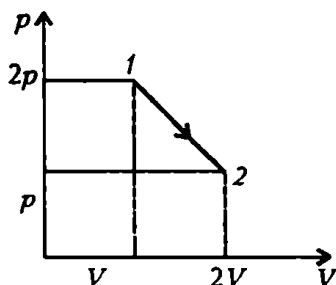


Рис. 62

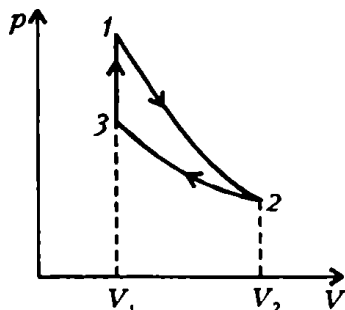


Рис. 63

2.128. Внутренняя энергия U неидеального газа зависит от температуры T и объема V по формуле $U = cT - a/V$, где c и a – заданные константы. Над таким газом из состояния с объемом V_1 совершают замкнутый процесс (цикл), состоящий из адиабаты $1 - 2$, изотермы $2 - 3$ и изохоры $3 - 1$ (рис.63). Найдите разность конечной и начальной температур газа в изохорическом

процессе, если работа газа в адиабатическом процессе оказалась в β раз больше работы изотермического сжатия. Известно, что $V_2 = \alpha V_1$, а суммарное количество теплоты, подведенное к газу за цикл, равно Q . (9)

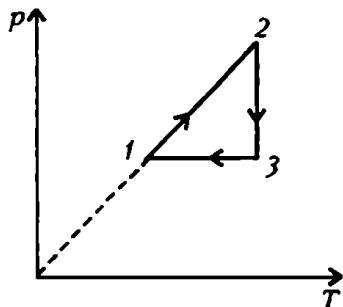


Рис. 64

2.129. Найдите работу, совершенную одним молем идеального газа при изотермическом расширении в цикле $1 - 2 - 3 - 1$, если КПД цикла $\eta = 20\%$, $T_2 = 2T_1$ (рис.64). (6)

2.130. Давление идеального одноатомного газа меняют от величины p_1 до величины p_2 в соответствии с pV -диаграммой, имеющей вид треугольника, показанного на рисунке 65. Найдите КПД цикла, если температура газа в состоянии 3 больше его температуры в состоянии 1. (4)

2.131. Тепловой двигатель работает по циклу Карно. Количество теплоты, отдаваемое холодильнику, равно $Q_x = 20$ кДж.

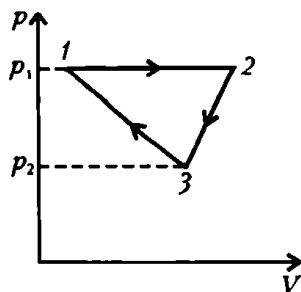


Рис. 65

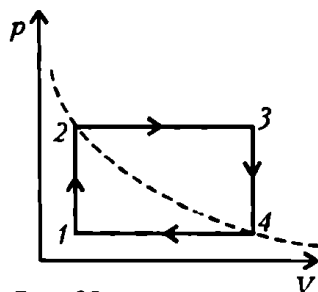


Рис. 66

Определите, какое количество теплоты будет передаваться холодильнику, если температура холодильника уменьшится в $n = 2$ раза. (6)

2.132. Один моль идеального газа совершает замкнутый процесс, состоящий из двух изохор и двух изобар (рис.66). Температура в точке 1 равна $T_1 = 300$ К, в точке 3 — $T_3 = 500$ К. Определите работу, совершаемую газом за цикл, если точки 2 и 4 лежат на одной изотерме. (12)

2.133. Над одним молем идеального одноатомного газа совершают цикл, показанный на рисунке 67. Определите КПД цикла,

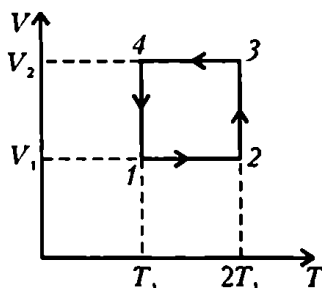


Рис. 67

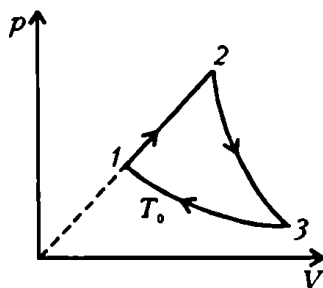


Рис. 68

если работа газа на участке 2 — 3 равна $A_{23} = 2$ кДж, а на участке 1 — 4 работа равна $A_{14} = 1,5$ кДж. Температура $T_1 = 300$ К. (6)

2.134. С одним молем идеального одноатомного газа проводят цикл, показанный на рисунке 68. На участке 1 — 2 объем газа

увеличивается в $m = 2$ раза. Процесс $2-3$ – адиабатическое расширение, процесс $3-1$ – изотермическое сжатие при температуре $T_0 = 300$ К. Найдите работу, совершаемую газом на участке $2-3$. (4)

2.135. Над одним молем одноатомного идеального газа проводят три процесса, образующих замкнутый цикл (рис.69), в котором $p_1 = 10^5$ Па, $V_1 = 1$ л, $p_2 = 2 \cdot 10^5$ Па, $V_2 = 2$ л. Определите изменение внутренней энергии газа в каждом процессе и в целом за цикл, а также работу, совершенную газом за цикл. (6)

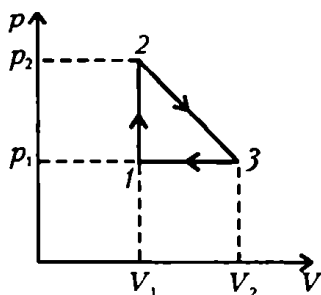


Рис. 69

2.136. С одноатомным идеальным газом совершается циклический процесс. Из начального состояния с давлением $p_1 = 1,6$ МПа и объемом $V_1 = 2$ л газ расширяется при постоянном давлении до объема $V_2 = 16$ л. Затем при постоянном объеме давление газа уменьшается до величины $p_2 = 50$ кПа. После чего газ приводится в начальное состояние адиабатическим сжатием. Найдите работу, совершенную газом за цикл. (4)

2.137. Идеальный газ в количестве ν молей совершает работу в циклическом процессе, изображенном на рисунке 70.

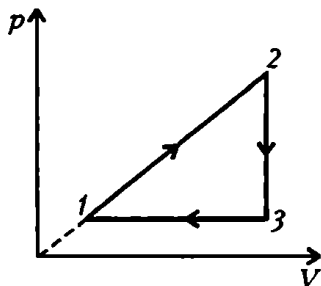


Рис. 70

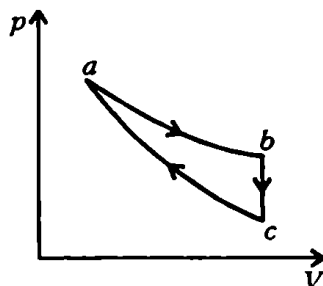


Рис. 71

На участке $1-2$ давление пропорционально объему, участок $2-3$ представляет изохору, участок $3-1$ – изобару. Определите работу, совершаемую газом за один цикл. Температуры в состояниях 1 и 2 равны, соответственно, T_1 и T_2 . (4)

2.138. Идеальный газ участвует в циклическом процессе, график которого приведен на рисунке 71 (ab – изотерма, bc – изохора, ca – адиабата). При изотермическом расширении газ совершает работу $A = 1$ Дж. В изохорной стадии процесса газ охлаждается на $\Delta T = 2$ К. Найдите термодинамический КПД

цикла, принимая изохорную теплоемкость газа равной $C_V = 0,49 \text{ Дж/К}$. (4)

2.139. Идеальный газ совершает круговой процесс $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 4 \rightarrow 1$ (рис.72). Отдельные участки процесса представляют собой отрезки прямых. Известно, что $V_1 = 1 \text{ м}^3$, $V_2 = 4 \text{ м}^3$, $T_1 = 100 \text{ К}$, $T_4 = 300 \text{ К}$. Какой объем занимал газ в состоянии 3, находящемся на участке $2 \rightarrow 4$, которое характеризовалось тем же давлением, что и начальное состояние? (4)

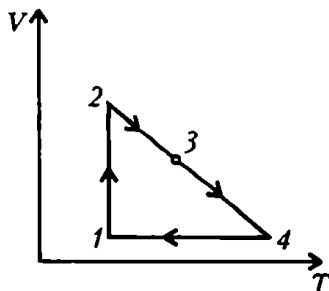


Рис. 72

2.140. Цикл для ν молей гелия состоит из двух участков линейной зависимости давления p от объема V и изохоры (рис.73). В изохорическом процессе $1-2$ газу сообщили количество теплоты Q , и его температура увеличилась в 4 раза. Температуры в состояниях 2 и 3 равны. Точки 1 и 3 на диаграмме $p-V$ лежат на прямой, проходящей через начало координат. 1) Найдите температуру в точке 1. 2) Найдите работу газа за цикл. (9)

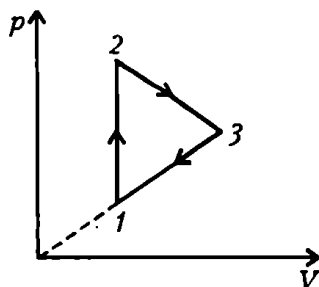


Рис. 73

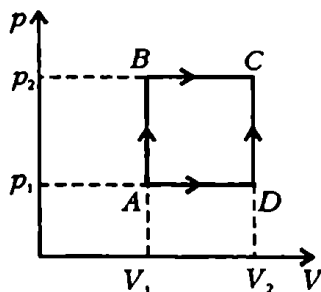


Рис. 74

2.141. Двигатель холодильника, работающего по циклу Карно, имеет мощность $P = 0,6 \text{ кВт}$. Оцените массу воды с начальной температурой $t_1 = 0^\circ \text{С}$, которая замерзнет за $\tau = 2 \text{ ч}$ работы холодильника, если радиатор холодильника имеет температуру $T = 373 \text{ К}$. Удельная теплота плавления льда $\lambda = 335 \text{ Дж/г}$. (4)

2.142. Если над идеальным газом совершается процесс ABC (рис.74), то ему сообщается количество теплоты $15,5 \text{ кДж}$. Какое количество теплоты сообщается газу в процессе ADC , если $V_1 = 10 \text{ л}$, $V_2 = 20 \text{ л}$, $p_1 = 100 \text{ кПа}$, $p_2 = 300 \text{ кПа}$? (3)

2.143. Температура нагревателя идеальной тепловой машины $T_1 = 400 \text{ К}$, температура холодильника $T_2 = 300 \text{ К}$, количество теплоты, получаемое от нагревателя за цикл, $Q = 400 \text{ Дж}$, число

циклов в секунду $n = 2$. С какой скоростью будет перемещаться по горизонтальной дороге тележка, приводимая в движение такой машиной, если сила сопротивления $F = 100 \text{ Н}$? Скорость тележки считайте постоянной. (4)

2.144. Холодильная машина, работающая по обратному циклу Карно, передает тепло от холодильника с водой при температуре $t_2 = 0^\circ\text{C}$ кипяtilьнику с водой при температуре $t_1 = 100^\circ\text{C}$. Какую массу воды нужно заморозить в холодильнике, чтобы превратить в пар $m_1 = 1 \text{ кг}$ воды в кипяtilьнике? Удельная теплота парообразования воды $r = 2,26 \text{ МДж/кг}$, удельная теплота плавления льда $\lambda = 3,35 \cdot 10^5 \text{ Дж/кг}$. (2)

2.145. Цикл бензинового двигателя внутреннего сгорания близок к циклу Отто, состоящему из двух адиабат и двух изохор. Вначале горючую смесь, которую можно считать идеальным газом, сжимают без теплообмена с окружающей средой, потом изохорически нагревают (при сгорании топлива) на $\Delta T_1 = 500 \text{ К}$, затем снова без теплообмена газ расширяется, совершая работу, и, наконец, после изохорического охлаждения на $\Delta T_2 = -250 \text{ К}$ газ возвращается к исходному состоянию. Найдите КПД этого цикла. Теплоемкости газа в обоих изохорических процессах считайте одинаковыми. (4)

ЭЛЕКТРОСТАТИКА

3.1. Точечные заряды 10 нКл и -20 нКл закреплены на расстоянии 1 м друг от друга в воздухе. На каком расстоянии от отрицательного заряда напряженность электрического поля равна нулю? (3)

3.2. Заряды 50 нКл и -20 нКл расположены на расстоянии 10 см друг от друга. Какой нужно взять третий заряд и где его следует поместить, чтобы он находился в равновесии? (8)

3.3. Найдите ускорение, с которым падает шарик массой 0,03 кг с зарядом 3 мкКл в однородном электрическом поле с напряженностью 20 кВ/м. Вектор напряженности направлен вертикально вверх. Трение не учитывать. (1)

3.4. В серединах сторон равностороннего треугольника расположены одинаковые точечные заряды $q_1 = 10^{-9}$ Кл. В двух вершинах этого треугольника помещены точечные заряды $q_2 = -4 q_1$ каждый. Длина стороны треугольника $L = 2$ м. Вычислите величину вектора напряженности электрического поля в третьей вершине треугольника. Постоянная в законе Кулона $k = 9 \cdot 10^9$ Н·м²/Кл². (7)

3.5. Три заряженных шарика связаны друг с другом двумя нитями и расположены на одной прямой (рис.75). Длина каждой нити $l = 1$ м. Найдите силу натяжения нити, которая соединяет первый и второй шарики. Заряды шариков: $q_1 = 4 \cdot 10^{-9}$ Кл, $q_2 = 1 \cdot 10^{-9}$ Кл, $q_3 = 8 \cdot 10^{-9}$ Кл. Размерами шариков можно пренебречь. Электрическая постоянная $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м. (4)

3.6. Металлический шар с зарядом $+Q$ окружен сферическим слоем диэлектрика с диэлектрической

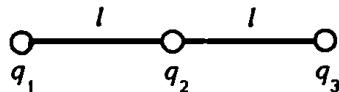


Рис. 75

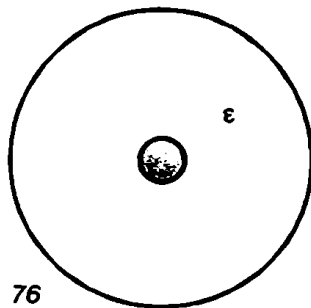


Рис. 76

проницаемостью ϵ (рис.76). Под действием электрического поля шара диэлектрик поляризуется, и на границах диэлектрика наводится связанный заряд. Определите величину связанного заряда на внешней поверхности диэлектрика. (6)

3.7. В вертикально направленном однородном электрическом поле находится пылинка массой $m = 2 \cdot 10^{-9}$ г и зарядом $q = 3,2 \cdot 10^{-17}$ Кл. Какова напряженность поля, если пылинка находится в равновесии? (8)

3.8. Как изменится ускорение падающего тела массой $m = 4$ г, если ему сообщить заряд $q = 3,3 \cdot 10^{-8}$ Кл? Напряженность электрического поля Земли равна $E = 100$ В/м и направлена нормально ее поверхности. (8)

3.9. В однородном электрическом поле с напряженностью E , силовые линии которого составляют угол α с вертикалью и направлены вверх, висит на непроводящей невесомой нити заряженный шарик массой m (рис.77). Сила натяжения нити T . Определите заряд шарика. (10)

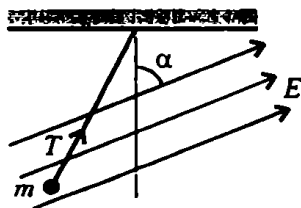


Рис. 77

3.10. Из двух одинаковых маленьких проводящих шариков один неподвижен, а другой привязан к концу вертикальной нити длиной $l = 0,2$ м. Масса каждого шарика $m = 0,9$ г. Шарик, находясь в соприкосновении, получают

одинаковые электрические заряды. В результате подвижный шарик отклоняет нить на угол $\alpha = 60^\circ$ от вертикали. Определите заряд каждого шарика. Постоянная в законе Кулона $k = 9 \cdot 10^9$ Н·м²/Кл². (7)

3.11. В электростатическом поле, создаваемом двумя разноименными точечными зарядами, имеющими одинаковый модуль $|q| = 10^{-7}$ Кл и расположенными на расстоянии $L = 0,6$ м друг от друга, пролетает заряженная частица. В точке траектории, находящейся на равных расстояниях $L/2$ от зарядов, порождающих поле, ее ускорение равно $a = 2$ м/с². Найдите отношение заряда частицы к ее массе. Электрическая постоянная $\epsilon_0 = 0,885 \cdot 10^{-11}$ Ф/м. (4)

3.12. Двум соприкасающимся шарикам массой 0,3 г каждый, подвешенным на нитях длиной 100 см, сообщили одинаковые заряды. После этого шарик разошлись на расстояние 5 см друг от друга. Каков заряд каждого шарика? (8)

3.13. Шарик массой 10 г, имеющий заряд 100 мкКл, подвешен на невесомой и нерастяжимой нити длиной 50 см. Он находится в однородном электрическом поле с напряженностью 100 В/м,

силовые линии которого горизонтальны и направлены справа налево. Шарик отвели влево так, что он оказался на 40 см ниже точки подвеса нити, и отпустили. Найдите силу натяжения нити (в мН) в тот момент, когда шарик проходит нижнюю точку своей траектории. (1)

3.14. Четыре маленьких одинаково заряженных шарика массой $m = 1,9 \cdot 10^{-2}$ кг каждый подвесили в одной точке на изолирующих нитях одинаковой длины. Заряд каждого шарика $q = 10^{-6}$ Кл. При этом шарики расположились в вершинах квадрата со стороной $a = 0,3$ м. Определите угол отклонения каждой нити от вертикали. Постоянная в законе Кулона $k = 9 \cdot 10^9$ Н·м²/Кл². (7)

3.15. На невесомом стержне длиной l висит маленький шарик массой m с зарядом Q (рис. 78). На короткое время τ включается постоянное горизонтальное электрическое поле с напряженностью \vec{E}_0 . Найдите максимальный угол отклонения стержня от вертикали. (11)

3.16. Два заряженных шарика, массой $m = 2,0$ г каждый, подвешены к одному крючку на невесомых и нерастяжимых нитях одной и той же длины и связаны третьей такой же нитью. Если третью нить пережечь, то шарики, отталкиваясь, поднимаются на максимальную высоту, при которой обе нити подвеса горизонтальны. Найдите силы натяжения нитей и ускорения шариков в этот момент. (5)

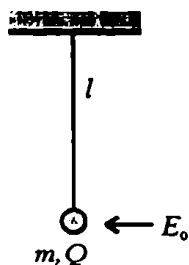


Рис. 78

3.17. Два одинаковых шарика, имеющих одинаковые заряды $q = 1,6 \cdot 10^{-6}$ Кл, подвешены на одной высоте на нитях одной и той же длины. Расстояние между точками подвеса $r = 0,2$ м. Какой по величине и знаку заряд следует поместить на расстоянии $d = 0,5$ м от каждого из шариков, чтобы нити были параллельны? (7)

3.18. Диполь, состоящий из двух разноименных зарядов величиной $q = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл и массой $m = 70 \cdot 10^{-27}$ кг каждый, расположенных на расстоянии $l = 10$ нм, удерживается в однородном электрическом поле с напряженностью $E = 20$ кВ/м перпендикулярно силовым линиям. Какую максимальную угловую скорость будет иметь диполь, если его отпустить? (6)

3.19. К концу тонкого вертикального вала на легкой нерастяжимой изолирующей нити длиной L подвешен небольшой шарик массой m , имеющий заряд q . Под шариком на расстоянии h находится равномерно заряженная с поверхностной плотностью

σ горизонтальная плоскость. Вал начинают медленно раскручивать. При каких угловых скоростях вращения вала нить будет устойчиво отклонена от вертикали? (4)

3.20. Однородный равномерно заряженный прут AB , согнутый под прямым углом AOB , расположен в горизонтальной плоскости и может свободно вращаться в ней без трения вокруг вертикальной закрепленной оси, проходящей через вершину угла O . Часть прута AO в n раз короче части OB . Прут находится в горизонтально направленном однородном электрическом поле. Найдите угол между AO и направлением электрического поля. (11)

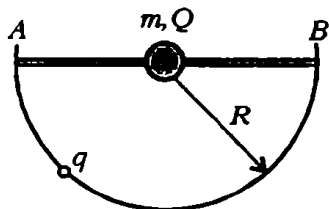


Рис. 79

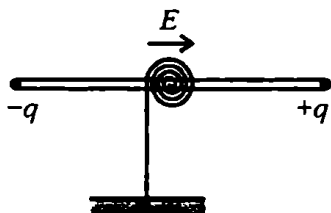


Рис. 80

3.21. На тонкой спице находится бусинка массой m и зарядом Q (рис.79). Найдите минимальный коэффициент трения между бусинкой и спицей, при котором бусинка не сдвинется, если заряд q передвигать по полуокружности радиусом R из точки A в точку B . Размерами заряженных тел пренебречь. (11)

3.22. В однородном электрическом поле находится однородный непроводящий стержень длиной l с закрепленными на концах точечными зарядами $+q$ и $-q$ (рис.80). Стержень может вращаться вокруг горизонтальной оси, проходящей через его середину. К стержню прикреплена пружина. При отклонении стержня от исходного горизонтального положения на угол α на него действует момент упругих сил $M = k\alpha$. Напряженность электрического поля на-

правлена горизонтально и перпендикулярно оси стержня. При каких значениях напряженности электрического поля будет существовать положение равновесия системы с углом α , не равным нулю? (4)

3.23. Окружность радиусом R , равномерно заряженная зарядом Q , расположена горизонтально в вакууме. В ее центр помещают одноименный точечный заряд q . Найдите силу натяжения, возникающую в окружности. (2)

3.24. Какова работа внешней силы, равномерно перемещающей небольшое тело с зарядом $q = -20$ нКл из точки электростатического поля с потенциалом $\phi_1 = 700$ В в точку с потенциалом $\phi_2 = 200$ В? (7)

3.25. В однородном электрическом поле с напряженностью $E = 10^3$ В/м перемещается заряд $Q = 5 \cdot 10^{-8}$ Кл на расстояние $l = 12$ см под углом $\alpha = 30^\circ$ к линиям напряженности. Определите работу поля по перемещению этого заряда. (10)

3.26. Какую работу нужно совершить, чтобы заряды $5 \cdot 10^{-9}$ Кл и $3 \cdot 10^{-9}$ Кл, находящиеся на расстоянии 20 см, сблизить до 10 см? (8)

3.27. Тысяча одинаковых шарообразных капелек ртути заряжены до одного и того же потенциала 0,1 В. Определите потенциал большой шарообразной капли, получившейся в результате слияния малых капель. (1)

3.28. Точечный заряд $q = 2 \cdot 10^{-6}$ Кл переместили в однородном электрическом поле с напряженностью $E = 500$ В/м из точки с координатами $x_1 = 0$, $y_1 = 0$ сначала в точку с координатами $x_2 = -1$ м, $y_2 = 0$, а затем в точку с координатами $x_3 = -1$ м, $y_3 = -1$ м. Какая работа была при этом совершена внешними силами? Вектор напряженности поля \vec{E} находится в плоскости XOY и направлен под углом $\alpha = 45^\circ$ к оси OX . (7)

3.29. Шарик массой $m = 10$ мг, несущий электрический заряд $q = 0,5$ мкКл, влетает в горизонтальное однородное электрическое поле с напряженностью $E = 2$ В/см против силовых линий. При прохождении тормозящей разности потенциалов $U = 10$ В горизонтальная составляющая скорости шарика становится равной нулю. Найдите работу, которую совершила над шариком сила тяжести за это время. (6)

3.30. На расстоянии 90 см от поверхности шара радиусом 10 см, несущего положительный заряд с поверхностной плотностью 30 мкКл/м², находится точечный положительный заряд 7 мкКл. Какую работу надо совершить, чтобы перенести заряд на расстояние 50 см по направлению к центру шара? (3)

3.31. Электрический диполь (система из двух жестко связанных точечных зарядов $+q$ и $-q$, расположенных на расстоянии l друг от друга) находится в положении устойчивого равновесия в однородном электрическом поле с напряженностью \vec{E} . Какую работу нужно совершить, чтобы повернуть диполь на 180° ? (12)

3.32. На расстоянии r_1 от центра уединенного заземленного металлического шара радиусом R находится заряд q . Определите, какой заряд протечет по заземляющему проводнику, если заряд переместить на расстояние r_2 от центра шара. (6)

3.33. На горизонтальной плоскости с коэффициентом трения μ покоились два тела массами M и m , заряженные разноименными зарядами Q и $-Q$. Тело массой m начинают медленно

двигать к другому телу до тех пор, пока оно не начнет скользить дальше само. В тот момент, когда тело массой M сдвигается с места, электрические заряды быстро убирают. Во сколько раз должны отличаться массы, чтобы тела коснулись друг друга при их дальнейшем движении? Размеры тел считайте малыми. (11)

3.34. Между двумя параллельными проводящими пластинами, находящимися на расстоянии d друг от друга, параллельно им на расстоянии a от первой пластины помещена заземленная металлическая плоскость. Площади пластин одинаковы и равны S , причем линейные размеры пластин много больше расстояния между ними. Найдите заряд плоскости, если потенциалы первой и второй пластин относительно земли равны $-\varphi$ и $+\varphi$ соответственно. (4)

3.35. Две одинаковые большие металлические плоскопараллельные пластины, сложенные вместе, находятся в перпендикулярном их поверхности однородном электрическом поле с напряженностью E . Какая сила будет действовать на каждую из пластин, если их слегка развести, сохраняя перпендикулярность полю? Площадь каждой пластины S . (11)

3.36. Две одинаковые металлические пластины площадью S каждая расположены одна над другой параллельно заземленной металлической плоскости на расстояниях h_1 и h_2 от нее. Вначале пластины имеют заряды q_1 и q_2 . Верхнюю пластину соединяют с плоскостью через резистор. Какое количество теплоты выделится в резисторе? (11)

3.37. Заряженная капелька, несущая в себе заряд нескольких электронов, уравновешена электрическим полем и находится посередине между горизонтально расположенными пластинами плоского конденсатора, отстоящими друг от друга на $d = 4$ мм. Не отключая конденсатор от источника ЭДС, нижнюю пластину быстро поднимают на $h = 1$ мм. Через какое время и с какой пластиной столкнется капля? Сопротивлением воздуха пренебречь. (7)

3.38. Плоский конденсатор емкостью 40 пФ соединяют последовательно с таким же конденсатором, но заполненным диэлектриком с диэлектрической проницаемостью, равной 3 . Найдите емкость (в пФ) такой батареи. (1)

3.39. К источнику с ЭДС \mathcal{E} подключен плоский конденсатор емкостью C . Какую минимальную работу нужно совершить, чтобы увеличить расстояние между обкладками в 2 раза? (4)

3.30. Во сколько раз увеличится емкость системы, состоящей из двух одинаковых параллельно соединенных воздушных кон-

денсаторов, если один из них заполнить диэлектриком с диэлектрической проницаемостью, равной 5? (1)

3.41. Плоский воздушный конденсатор емкостью $C = 5 \cdot 10^{-9}$ Ф заряжен до напряжения $U = 2$ В и отключен от источника. Какую работу необходимо совершить, чтобы, медленно раздвигая пластины, увеличить расстояние между ними в $n = 3$ раза? (7)

3.42. Две параллельные пластины площадью $S = 200$ см² каждая, находясь в керосине на расстоянии $d = 0,4$ см друг от друга, притягиваются за счет электростатического взаимодействия с силой $F = 250$ мкН. Диэлектрическая проницаемость керосина $\epsilon = 2$. 1) Определите разность потенциалов между пластинами. 2) Изменится ли разность потенциалов, если пластины наполовину вынуть из керосина? (13)

3.43. Конденсатор, заряженный до напряжения $U_1 = 10$ В, подсоединяют к конденсатору вдвое большей емкости, заряженному до напряжения $U_2 = 40$ В, при этом соединяют одноименно заряженные обкладки конденсаторов. Какое напряжение установится на конденсаторах? (7)

3.44. Два последовательно соединенных конденсатора емкостями $C_1 = 2$ мкФ и $C_2 = 6$ мкФ зарядили от источника постоянного напряжения $U = 120$ В. Определите напряжение на каждом конденсаторе. Какая энергия выделится, если, отключив источник, соединить конденсаторы проводником накоротко? (6)

3.45. Во сколько раз изменится заряд на конденсаторе емкостью C_4 при пробое конденсатора емкостью C_1 (рис.81)? Емкости конденсаторов равны: $C_1 = C_2 = 2$ пкФ, $C_3 = C_4 = 4$ пкФ. (6)

3.46. Емкости двух металлических шаров равны $C_1 = 10$ пФ и $C_2 = 20$ пФ, а заряды на них равны $q_1 = 1,7 \cdot 10^{-8}$ Кл и $q_2 = 3 \cdot 10^{-8}$ Кл соответственно. Как перераспределятся заряды, если шары соединить проволокой? Емкостью проволоки можно пренебречь. (8)

3.47. Обкладки плоского воздушного конденсатора, подключенного к источнику постоянного напряжения, притягиваются с силой, равной F_0 . Какая сила будет действовать на обкладки, если в зазор параллельно им вставить металлическую пластину, толщина которой в $n = 2$ раза меньше величины зазора, а остальные размеры совпадают с размерами обкладок? (4)

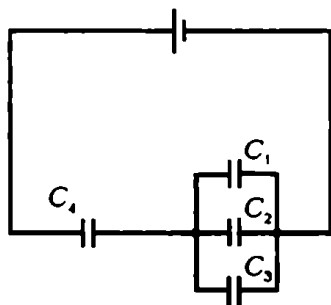


Рис. 81

3.48. Плоский полый конденсатор емкостью C , на котором поддерживается постоянная разность потенциалов U , разделили тонкой жесткой перегородкой на две равные части и заполнили

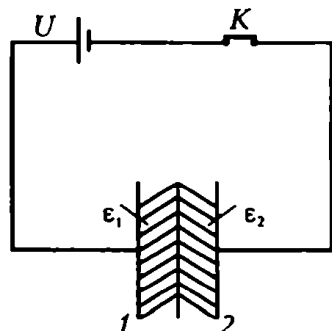


Рис. 82

жидкостями с диэлектрическими проницаемостями ϵ_1 и ϵ_2 (рис.82). После размыкания ключа K диэлектрик с проницаемостью ϵ_2 вытек. Найдите: а) заряд на обкладках конденсатора; б) силы, действующие на обкладки 1 и 2, и давление на перегородку. Площадь каждой обкладки S . (14)

3.49. Вертикально расположенный плоский конденсатор, зазор которого заполнен керосином, зарядили и отключили от источника. При этом напряженность электрического поля в керосине оказалась равной $E = 2 \cdot 10^6$ В/м. Из-за дефекта изоляции керосин начинает вытекать, а его место занимает воздух. Какая доля керосина вытечет из конденсатора к моменту его пробоя? Напряженность электрического поля в воз-

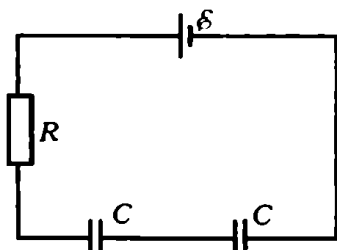


Рис. 83

духе, при которой наступает пробой, равна $E_{пр} = 3 \cdot 10^6$ В/м. Диэлектрическая проницаемость керосина $\epsilon = 2$. (7)

3.50. В схеме, показанной на рисунке 83, $\epsilon = 60$ В, $C = 10$ мкФ. Какой заряд протечет в цепи, если один из конденсаторов заполнить диэлектриком с диэлектрической проницаемостью $\epsilon = 2$? (4)

3.51. Конденсатор емкостью $C = 10$ мкФ, предварительно заряженный до напряжения $U = 100$ В, подключают через резистор к батарее с ЭДС $\epsilon = 300$ В и пренебрежимо малым внутренним сопротивлением (рис.84). Какое количество теплоты выделится в резисторе за время полной зарядки конденсатора? (4)

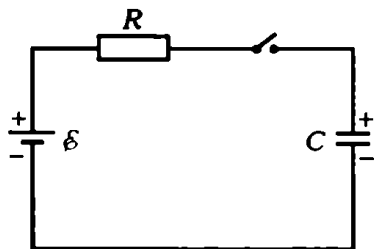


Рис. 84

3.52. К заряженному конденсатору подключают первоначально незаряженный конденсатор меньшей емкости, соединяя их выводы A, B и a, b соответствен-

но. В момент подсоединения между выводами конденсаторов проскакивает искра, сопровождающаяся характерным щелчком. Затем второй конденсатор «переворачивают» и снова подключают, соединяя на этот раз выводы A , B и b , а соответственно. Процедура «переворачивания» и подсоединения повторяется многократно, каждый раз сопровождаясь проскакиванием искры. Если второй конденсатор такой же, как и первоначально заряженный, то искры будут только при первых двух подсоединениях, после чего полностью исчезают. Объясните явление. (11)

3.53. Какой заряд пройдет через источник питания с постоянным напряжением U после его подключения к точкам A и B электрической цепи, изображенной на рисунке 85? Емкость каждого конденсатора равна C . (11)

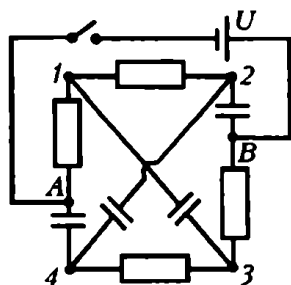


Рис. 85

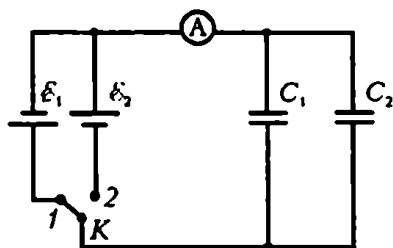


Рис. 86

3.54. Электрическая цепь состоит из двух конденсаторов емкостями $C_1 = 2 \cdot 10^{-6} \text{ Ф}$ и $C_2 = 3 \cdot 10^{-6} \text{ Ф}$, двух источников постоянного напряжения с ЭДС $\varepsilon_1 = 1 \text{ В}$ и $\varepsilon_2 = 1,5 \text{ В}$, амперметра A и ключа K (рис.86). Найдите величину заряда, который протечет через амперметр, если ключ перекинуть из положения 1 в положение 2. (4)

3.55. Электрическая цепь состоит из источника постоянной ЭДС ε и плоского конденсатора. В конденсатор вставлена диэлектрическая пластинка с относительной диэлектрической проницаемостью ϵ , заполняющая все пространство между пластинами. Сопротивление цепи имеет конечное значение. Какую работу нужно совершить, чтобы медленно вытянуть пластинку из конденсатора? Емкость конденсатора со

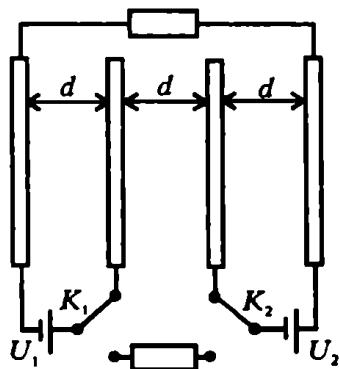


Рис. 87

вставленной в него пластинкой равна C . Трение не учитывайте. (4)

3.56. Четыре металлические пластины площадью S каждая расположены параллельно друг другу на равных расстояниях d и соединены в электрическую схему, показанную на рисунке 87. В исходных состояниях ключи K_1 и K_2 находятся в положениях, при которых средние пластины соединены с источниками ЭДС с напряжениями U_1 и U_2 , а наружные пластины соединены друг с другом через верхний резистор. Затем ключи одновременно переключают так, что средние пластины отсоединяются от источников и подключаются к нижнему резистору. Найдите полное количество теплоты, выделившееся в схеме после переключения. (11)

Законы постоянного тока

3.57. Определите сопротивление нихромовой проволоки длиной 3 м и массой 4,98 г. Удельное сопротивление нихрома 10^{-6} Ом·м, плотность 8300 кг/м³. (1)

3.58. За одну минуту через поперечное сечение проводника прошел заряд 180 Кл. При этом первые 20 с сила тока равномерно возрастала от нуля до некоторой величины I , затем 30 с не менялась, а последние 10 с равномерно уменьшалась до нуля. Найдите I . (1)

3.59. При включении приборов по схеме, изображенной на рисунке 88, а, амперметр показывает ток $I_1 = 1,06$ А, а вольтметр

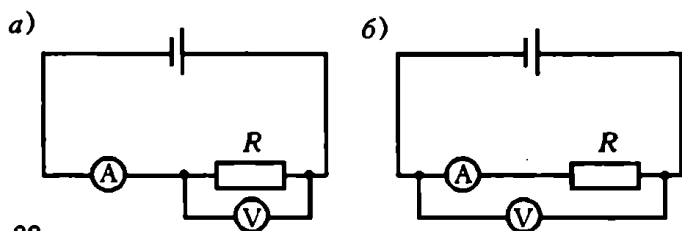


Рис. 88

– напряжение $U_1 = 59,6$ В. При включении тех же приборов по схеме на рисунке 88, б амперметр показывает ток $I_2 = 0,94$ А, а вольтметр – напряжение $U_2 = 60$ В. Определите сопротивление резистора R , считая напряжение на зажимах батареи неизменным. (4)

3.60. Вольтметр, подключенный к клеммам источника с ЭДС $\mathcal{E} = 12$ В, показывает $U = 9$ В. К клеммам источника подключают еще один такой же вольтметр. Определите показания вольтметров. (7)

3.61. Если подключить к источнику ЭДС два одинаковых вольтметра, соединив их параллельно или последовательно, то вольтметры покажут одинаковые напряжения $U = 8$ В. Вычислите ЭДС источника. (7)

3.62. В сигнальном фонаре имеются две одинаковые лампочки, позволяющие включать или белый свет, или красный, или тот и другой одновременно. При поочередном включении каждой из лампочек вольтметр с очень большим внутренним сопротивлением показывает напряжение $U_1 = 5$ В, а при одновременном параллельном включении обеих лампочек – $U_2 = 4$ В. Определите ЭДС батареи фонаря. (7)

3.63. Когда ключ замкнут, сопротивление между точками А и В схемы, изображенной на рисунке 89, равно $R_1 = 80$ Ом. Определите сопротивление между этими точками, когда ключ разомкнут. (4)

3.64. В схеме, приведенной на рисунке 90, лампочка горит одинаково ярко как при замкнутом, так

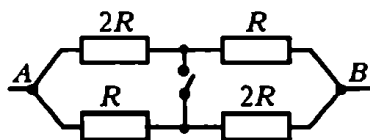


Рис. 89

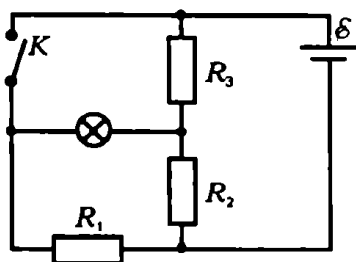


Рис. 90

и при разомкнутом ключе K . Найдите напряжение на лампочке, если $R_1 = R_3 = 90$ Ом, $R_2 = 180$ Ом, $\varepsilon = 54$ В. Внутренним сопротивлением источника тока можно пренебречь. (2)

3.65. Пространство между идеально проводящими металлическими пластинами, находящимися на малом расстоянии d друг от друга, заполнено проводящей жидкостью. При этом сопротивление между пластинами равно R_0 . Затем в зазор ввели изогнутую посередине тонкую идеально проводящую фольгу и расположили ее, как показано на рисунке 91. Найдите сопротивление между внешними пластинами в такой системе. Краевыми эффектами пренебречь. (11)

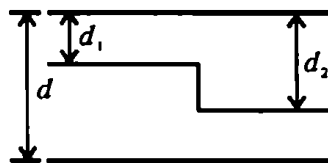


Рис. 91

3.66. Через три одинаковых диода и три одинаковых резистора соединенных последовательно в цепь и подключенных к источнику постоянного напряжения (рис.92,а), течет ток. Во сколько раз изменится ток, если точки А и С, а также В и D соединить

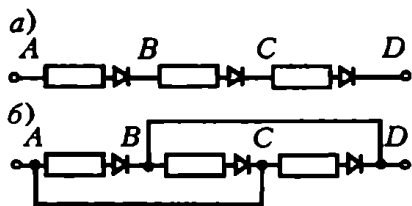


Рис. 92

ее клеммах $U = 1$ В. Определите напряжение на подводящих проводах и их сопротивление. (8)

3.68. В цепь, состоящую из источника ЭДС и резистора сопротивлением $R = 2$ Ом, включают амперметр сначала последовательно, а затем параллельно резистору. При этом показания амперметра оказываются одинаковыми. Сопротивление амперметра $R_A = 1$ Ом. Определите внутреннее сопротивление источника. (7)

3.69. Амперметр с внутренним сопротивлением $R_1 = 2$ Ом, подключенный к источнику тока, показал ток $I = 5$ А, а вольтметр с внутренним сопротивлением $R_2 = 15$ Ом, подключенный к тому же источнику, показал $U = 12$ В. 1) Определите внутреннее сопротивление источника. 2) Почему при измерениях предпочитают использовать вольтметр с большим внутренним сопротивлением, а амперметр – с малым? (13)

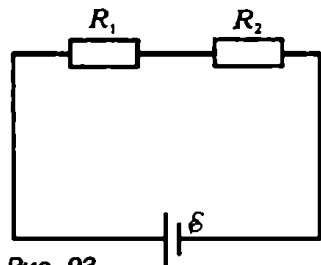


Рис. 93

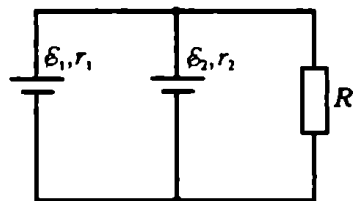


Рис. 94

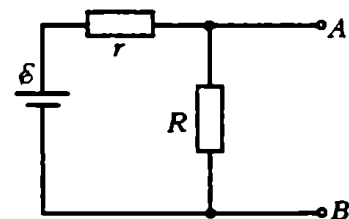


Рис. 95

проводниками с пренебрежимо малыми сопротивлениями (рис.92,б)? (11)

3.67. К источнику с ЭДС $\mathcal{E} = 1,2$ В и внутренним сопротивлением $r = 0,3$ Ом присоединена лампочка сопротивлением $R = 15$ Ом. Напряжение на

3.70. Если вольтметр, имеющий конечное сопротивление, подключен параллельно резистору сопротивлением R_1 , то он показывает напряжение $U_1 = 6$ В, если параллельно R_2 , то – $U_2 = 4$ В (рис.93). Каковы будут напряжения на резисторах, если вольтметр не подключать? ЭДС батареи $\mathcal{E} = 12$ В, ее внутреннее сопротивление пренебрежимо мало. (4)

3.71. Определите ток, текущий через резистор сопротивлением $R = 10$ Ом (рис.94). В схеме $\mathcal{E}_1 = 2$ В, $r_1 = 2$ Ом, $\mathcal{E}_2 = 3$ В, $r_2 = 1$ Ом. (6)

3.72. Напряжение между точками A и B в схеме, показанной на рисунке 95, равно $U = 10$ В. Если к

этим точкам подключить амперметр с малым внутренним сопротивлением, то он покажет ток $I = 0,1$ А. Найдите напряжение между этими точками при подключении к ним резистора сопротивлением $R_1 = 100$ Ом. (4)

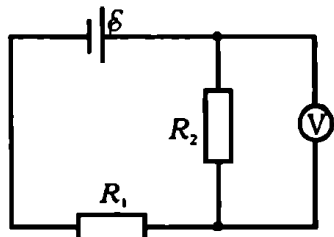


Рис. 96

3.73. В схеме, изображенной на рисунке 96, вольтметр показывает $U = 15$ В. Определите ЭДС батареи, если $R_1 = 8$ Ом, $R_2 = 20$ Ом. Постройте график зависимости показаний вольтметра от величины сопротивления R_2 . Сопротивления источника и вольтметра не учитывать. (6)

3.74. Источник тока с внутренним сопротивлением $r_1 = 1,5$ Ом замкнут на резистор, сопротивление которого равно внутреннему сопротивлению источника. Когда в цепь последовательно подключили второй источник тока с ЭДС, равной ЭДС первого, то сила тока в цепи не изменилась. Определите внутреннее сопротивление второго источника тока. (6)

3.75. К источнику тока с ЭДС $\mathcal{E} = 2$ В присоединили проводник с сопротивлением $R = 0,2$ Ом. При этом амперметр показал силу тока $I_1 = 0,5$ А. Когда к этому источнику последовательно с ним присоединили еще один с такой же ЭДС, то амперметр показал $I_2 = 0,2$ А. Определите внутренние сопротивления источников. (8)

3.76. Два источника постоянного тока соединены последовательно и замкнуты через резистор сопротивлением $R = 4$ Ом. При этом в цепи течет ток $I_1 = 1$ А. После того как полюса одного из источников поменяли местами, ток стал равным $I_2 = 0,5$ А. Найдите ЭДС источников, если их внутренние сопротивления $r_1 = r_2 = 1$ Ом. (4)

3.77. Конденсатор подключен к зажимам батареи. Когда параллельно конденсатору подключили резистор сопротивлением 20 Ом, заряд на конденсаторе уменьшился в 1,2 раза. Определите внутреннее сопротивление батареи. (1)

3.78. Электрическая цепь состоит из включенных последовательно источника постоянного напряжения с внутренним сопротивлением $r = 3$ Ом, резистора сопротивлением $R = 47$ Ом, плоского воздушного конденсатора, площадь пластин которого $S = 200$ см², а расстояние между пластинами можно изменять. Если расстояние между пластинами $d = 1$ см, то заряд конденсатора $Q = 8,85 \cdot 10^{-10}$ Кл. Какой силы ток будет протекать через резистор, если пластины сдвинуть до соприкосновения? Электрическая постоянная $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м. (4)

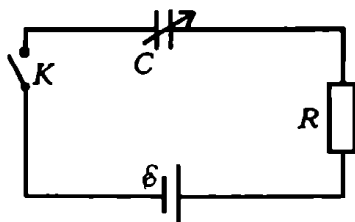


Рис. 97

3.79. Электрическая цепь (рис. 97) состоит из батареи с ЭДС ε , резистора сопротивлением R и конденсатора переменной емкости, начальное значение которой равно C_0 . Через некоторое время после замыкания ключа K в цепи течет ток I_0 . Начиная с этого момента,

емкость конденсатора изменяется таким образом, что ток в цепи остается постоянным и равным I_0 . 1) Определите ток в цепи сразу после замыкания ключа. 2) Найдите зависимость емкости конденсатора от времени. Внутреннее сопротивление батареи не учитывать. (9)

3.80. На схему (рис. 98) подано постоянное напряжение $U = 36$ В. В каких пределах можно изменять напряжение на конденсаторе емкостью C_1 при медленных изменениях его емкости в пределах от $C/2$ до $8C$? Емкость второго конденсатора C_2 постоянна и равна C . (9)

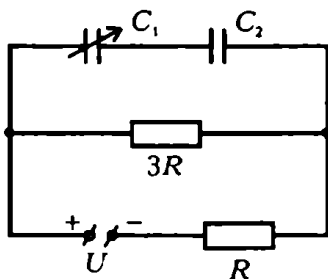


Рис. 98

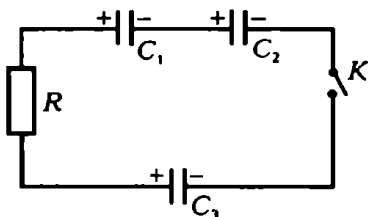


Рис. 99

3.81. Три плоских конденсатора емкостями $C_1 = C_0$, $C_2 = 2C_0$, $C_3 = 3C_0$, каждый из которых заряжен от батареи с ЭДС ε , и резистор сопротивлением R включены в схему, изображенную на рисунке 99. Чему будет равен ток в цепи сразу после замыкания ключа? Какая разность потенциалов установится на конденсаторе емкостью C_3 ? (9)

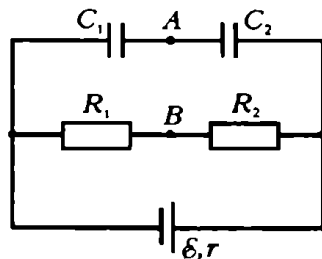


Рис. 100

3.82. Источник тока с ЭДС $\varepsilon = 15$ В и внутренним сопротивлением $r = 5$ Ом замкнут на резистор сопротивлением $R = 10$ Ом. К зажимам источника подключен конденсатор емкостью $C = 1$ мкФ. Найдите заряд на конденсаторе. (3)

3.83. Определите разность потенциалов между точками A и B в цепи, изображенной на рисунке 100, если $C_1 = 1 \text{ мкФ}$, $C_2 = 2 \text{ мкФ}$, $R_1 = 8 \text{ Ом}$, $R_2 = 20 \text{ Ом}$, $\mathcal{E} = 12 \text{ В}$, $r = 2 \text{ Ом}$. (6)

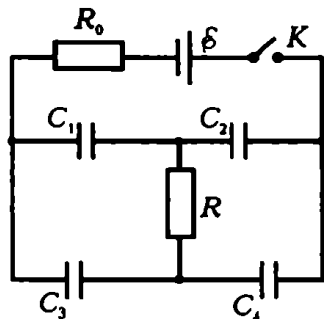


Рис. 101

3.84. Параметры схемы, изображенной на рисунке 101, имеют следующие значения: $\mathcal{E} = 12 \text{ В}$, $C_1 = 8 \text{ мкФ}$, $C_2 = 20 \text{ мкФ}$, $C_3 = 6 \text{ мкФ}$, $C_4 = 8 \text{ мкФ}$. Какой заряд протечет через резистор R_0 от момента замыкания ключа K до окончания процесса зарядки конденсаторов? В начальном состоянии конденсаторы не заряжены. (4)

3.85. В схеме (рис. 102) ключи K_1 и K_2 разомкнуты, а конденсаторы не заряжены. Ключ K_1 замыкают, оставляя K_2 разомкнутым. В результате на конденсаторе емкостью C устанавливается напряжение $U_1 = 6 \text{ В}$. 1) Найдите ЭДС источника тока. 2) Каким станет установившееся напряжение на конденсаторе емкостью C после замыкания ключа K_2 при замкнутом K_1 ? (9)

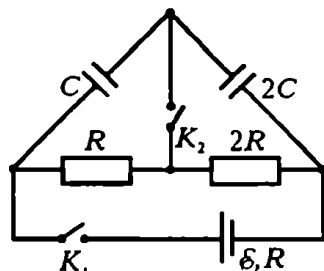


Рис. 102

3.86. Во сколько раз увеличится количество теплоты, выделяющееся в электроплитке, если сопротивление спирали плитки уменьшить в 2 раза, а напряжение в сети увеличить в 2 раза? (1)

3.87. К источнику с ЭДС $\mathcal{E} = 120 \text{ В}$ подключены последовательно неизвестное сопротивление R и лампочка, рассчитанная на напряжение $U = 12 \text{ В}$ и мощность $P = 48 \text{ Вт}$. Лампочка горит нормальным накалом. Определите величину R . Внутренним сопротивлением источника пренебречь. (7)

3.88. На сколько градусов изменится температура воды в калориметре, если через нагреватель пройдет 300 Кл электричества? Напряжение на нагревателе 210 В , масса воды 5 кг , удельная теплоемкость воды $4200 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)}$. Теплотери не учитывать. (1)

3.89. Нагревательная спираль электроаппарата для кипячения воды имеет при температуре $t = 100^\circ \text{C}$ сопротивление $R = 10 \text{ Ом}$. Какой ток надо пропустить через эту спираль, чтобы аппарат испарил $m = 100 \text{ г}$ воды за время $\tau = 1 \text{ мин}$? Удельная теплота парообразования воды $L = 2,3 \text{ МДж/кг}$. (8)

3.90. Аккумулятор с внутренним сопротивлением $r = 0,08 \text{ Ом}$ при силе тока $I_1 = 4 \text{ А}$ отдает во внешнюю цепь мощность $P_1 =$

$= 8$ Вт. Какую мощность он отдаст во внешнюю цепь при силе тока $I_2 = 6$ А? (10)

3.91. Лампа мощностью 500 Вт рассчитана на напряжение 110 В. Определите величину дополнительного сопротивления, позволяющего включить лампу в сеть с напряжением 220 В без изменения ее мощности. (8)

3.92. Элемент с ЭДС \mathcal{E} и внутренним сопротивлением r замкнут на внешнее сопротивление R . Наибольшая мощность, выделяющаяся во внешней цепи, равна $P = 9$ Вт. При этом в цепи течет ток $I = 3$ А. Найдите ЭДС и внутреннее сопротивление элемента. (2)

3.93. Источник тока с внутренним сопротивлением $r = 1,2$ Ом соединен с нагрузкой сопротивлением $R = 6$ Ом. Во сколько раз

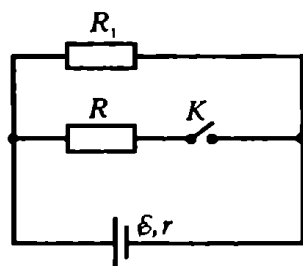


Рис. 103

изменится мощность, выделяемая во внешней части цепи, если последовательно к первому подключить еще одно такое же нагрузочное сопротивление? (8)

3.94. В схеме, показанной на рисунке 103, сопротивление $R_1 = 1$ Ом. Определите внутреннее сопротивление источника тока, если известно, что при замыкании ключа K сила тока через

источник возрастает в $n = 3$ раза, а мощность, выделяющаяся во внешней цепи, увеличивается в $m = 2$ раза. (4)

3.95. Два нагревательных элемента, мощности которых $P_1 = 100$ Вт и $P_2 = 200$ Вт, включают в сеть сначала параллельно, а затем последовательно. Чему равно отношение общих мощностей, выделяющихся в этих нагревателях в рассматриваемых двух случаях? Считайте, что сопротивления элементов не зависят от температуры. (4)

3.96. Нагревательные элементы, сопротивления которых отличаются в α раз, соединены, как показано на рисунке 104.

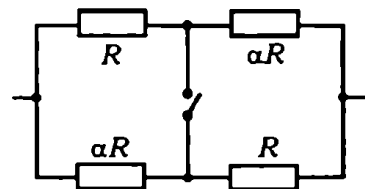


Рис. 104

Найдите α , если известно, что при замыкании ключа общая мощность, выделяющаяся в цепи, увеличивается в $k = 2$ раза. Изменением сопротивлений элементов при нагревании пренебречь. (4)

3.97. При подключении к батарее резистора на нем выделяется мощность $P_1 = 12$ Вт. При этом КПД системы, состоящей из резистора и батареи, оказался равным $\eta_1 = 0,5$. Найдите КПД

системы при подключении к батарее другого резистора, на котором выделяется мощность $P_2 = 9$ Вт. (4)

3.98. Оцените сопротивление и мощность бытовой электрической лампочки накаливания сразу после ее включения. (11)

3.99. Напряжение на шинах электростанции равно 10 кВ. Расстояние до потребителя 500 км. Станция должна передать потребителю мощность 100 кВт. Потери напряжения в проводах не должны превышать 4%. Вычислите массу медных проводов на участке электростанция – потребитель. Плотность меди 8900 кг/м^3 , удельное сопротивление $1,7 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$. (3)

3.100. Два элемента с ЭДС $\mathcal{E}_1 = 5$ В и $\mathcal{E}_2 = 10$ В и внутренними сопротивлениями $r_1 = 1$ Ом и $r_2 = 2$ Ом соединены последовательно и замкнуты на резистор сопротивлением R . При этом внутри второго элемента теряется мощность $P = 4,5$ Вт. Что покажет вольтметр, подключенный к его клеммам? Чему равно R ? (6)

3.101. Два одинаковых гальванических элемента с внутренними сопротивлениями $r = 0,2$ Ом каждый соединены параллельно и нагружены на внешнее сопротивление R . Если эти элементы соединить последовательно, то мощность, выделяющаяся в том же сопротивлении нагрузки, возрастет в $k = 2,25$ раза. Чему равно сопротивление нагрузки R ? (4)

3.102. Цепь, показанная на рисунке 105, находилась достаточно долго в состоянии с замкнутым ключом K . В некоторый момент времени ключ разомкнули. Какое

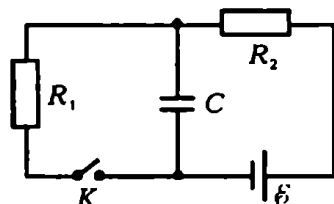


Рис. 105

количество теплоты выделится на резисторе сопротивлением R_2 после размыкания ключа? При расчетах положить $\mathcal{E} = 300$ В, $R_1 = 100$ Ом, $R_2 = 200$ Ом, $C = 10$ мкФ. Внутренним сопротивлением источника пренебречь. (4)

3.103. Источник постоянного тока с ЭДС $\mathcal{E} = 10$ В и внутренним сопротивлением $r = 10$ Ом замыкают через резистор сопротивлением $R = 90$ Ом на незаряженный конденсатор емкостью $C = 2$ мкФ. Какое количество теплоты выделится на резисторе к моменту полного заряда конденсатора? (4)

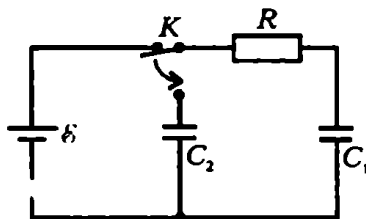


Рис. 106

3.104. Аккумулятор с ЭДС \mathcal{E} , конденсаторы емкостями C_1 и C_2 и резистор сопротивлением R соединены, как показано на рисунке 106. Определите количество теп-

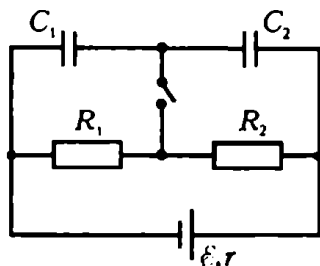


Рис. 107

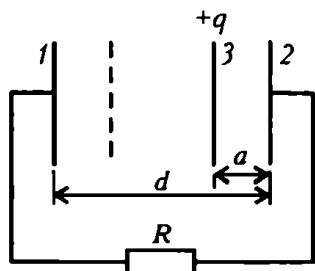


Рис. 108

положение – на расстоянии a от пластины 1. Полагая, что за время перемещения пластины 3 заряды на пластинах 1 и 2 не успевают измениться, определите: 1) величину и направление тока через резистор сразу после перемещения пластины 3; 2) количество теплоты, выделившееся на резисторе после переме-

щения пластины. Площадь каждой пластины S , расстояние между пластинами мало по сравнению с линейными размерами пластин. (9)

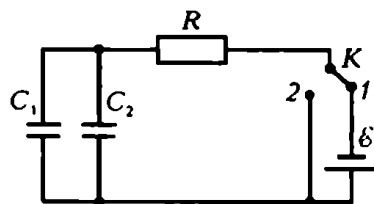


Рис. 109

3.107. Два конденсатора емкостями $C_1 = 5 \text{ мкФ}$ и $C_2 = 10 \text{ мкФ}$ соединены параллельно и через резистор R присоединены к источнику постоянного напряжения с ЭДС $\varepsilon = 60 \text{ В}$ (ключ K в положении 1 на рисунке 109). Какое количество теплоты выделится на резисторе при полном разряде конденсаторов, если ключ K перевести в положение 2? (4)

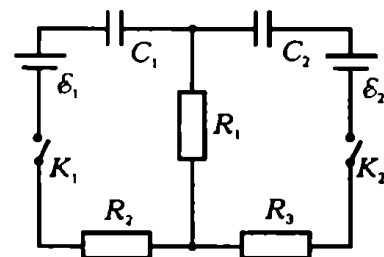


Рис. 110

3.108. Две батареи с ЭДС ε_1 и ε_2 включены в схему, параметры

которой указаны на рисунке 110, причем $R_1 = R_2 = R_3 = R$. В начальный момент времени ключи K_1 и K_2 разомкнуты, конденсаторы не заряжены. Ключи одновременно замыкают. 1) Найдите начальный ток через резистор сопротивлением R_1 . 2) Какое количество теплоты выделится во всей схеме после замыкания ключей? Внутренними сопротивлениями батарей пренебречь. (9)

3.109. Электрическая схема состоит из последовательно соединенных резистора сопротивлением $R = 10$ Ом, конденсатора и батареи с внутренним сопротивлением $r = 5$ Ом. Параллельно конденсатору подключили резистор сопротивлением $R_1 = 5$ Ом. Во сколько раз изменится энергия конденсатора к моменту, когда напряжение на нем станет постоянным? (4)

3.110. К источнику с ЭДС \mathcal{E} присоединены цепочка сопротивлений и конденсатор емкостью C согласно схеме, представленной на рисунке 111.

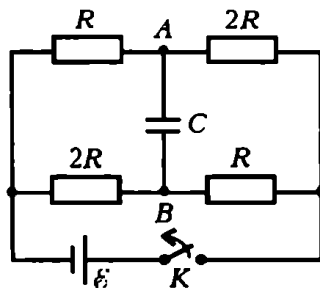


Рис. 111

Найдите энергию, которая выделится на сопротивлении $2R$, присоединенном к точке B , после отключения источника размыканием ключа K . (11)

3.111. При нагревании серебряного проводника сечением $S = 5 \cdot 10^{-2} \text{ мм}^2$ его сопротивление возросло на $\Delta R = 1,5 \cdot 10^{-2}$ Ом, а внутренняя энергия увеличилась на $\Delta W = 1,6$ Дж. Найдите температурный коэффициент сопротивления серебра. Плотность серебра $\rho = 10,5 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$, удельная теплоемкость $c = 235 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)}$, удельное сопротивление $\rho_c = 1,47 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$. (10)

3.112. Определите массу выделившейся на электроде меди, если затрачено $6 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$ электроэнергии. Напряжение на клеммах электролитической ванны 12 В . Электрохимический эквивалент меди $3,3 \cdot 10^{-7} \text{ кг/Кл}$. (8)

3.113. Вакуумный диод, у которого анод и катод представляют собой параллельные пластины, работает в режиме, когда между током I и напряжением U выполняется соотношение $I = AU^{3/2}$. Во сколько раз увеличится средняя сила, действующая на анод со стороны подлетающих к нему электронов, если напряжение на диоде увеличить в $n = 2$ раза? Начальной скоростью электронов, вылетающих с катода, можно пренебречь. Удары электронов об анод считайте неупругими. (4)

3.114. На некотором расстоянии от прямого длинного постоянного магнита находится могущая вращаться магнитная стрелка, которая показывает направление вдоль магнита. При разведении половинок разрезанного магнита стрелка меняет первоначальное направление на противоположное. Объясните явление. (11)

3.115. В однородном магнитном поле с индукцией $0,06 \text{ Тл}$ находится проводник, расположенный горизонтально. Линии индукции поля также горизонтальны и перпендикулярны проводнику. Какой ток должен протекать через проводник, чтобы он висел, не падая? Масса единицы длины проводника $0,03 \text{ кг/м}$. (1)

3.116. Жесткий замкнутый квадратный контур, изготовленный из проволоки с площадью поперечного сечения S и удельным сопротивлением ρ , помещен в однородное магнитное поле так, что вектор магнитной индукции \vec{B} перпендикулярен плоскости контура. Двумя вершинами, расположенными на одной из сторон квадрата, контур подключен к источнику постоянного напряжения U . 1) Найдите величины токов, текущих по каждой стороне квадрата, если длина стороны L . 2) Найдите величину и направление силы, действующей со стороны магнитного поля на контур с током. (7)

3.117. Квадратная рамка со стороной $a = 1 \text{ см}$ помещена в однородное магнитное поле с индукцией $B = 10 \text{ мТл}$ так, что две стороны рамки перпендикулярны линиям индукции поля, а нормаль к плоскости рамки образует с линиями индукции угол $\alpha = 30^\circ$. Ток в рамке $I = 0,1 \text{ А}$. 1) Найдите момент сил, действующих на рамку. 2) При каком положении относительно линий индукции рамка будет находиться в устойчивом состоянии? (13)

3.118. На горизонтальном столе удерживают прямоугольную массивную рамку с током. Ширина рамки b . Вдоль оси рамки на высоте h проходит провод с таким же по величине током (рис.112). Рамку отпускают, и она начинает скользить по столу. Опыт повторяют при различных значениях тока. Найдите максимально возможное начальное ускорение рамки, при котором ее движение начнется без отрыва части рамки от

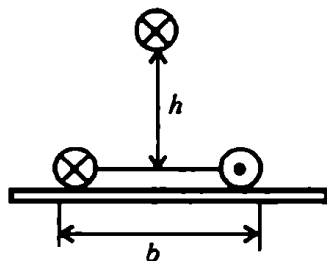


Рис. 112

стола. Коэффициент трения рамки о стол μ , ускорение свободного падения g . (11)

3.119. Протон и α -частица влетают в однородное магнитное поле перпендикулярно линиям поля. Во сколько раз угловая скорость α -частицы меньше угловой скорости протона? (1)

3.120. Электрон движется в однородном магнитном поле с индукцией 3 мТл со скоростью, равной $3,2 \cdot 10^6$ м/с и направленной перпендикулярно линиям индукции. Определите радиус (в мм) окружности, по которой движется электрон. Заряд электрона $1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл, его масса $9 \cdot 10^{-31}$ кг. (1)

3.121. Электрон, прошедший ускоряющую разность потенциалов $U = 500$ В, влетел в однородное магнитное поле с индукцией $B = 0,2$ Тл перпендикулярно линиям индукции и начал двигаться по окружности. Найдите радиус окружности. Масса электрона $m = 9,1 \cdot 10^{-31}$ кг, заряд $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл. (8)

3.122. Пройдя ускоряющую разность потенциалов $U = 3,52$ кВ, электрон влетает в однородное магнитное поле с индукцией $B = 0,01$ Тл перпендикулярно линиям индукции и движется по окружности радиусом $R = 2$ см. Вычислите отношение заряда электрона к его массе. (7)

3.123. Электрон влетает в однородное магнитное поле с индукцией $B = 0,2$ мТл перпендикулярно линиям магнитной индукции со скоростью $v = 10^7$ м/с. Каков радиус кривизны траектории электрона в поле? Чему равна работа силы, действующей на электрон? Масса электрона $m = 9,1 \cdot 10^{-31}$ кг, заряд электрона $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл. (3)

3.124. Электрон движется в однородном магнитном поле по окружности с периодом обращения $T_e = 1,1 \cdot 10^{-8}$ с. Каков будет период обращения по окружности протона в том же магнитном поле? Масса электрона $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31}$ кг, масса протона $m_p = 1,7 \cdot 10^{-27}$ кг. (4)

3.125. Частица массой $m = 1,05 \cdot 10^{-25}$ кг и зарядом $q = 3,2 \cdot 10^{-19}$ Кл влетает в однородное магнитное поле с индукцией $B = 2 \cdot 10^{-5}$ Тл перпендикулярно линиям магнитной индукции со скоростью $v = 5 \cdot 10^4$ м/с. Найдите изменение импульса частицы за время $t = 0,125$ с. (6)

3.126. Электрон влетает в однородное магнитное поле с индукцией B со скоростью v , направленной под углом φ к линиям магнитной индукции. Ширина области с полем равна l . Найдите изменение импульса электрона за время пролета через магнитное поле. (6)

3.127. Протон сначала ускоряется в электростатическом поле, проходя разность потенциалов $\varphi_1 - \varphi_2 = 800$ В, а затем движется

в постоянном магнитном поле. Найдите ускорение протона в точке, в которой магнитная индукция имеет модуль $B = 0,1$ Тл и составляет угол $\alpha = 30^\circ$ со скоростью протона. Отношение заряда протона к его массе считать равным $e/m = 10^8$ Кл/кг, начальная скорость протона равна нулю. (4)

3.128. Электрон влетает в однородное магнитное поле (рис.113). В точке A он имеет скорость \vec{v} , которая составляет с направлением поля угол α . При какой индукции магнитного поля электрон окажется в точке C , если $AC = L$? Заряд электрона e , его масса m . (12)

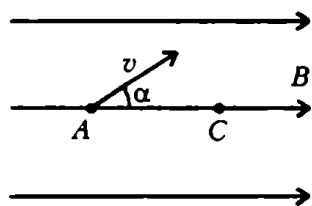


Рис. 113

3.129. Протон влетает со скоростью 60 км/с в пространство с электрическим и магнитным полями, линии которых совпадают по направлению, перпендикулярно к этим линиям. Определите напряженность электрического поля (в кВ/м), если индукция магнитного поля равна $0,1$ Тл, а начальное ускорение, вызванное действием этих полей, равно 10^{12} м/с². Отношение заряда протона к его массе принять равным 10^8 Кл/кг. (1)

3.130. Положительно заряженная частица движется в однородных взаимно перпендикулярных электрическом и магнитном полях. В некоторый момент времени скорость частицы перпендикулярна векторам \vec{E} и \vec{B} и равна v_0 (рис.114). Чему будет равна скорость этой частицы в те моменты, когда вектор ее скорости будет составлять 180° с вектором \vec{v}_0 , при условии, что $E = v_0 B$? Поле тяжести не учитывать. (9)

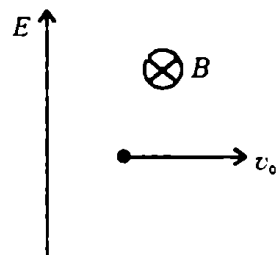


Рис. 114

3.131. Заряженная частица движется в однородных взаимно перпендикулярных электрическом и магнитном полях. В некоторый момент времени ее скорость \vec{v}_0 перпендикулярна \vec{E} и \vec{B} (см. рис.114), при этом выполняется соотношение $E/(v_0 B) \ll 1$. В те моменты времени, когда скорость частицы направлена противоположно \vec{v}_0 , отношение изменения кинетической энергии частицы к ее начальной кинетической энергии равно β . Определите отношение $E/(v_0 B)$. (9)

3.132. Частица с зарядом q и массой m налетает со скоростью v на неподвижную стенку перпендикулярно ее поверхности. В

этот момент включается однородное магнитное поле с индукцией \vec{B} , параллельное стенке и перпендикулярное скорости частицы. Стенка отражает частицу, увеличивая ее скорость при каждом отражении на величину u . Найдите расстояние между точками 1-го и k -го отражений. (11)

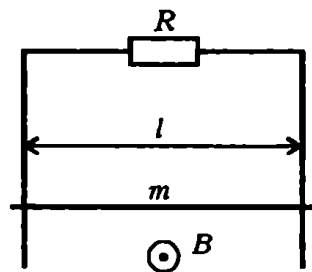


Рис. 115

3.133. В однородном горизонтальном магнитном поле с индукцией $B = 40$ мТл находятся вертикальные рейки, расположенные в плоскости, перпендикулярной линиям поля (рис.115). По рейкам, расстояние между которыми $l = 0,5$ м, без трения скользит проводник массой $m = 1$ г. Какой максимальной скорости достигнет проводник, если верхние концы реек замкнуты на резистор сопротивлением $R = 40$ мОм? (3)

3.134. В магнитном поле с индукцией, равной $B = 1$ Тл и направленной вертикально вниз, по горизонтальным рельсам равномерно движется проводящий стержень длиной $L = 0,4$ м со скоростью $v = 5$ м/с (рис.116). Концы рельсов присоединены к батарее с ЭДС $\mathcal{E} = 10,1$ В и внутренним сопротивлением $r = 0,1$ Ом. Какое количество теплоты выделится в стержне за время $t = 10$ с, если его сопротивление $R = 10$ Ом? Сопротивлением рельсов и соединительных проводов пренебречь. (4)

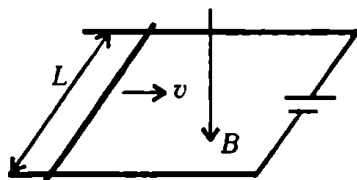


Рис. 116

3.135. Вдоль наклонной плоскости, образующей с горизонтом угол $\alpha = 30^\circ$, проложены рельсы, по которым может скользить проводящий стержень массой $m = 1$ кг. Какой минимальной величины ток нужно пропустить по стержню, чтобы он оставался в покое, если вся система находится в однородном магнитном поле с индукцией, равной $B = 0,2$ Тл и направленной вертикально? Коэффициент трения стержня о рельсы $\mu = 0,2$, расстояние между рельсами $l = 0,5$ м. (4)

3.136. В простейшей схеме магнитного гидродинамического генератора плоский конденсатор с площадью пластин S и расстоянием d между ними помещен в поток проводящей жидкости с удельным сопротивлением ρ , движущейся с постоянной скоростью v

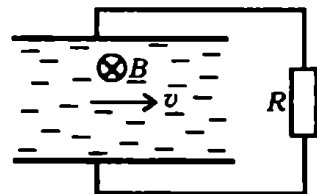


Рис. 117

параллельно пластинам (рис. 117). Конденсатор находится в магнитном поле с индукцией \vec{B} , направленной вдоль пластин и перпендикулярно скорости жидкости. Найдите полезную мощность, которая выделяется в виде тепла на внешней нагрузке, имеющей сопротивление R . (9)

3.137. В однородном магнитном поле с магнитной индукцией 1 мТл начинает падать проводник длиной 0,1 м и массой 10 г, скользящий без трения и без потери контакта по двум вертикальным параллельным шинам. Внизу шины замкнуты резистором сопротивлением 0,5 Ом, параллельно которому включен конденсатор емкостью 400 пФ. Определите максимальную энергию электрического поля, запасенную в конденсаторе. Сопротивлением шин и проводника пренебречь. Линии магнитной индукции перпендикулярны плоскости, в которой лежат шины. (3)

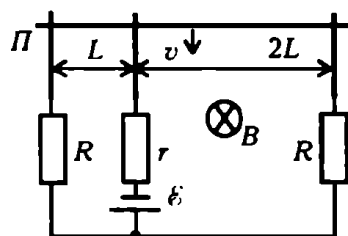


Рис. 118

3.138. Три одинаковые металлические параллельные шины, лежащие в одной плоскости, находятся в однородном магнитном поле с индукцией \vec{B} , перпендикулярной этой плоскости. Направление поля, расстояния между шинами, ЭДС батареи и сопротивления резисторов указаны на рисунке 118. По

шинам, перпендикулярно им, равномерно перемещают металлическую перемычку Π . Пренебрегая сопротивлением шин, перемычки и контактов, найдите скорость v движения перемычки, при которой ток в средней шине равен нулю. (4)

3.139. Неподвижная проволочная квадратная рамка (рис. 119) находится в однородном магнитном поле, линии индукции которого перпендикулярны плоскости рамки. По рамке скользит без нарушения электрического контакта проволочная перемычка PP' со скоростью \vec{v} ($\vec{v} \perp PP'$). В тот момент, когда перемычка пересекает центр квадрата, по ней течет ток силой I . Определите величину индукции магнитного поля. Рамка и перемычка выполнены из одного куска проволоки с удельным электрическим сопротивлением ρ и площадью поперечного сечения S . (9)

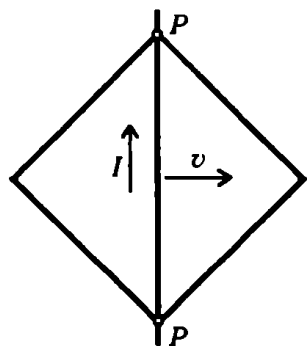


Рис. 119

Направление поля, расстояния между шинами, ЭДС батареи и сопротивления резисторов указаны на рисунке 118. По шинам, перпендикулярно им, равномерно перемещают металлическую перемычку Π . Пренебрегая сопротивлением шин, перемычки и контактов, найдите скорость v движения перемычки, при которой ток в средней шине равен нулю. (4)

3.140. На двух длинных гладких параллельных и горизонтально распо-

ложенных проводящих штангах лежит проводящая перемычка Π массой M (рис. 120). Расстояние между штангами l . Через резистор сопротивлением R и разомкнутый ключ K к штангам подключена батарея с некоторой постоянной ЭДС. Штанги расположены в области однородного магнитного поля

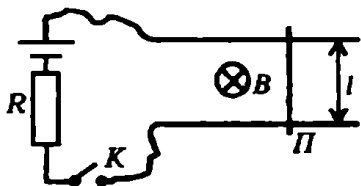


Рис. 120

с вертикально направленной индукцией B . Пренебрегая внутренним сопротивлением батареи, сопротивлением штанг и перемычки, определите ускорение перемычки сразу после замыкания ключа, если известно, что после замыкания максимальная установившаяся скорость, которую приобретает перемычка, равна v_0 . (9)

3.141. Между вертикальными проводящими рельсами, расположенными на расстоянии l друг от друга, последовательно включены конденсатор емкостью C и резистор сопротивлением R (рис. 121). Сверху рельсы замкнуты горизонтальной идеально проводящей планкой массой m . Перпендикулярно плоскости приложено однородное магнитное поле с индукцией \vec{B} . Планку толкают вниз, и она начинает скользить по рельсам без трения. При какой начальной скорости планки (v_0) в цепи будет течь постоянный ток? (11)

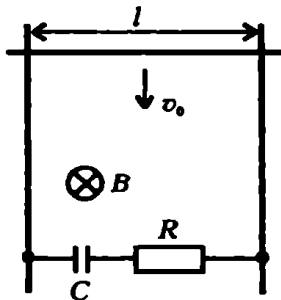


Рис. 121

3.142. Электрон движется по окружности в магнитном поле с индукцией

$B = 10$ мТл. Скорость электрона $v = 10^6$ м/с. Определите поток магнитной индукции через площадь, которую описывает электрон при своем движении, а также период вращения электрона. Масса электрона $m = 9,1 \cdot 10^{-31}$ кг, заряд $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл. (6)

3.143. Магнитный поток, пронизывающий контур проводника, равномерно изменился на 0,5 Вб так, что ЭДС индукции оказалась равной 1 В. Определите время изменения магнитного потока и силу индукционного тока, если сопротивление проводника 0,3 Ом. (8)

3.144. Плоский виток, площадь которого 10 см^2 , расположен перпендикулярно линиям индукции однородного магнитного поля. Найдите абсолютную величину ЭДС, возникающей в

витке, если индукция поля равномерно убывает от 0,7 Тл до 0,2 Тл за 10^{-4} с. (1)

3.145. Кольцо из сверхпроводника помещено в однородное магнитное поле, индукция которого нарастает от нуля до B_0 . Плоскость кольца перпендикулярна линиям индукции магнитного поля. Определите силу индукционного тока, возникающего в кольце. Радиус кольца r , индуктивность L . (12)

3.146. Какого максимального значения может достичь разность потенциалов (в мВ), возникающая между концами крыльев самолета при его движении со скоростью 450 км/ч, если размах крыльев 20 м? Горизонтальная составляющая индукции магнитного поля Земли 30 мкТл, вертикальная составляющая – 40 мкТл. (1)

3.147. Катящийся по горизонтальной дороге металлический обруч, радиусом $r = 50$ см, падает на землю. Определите заряд, который протечет по обручу, если сопротивление единицы длины обруча $R_0 = 1$ Ом/м. Учитывайте только вертикальную составляющую индукции магнитного поля Земли, равную $B = 5 \cdot 10^{-5}$ Тл. (2)

3.148. Проволочное кольцо радиусом $r = 0,1$ м лежит на столе. Какой заряд протечет по кольцу, если его перевернуть с одной стороны на другую? Сопротивление кольца $R = 1$ Ом, вертикальная составляющая индукции магнитного поля Земли $B = 0,5 \cdot 10^{-4}$ Тл. (4)

3.149. Неподвижный проводящий квадратный контур со стороной $a = 20$ см помещен в однородное магнитное поле, индукция которого составляет с плоскостью контура угол $\alpha = 30^\circ$, а ее величина возрастает по линейному закону от нуля до $B = 0,5$ Тл за некоторое время. Определите заряд, прошедший через контур за это время. Сопротивление контура $R = 1$ Ом. (7)

3.150. Из двух кусков тонкой медной и свинцовой проволоки, имеющих одинаковые длины и сечения, но различные сопротивления R_1 и R_2 , изготовлено кольцо радиусом r . Оно помещено в

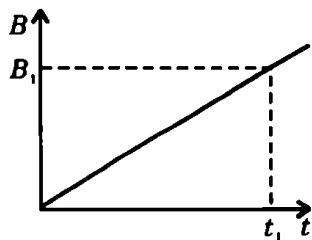


Рис. 122

однородное магнитное поле, индукция которого перпендикулярна плоскости кольца и изменяется во времени с постоянной скоростью $\Delta B/\Delta t$. Определите разность потенциалов между точками соединения разнородных проволок. (4)

3.151. Проволочное кольцо диаметром $d = 10$ см находится в однород-

ном магнитном поле. Линии индукции магнитного поля перпендикулярны плоскости кольца. Индукция магнитного поля изменяется по линейному закону, приведенному на рисунке 122, достигая значения $B_1 = 0,8$ Тл за время $t_1 = 4$ с. Какое количество теплоты выделится в кольце за это время? Сопротивление кольца $R = 10$ Ом. (4)

3.152. Из двух одинаковых кусков проволоки изготовлены два контура – круглый и квадратный. Оба контура помещены в одной плоскости в однородное магнитное поле, изменяющееся со временем. В круговом контуре индуцируется постоянный ток $I_1 = 0,4$ А. Найдите величину тока в квадратном контуре. (7)

3.153. Катушка диаметром $D = 5$ см, содержащая $N = 1000$ витков, помещена в однородное магнитное поле, параллельное ее оси. Индукция поля равномерно нарастает со скоростью $\Delta B/\Delta t = 0,1$ мТл/с. К концам катушки подключен конденсатор емкостью $C = 10$ мкФ. Определите заряд на конденсаторе. (2)

3.154. При равномерном изменении силы тока через проводочную катушку за время $\Delta t = 0,05$ с в ней возникает ЭДС самоиндукции $\mathcal{E} = 10$ В. Катушка содержит $N = 1000$ витков. Какой заряд протечет за это время через замкнутый проводочный виток, надетый на катушку? Сопротивление витка $R = 0,2$ Ом. (4)

3.155. Квадратную проводочную рамку со стороной a и сопротивлением R протягивают с постоянной скоростью v через зазор электромагнита

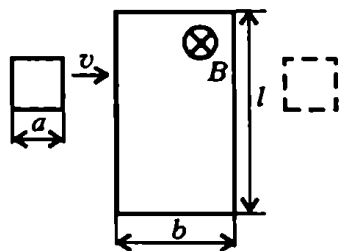


Рис. 123

(рис.123). Магнитное поле в зазоре однородно, и его индукция равна B и перпендикулярна плоскости рамки. Пренебрегая краевыми эффектами, определите, какое количество теплоты выделится в рамке. Сторона рамки a меньше и продольного размера зазора b , и его поперечного размера l . (9)

3.156. При равномерном изменении силы тока через катушку в ней возникает ЭДС самоиндукции $\mathcal{E} = 5$ В. Катушка имеет $N = 500$ витков. Какая мощность будет выделяться при этом в замкнутом проводочном витке, надетом на катушку? Сопротивление витка $R = 0,2$ Ом. (4)

3.157. Тонкий металлический стержень длиной $l = 1200$ мм вращается в однородном магнитном поле вокруг перпендикулярной к стержню оси, проходящей через стержень и отстоящей от одного из его концов на $l_1 = 250$ мм. Скорость вращения стержня $n = 120$ об/мин. Вектор магнитной индукции параллелен оси

вращения и имеет величину $B = 1$ мТл. Найдите разность потенциалов, возникающую между концами стержня. (12)

3.158. Кольцо прямоугольного сечения сделано из однородного плохо проводящего материала с удельным сопротивлением ρ . Кольцо помещено в область с однородным магнитным полем, перпендикулярным плоскости кольца, причем индукция поля линейно возрастает со временем по закону $B = At$ ($A = \text{const}$). Найдите зависимость плотности индукционного тока от расстояния R до оси кольца. (4)

3.159. На гладкой горизонтальной поверхности расположено тонкое непроводящее кольцо массой m , вдоль которого равномерно распределен заряд Q . Кольцо находится во внешнем однородном магнитном поле с индукцией, равной B_0 и направленной перпендикулярно плоскости кольца. Внешнее магнитное

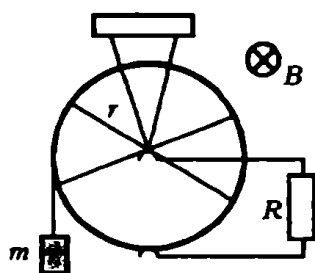


Рис. 124

поле выключают. 1) По какой причине (укажите механизм) кольцо начнет вращаться? 2) Найдите угловую скорость вращения кольца после выключения магнитного поля. (9)

3.160. Медное кольцо радиусом r соединено проводящими спицами с центром (рис. 124). Через скользящие контакты к кольцу подключен резистор сопротивлением R . На кольцо намотана невесомая нить, к концу которой прикреплен груз массой m . Пренебрегая трением, определите установившуюся скорость груза, если кольцо пронизывается внешним магнитным полем, индукция B которого перпендикулярна плоскости кольца. (4)

3.161. На горизонтальный вал электрогенератора, нагруженного на резистор, намотана нить, к свободному концу которой прикреплен груз массой m_1 . При установившемся движении груза напряжение на резисторе равно U_1 . Какое напряжение установится на этом же резисторе, если к нити прикрепить груз массой m_2 вместо m_1 ? Сопротивлением обмоток генератора и силами трения пренебречь. Индуктор генератора изготовлен из постоянного магнита. (4)

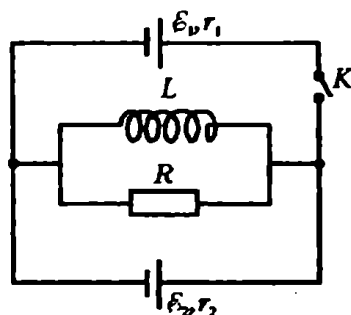


Рис. 125

3.162. В схеме, изображенной на рисунке 125, в начальный момент ключ K разомкнут, а в замкну-

том контуре схемы течет установившийся ток. Определите величину и направление тока через резистор сразу после замыкания ключа K . Параметры схемы: ЭДС первой батареи $\mathcal{E}_1 = 10$ В, внутреннее сопротивление $r_1 = 5$ Ом, внутреннее сопротивление второй батареи $r_2 = 20$ Ом, сопротивление резистора $R = 4$ Ом. (9)

3.163. В электрической схеме, показанной на рисунке 126, в начальный момент ключ K замкнут. После размыкания ключа на резисторе сопротивлением R_1 выделяется количество теплоты Q_1 . Какое количество теплоты выделится на резисторе сопротивлением R_2 ? Чему равна ЭДС батареи? Сопротивления R_1 , R_2 , R_3 и индуктивность катушки L считать заданными. (9)

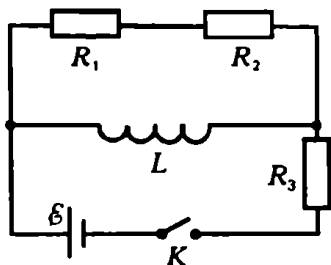


Рис. 126

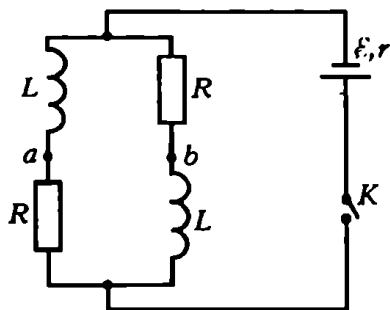


Рис. 127

3.164. В электрической цепи, состоящей из резисторов сопротивлением R , катушек индуктивностью L и источника с ЭДС \mathcal{E} и внутренним сопротивлением r (рис.127), в начальный момент времени замыкают ключ K . а) Найдите минимальное и максимальное напряжения между точками a и b при $r = 0$. б) Найдите минимальное и максимальное напряжения между точками a и b при $r \neq 0$. (14)

ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ ОПТИКА

4.1. Оцените, во сколько раз освещенность на дне пустого колодца в пасмурный день меньше, чем на поверхности Земли. (11)

4.2. Человек стоит перед плоским зеркалом, укрепленным на вертикальной стене. Какова должна быть минимальная высота зеркала (в см), чтобы человек мог видеть себя в полный рост? Рост человека 170 см. (1)

4.3. Солнечный луч, проходящий через отверстие в ставне, составляет с поверхностью стола угол 48° . Под каким углом (в градусах) к поверхности стола нужно расположить плоское зеркало, чтобы отраженный от него луч распространялся в том же направлении, но горизонтально? (Ответ дать для острого угла.) (1)

4.4. На стене в комнате висит плоское зеркало в форме ромба с диагоналями 16 см и 12 см. Лампочка висит на расстояниях $l_1 = 2$ м от стены с зеркалом и $l_2 = 1$ м от противоположной стены. Нить накала лампочки можно считать точечным источником света. 1) На каком расстоянии от противоположной стены находится изображение нити накала лампочки в зеркале? 2) Найдите форму и размеры «зайчика», полученного от зеркала на противоположной стене. (9)

4.5. Человек приближается к плоскому зеркалу по прямой, образующей угол $\alpha = 30^\circ$ с плоскостью зеркала, со скоростью $v = 1$ м/с (рис.153). Определите скорость движения изображения человека в зеркале относительно человека. (4)

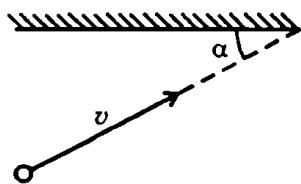


Рис. 153

4.6. Высота Солнца над горизонтом составляет угол $\varphi = 10^\circ$. Пользуясь зеркалом, пускают «зайчик» в водоем. Под каким углом к горизонту нужно расположить зеркало, чтобы луч света шел в воде под углом $\alpha = 41^\circ$ к вертикали ($\sin \alpha \approx 0,655$)? Показатель преломления

воды $n = 1,32$. Считайте, что нормаль к зеркалу лежит в вертикальной плоскости. (4)

4.7. Луч света, направленный в точку A по биссектрисе прямого угла, образованного двумя плоскими зеркалами, проходит сначала сквозь плоскопараллельную стеклянную пластинку толщиной d с показателем преломления n , расположенную параллельно одному из зеркал (рис.154). После этого, отразившись от обоих зеркал, луч снова проходит через пластинку и выходит из нее в точке B . Найдите расстояние AB . (11)

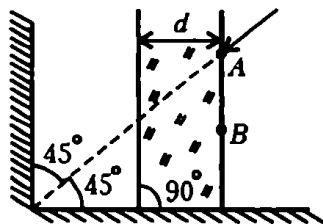


Рис. 154

4.8. В плоскую кювету с жидкостью опускают пробирку, в которой находится металлическое колечко. При освещении системы в ее изображении на экране колечка в пробирке практически не видно. В пробирку наливают ту же жидкость, что была в кювете. При этом на экране появляется отчетливое изображение колечка. Объясните явление. (11)

4.9. В боковой стенке сосуда, наполненного жидкостью с показателем преломления n , проделано небольшое отверстие радиусом r , через которое вытекает струя. По оси отверстия горизонтально направлен тонкий луч света. При какой высоте уровня жидкости над отверстием луч света сможет выйти из струи, ни разу не испытав полного внутреннего отражения? Считать показатель преломления n достаточно большим, изменением поперечного сечения струи пренебречь. (12)

4.10. Из некоторой жидкости на границу ее раздела с вакуумом падает луч света. Угол падения равен 30° . Отраженный и преломленный лучи перпендикулярны друг другу. Найдите показатель преломления жидкости. (8)

4.11. Пучок параллельных световых лучей падает по нормали на плоскую грань стеклянной призмы с показателем преломления n и выходит из призмы под углом θ к первоначальному направлению падения. Угол α при вершине призмы так мал, что $\sin \alpha \approx \tan \alpha \approx \alpha$. Найдите этот малый угол. (11)

4.12. Под каким углом должен упасть луч света на стекло, чтобы преломленный луч оказался перпендикулярным отраженному? Показатель преломления стекла 1,6. (8)

4.13. Луч света падает на поверхность воды под углом $\alpha_1 = 30^\circ$. Под каким углом луч должен упасть на поверхность стекла с показателем преломления $n_2 = 1,8$, чтобы угол преломления оказался таким же? Показатель преломления воды $n_1 = 1,33$. (8)

4.14. В прозрачный цилиндрический сосуд с водой опущен вертикальный непрозрачный цилиндр. Его обводят по окружности так, что поверхность цилиндра касается стенки сосуда. В некоторый момент обводки кажется, что цилиндр «заполнил» весь сосуд. Объясните явление. (11)

4.15. Наблюдатель, перемещаясь по вертикали, определяет углы, образованные с вертикалью лучами, исходящими от малого объекта, находящегося на дне озера. На высотах h_1 и h_2 от уровня воды в озере он определил углы α_1 и α_2 соответственно. Какова глубина озера? Показатель преломления воды n . (4)

4.16. На дне водоема глубиной $H = 1,2$ м находится точечный источник света. Найдите наибольшее расстояние от источника до того места на поверхности воды, где лучи выходят за пределы воды. Показатель преломления воды $n = 1,33$. (4)

4.17. Пучок параллельных лучей падает из воздуха на поверхность воды под углом $\alpha = 60^\circ$. Ширина пучка в воздухе $d = 10$ см, показатель преломления воды $n = 4/3$. 1) Определите ширину пучка в воде. 2) Что произойдет с преломленным пучком, если на воду налить слой прозрачного масла? (13)

4.18. В водоем на некоторую глубину помещают источник белого света. Показатель преломления воды для красных лучей $n_1 = 1,328$, для фиолетовых $n_2 = 1,335$. Вычислите отношение радиусов кругов, в пределах которых возможен выход красных и фиолетовых лучей в воздух. (12)

4.19. Луч света падает под углом $\alpha = 30^\circ$ на плоскопараллельную пластину и выходит из нее параллельно первоначальному лучу. Какова толщина пластины, если расстояние между лучами $d = 1,94$ см? Показатель преломления стекла $n = 1,5$. (8)

4.20. Сечение стеклянной призмы имеет форму равностороннего треугольника. Луч падает на одну из граней перпендикулярно к ней. Вычислите угол между этим лучом и лучом, вышедшим из призмы. Показатель преломления стекла $n = 1,5$. (7)

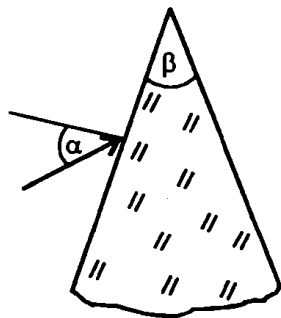


Рис. 155

4.21. Луч света, идущий в плоскости рисунка 155, падает на переднюю грань стеклянного клина с углом $\beta = 45^\circ$ между гранями. При каких значениях угла падения (α) луч выйдет через вторую грань клина? Показатель преломления стекла $n = \sqrt{2}$. (4)

4.22. Луч света падает нормально на переднюю грань призмы, как показано на рисунке 156. Преломляющий угол при-

змы $\alpha = 30^\circ$. Каким должен быть показатель преломления материала призмы, для того чтобы угол отклонения луча призмой был равен α ? (4)

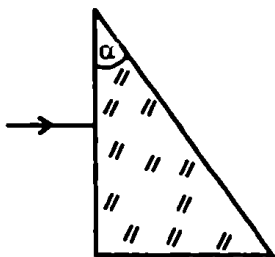


Рис. 156

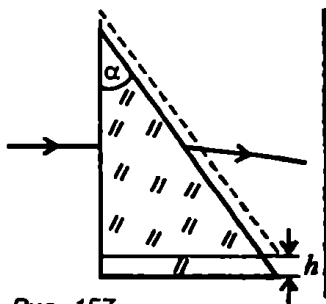


Рис. 157

4.23. Узкий пучок световых лучей падает на стеклянный клин перпендикулярно его передней грани, расположенной вертикально (рис.157). Пройдя клин, пучок попадает на вертикальный экран. На какое расстояние сместится световое пятно на экране, если сдвинуть клин вверх на $h = 5$ см? Показатель преломления материала клина $n = 1,5$, угол при его вершине $\alpha = 5,7^\circ$. При расчетах положить $\operatorname{tg} \alpha \approx \sin \alpha \approx \alpha$. (4)

4.24. Поверхность озера глубиной $H = 1,3$ м покрыта тонким слоем льда со снегом, практически не пропускающим свет. Найдите площадь светлого пятна на дне озера от полыньи в форме круга радиусом $R = 2$ м. Озеро освещается рассеянным светом. Показатель преломления воды $n = 4/3$. (9)

4.25. На поверхности прозрачной жидкости в сосуде с вертикальными стенками плавает тонкий кружок диаметром d . Найдите высоту тени на боковой стенке сосуда, если поверхность жидкости освещается пучком параллельных лучей света, падающих под углом $\alpha = 45^\circ$. Показатель преломления жидкости $n = 1,41$. (4)

4.26. Тонкий параллельный пучок света падает на вертикальную стенку стеклянной кюветы, заполненной прозрачной жидкостью, и попадает в жидкость. Чему равен показатель преломления жидкости, если при любых углах падения свет испытывает полное отражение на верхней границе жидкости? (4)

4.27. Световод представляет собой цилиндрическое волокно диаметром $d = 2$ мм, изготовленное из прозрачного материала с показателем преломления $n = 1,4$. При каком минимальном радиусе изгиба световода r свет, во-

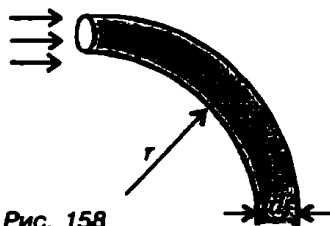


Рис. 158

шедший в световод перпендикулярно плоскости поперечного сечения, распространяется в световоде, не выходя через боковую поверхность (рис.158)? (4)

4.28. В широкий тонкостенный стакан налито немного чистой воды, а в более узкий налита подкрашенная жидкость. Узкий стакан опускают соосно в широкий, после чего видно, что цвет воды в широком стакане становится таким же, как и в узком. Затем стакан с подкрашенной жидкостью вынимают, и вода в широком сосуде принимает свой естественный вид. Объясните явление. (11)

4.29. Плоскопараллельная пластинка из стекла с показателем преломления n и толщиной d вставлена в перпендикулярный ей экран (рис.159). В плоскости, перпендикулярной экрану, на пластинку под углом α к нормали падает тонкий луч света в точку, находящуюся на расстоянии l от экрана. На нем по обе стороны от пластинки видна система светящихся точек. Найдите расстояние между соседними точками, а также между самыми дальними из них. (11)

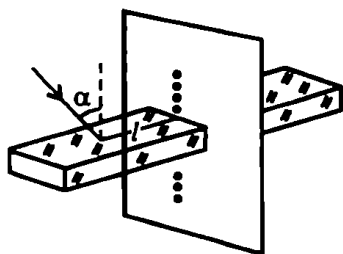


Рис. 159

4.30. Свет распространяется в неоднородной среде с показателем преломления n , который зависит от высоты $z > 0$ по закону $n = n_0 / (1 + bz/n_0)$, где n_0 и b – заданные константы. Для луча света, испущенного под углом θ к горизонту с поверхности земли, найдите: а) под каким углом свет распространяется на высоте z ; б) радиус дуги окружности, по которой распространяется свет. Угол θ не слишком большой, так что n все время остается больше 1. (14)

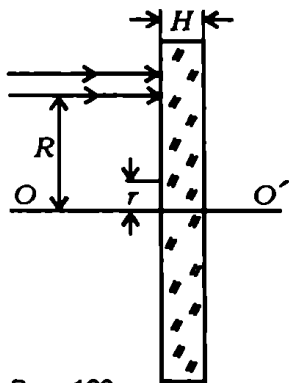


Рис. 160

4.31. Показатель преломления некоторой плоской среды имеет такую зависимость от координаты y : при $y < 0$ $n = n_0$ ($n_0 = 1,4$); при $0 < y < H$ $n(y) = n_0 - ky$, где k – константа ($k = 0,2$ м, $H = 2$ м); при $y > H$ $n = 1$. На плоскость $y = 0$ падает узкий пучок света под углом падения $\alpha = 60^\circ$. На какую максимальную глубину сможет проникнуть световой луч? (9)

4.32. На стеклянную плоскопараллельную пластинку толщиной $H = 3$ мм падает узкий пучок монохроматического света

(рис.160.). Пучок параллелен оси OO' , которая перпендикулярна к пластинке и проходит через ее центр. Расстояние между пучком и осью $R = 3$ см. Показатель преломления стекла для падающего на пластинку света изменяется в зависимости от расстояния r до оси OO' по закону $n(r) = n_0(1 - (r/r_0)^2)$, где $n_0 = 1,5$ и $r_0 = 9$ см – константы. Определите угол между выходящим пучком и осью OO' . (9)

4.33. Из шара радиусом $R = 4$ см, изготовленного из стекла с показателем преломления $n = 1,4$, вырезан сегмент, на плоскую границу которого нормально падает из воздуха параллельный пучок света. Определите диаметр основания сегмента, если полного внутреннего отражения света не наблюдается. (6)

4.34. Шар радиусом R из стекла с показателем преломления n разрезан по диаметру. На диаметральную плоскость одной из половин шара нормально падает параллельный пучок света. На каком расстоянии от центра шара пересекут главную оптическую ось лучи, прошедшие сферическую поверхность на наибольшем удалении от этой оси? (4)

4.35. Луч света падает перпендикулярно на плоскую поверхность половины оптически прозрачного шара (рис.161). Радиус шара R , расстояние от луча до оси OO' , проходящей через центр шара O , равно $a = 0,6 R$, показатель преломления материала шара $n = 4/3$. Найдите расстояние от точки O до точки A пересечения луча, преломленного на сферической поверхности, с осью OO' . (9)

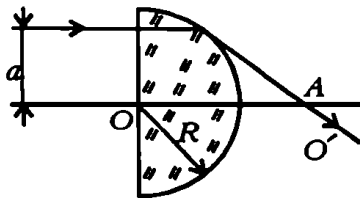


Рис. 161

4.36. Один торец стеклянной однородной палочки представляет собой плоскость, перпендикулярную ее оси, а другой – часть сферы, центр которой лежит на этой оси. Тонкий параллельный пучок света, идущий вдоль оси палочки со стороны плоского торца, фокусируется на расстоянии a_1 от сферического торца, а идущий со стороны сферического торца – на расстоянии a_2 от него внутри палочки. Определите показатель преломления стекла. (4)

4.37. На каком расстоянии (в см) от выпуклой линзы с фокусным расстоянием 32 см следует поместить предмет, чтобы получить действительное изображение, увеличенное в 4 раза? (1)

4.38. Фокусное расстояние собирающей линзы равно 20 см. Найдите расстояние (в см) от предмета до переднего фокуса линзы, если экран, на котором получается четкое изображение

предмета, расположен на расстоянии 10 см от заднего фокуса линзы. (1)

4.39. При каком расположении прямого предмета, перпендикулярного главной оптической оси, относительно собирающей линзы его изображение в этой линзе будет уменьшенным? (5)

4.40. Расстояние между предметом и экраном $L = 1$ м. На каком расстоянии от экрана надо расположить линзу с фокусным расстоянием $F = 90$ мм, чтобы на экране наблюдалось четкое изображение предмета? (10)

4.41. Расстояние между предметом и его изображением, полученным при помощи линзы, равно $L = 25$ см. Найдите оптическую силу линзы, если изображение прямое и увеличенное в $\Gamma = 2$ раза. (4)

4.42. Найдите фокусное расстояние собирающей линзы, если при изменении расстояния $d = 0,3$ м от предмета до линзы на $\Delta d = 0,1$ м расстояние от линзы до действительного изображения предмета увеличивается вдвое. (4)

4.43. Расстояние между предметом, находящимся на оптической оси линзы, и его действительным изображением равно $l = 6,25 F$, где F – фокусное расстояние линзы. 1) Найдите расстояние от предмета до линзы и от линзы до изображения. 2) Как объяснить наличие двух решений? (13)

4.44. Параллельный пучок света освещает предмет. На экране видно изображение его тени, полученное с помощью линзы. Если поместить между предметом и линзой матовое стекло непосредственно вблизи предмета, то изображение на экране сохраняется. Если же матовое стекло приближать к линзе, то изображение постепенно расплывается и затем исчезает. Объясните явление. (11)

4.45. Луч лазера пересекает главную оптическую ось собирающей линзы с фокусным расстоянием $F = 10$ см на расстоянии $a = 5$ см от линзы под углом $\alpha = 10^\circ$. Определите угол между преломленным лучом и главной оптической осью. (6)

4.46. С помощью линзы с фокусным расстоянием $F = 20$ см на экране получено изображение предмета с увеличением $\Gamma = 2$. Чему равно расстояние между предметом и экраном? (4)

4.47. В светонепроницаемой стенке имеется отверстие диаметром D , в которое вставлена собирающая линза. Параллельный пучок света, падающий перпендикулярно стенке, проходит через линзу и создает на экране световое пятно радиусом $2D$. Каким будет размер пятна, если расстояние от стенки до экрана увеличить вдвое? (11)

4.48. Точечный источник света находится на главной оптичес-

кой оси тонкой рассеивающей линзы на расстоянии $d = 0,12$ м от нее. Луч, выходящий из источника под углом $\alpha = 4^\circ$, падает на линзу и выходит из нее под углом $\beta = 8^\circ$ к главной оптической оси. Постройте ход луча и вычислите фокусное расстояние линзы. (7)

4.49. Расстояние от предмета до переднего фокуса линзы в $n = 4$ раза меньше расстояния от действительного изображения до заднего фокуса. Постройте ход лучей и вычислите, с каким увеличением изображается предмет. (7)

4.50. Какова оптическая сила линзы, с помощью которой можно получить увеличенное или уменьшенное изображение предмета на экране, находящемся от него на расстоянии $L = 0,9$ м, если отношение размеров получаемых изображений $\alpha = 4$? (4)

4.51. Светящаяся нить лампы имеет форму отрезка длиной $\Delta = 1$ см и расположена вдоль главной оптической оси линзы с фокусным расстоянием $F = 5$ см так, что ближний к линзе конец нити находится в ее фокусе (рис. 162). На расстоянии l от линзы перпендикулярно ее главной оптической оси расположен экран. Построив ход лучей в линзе, определите, при каком значении l размер пятна на экране превысит диаметр линзы. (4)

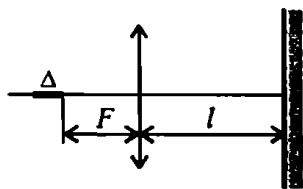


Рис. 162

4.52. На каком расстоянии от тонкой собирающей линзы надо поместить предмет перпендикулярно главной оптической оси, чтобы получить действительное изображение, увеличенное в $\Gamma = 3$ раза? Фокусное расстояние линзы $F = 5$ см. (2)

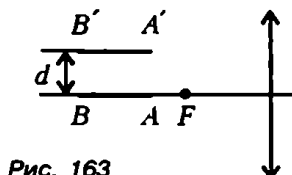


Рис. 163

4.53. Отрезок AB , лежащий на главной оптической оси линзы за ее фокусом F , сместили параллельно самому себе и перпендикулярно оптической оси в положение $A'B'$, как показано на рисунке 163. Чему равна величина смещения (d), если длина изображения отрезка $A'B'$ больше длины изображения отрезка AB в $k = 2$ раза? Фокусное расстояние линзы $F = 3$ см. (4)

4.54. На рисунке 164 представлены светящаяся точка S и ее изображение S_1 , даваемое линзой, главная оптическая ось которой — прямая OO_1 . Расстояния от точек S и S_1 до оптической оси равны, соответственно, $a = 20$ см и $b = 30$ см, расстояние

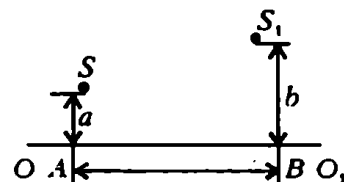


Рис. 164

между точками A и B равно $s = 15$ см. Найдите фокусное расстояние линзы. (4)

4.55. Расстояние между предметом и его прямым изображением, создаваемым тонкой линзой с поперечным увеличением $\Gamma = 0,2$, равно $L = 32$ см. Постройте ход лучей и определите величину оптической силы линзы. (7)

4.56. В фокальной плоскости тонкой рассеивающей линзы на расстоянии $h = 2$ см от ее главной оптической оси расположен точечный источник света S (рис. 165). Угол между двумя лучами, один из которых параллелен главной оптической оси, равен $\alpha = 0,08$. 1) Найдите угол β между этими лучами после преломления в линзе. 2) На каких расстояниях от линзы и от главной оптической оси получится изображение источника? Фокусное расстояние линзы $F = 20$ см. Считать, что углы α и β малы и $h \ll F$. (9)

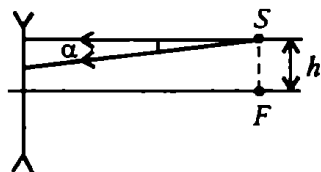


Рис. 165

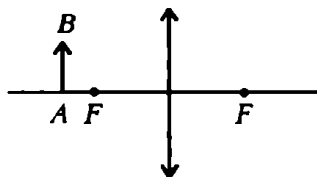


Рис. 166

4.57. Постройте изображение предмета AB в собирающей линзе (рис. 166) и определите, действительное оно или мнимое, прямое или перевернутое. (5)

4.58. Предмет и его прямое изображение, создаваемое тонкой собирающей линзой, расположены симметрично относительно фокуса линзы. Расстояние от предмета до фокуса линзы $b = 4$ см. Постройте ход лучей и вычислите фокусное расстояние линзы. (7)

4.59. Предмет расположен на расстоянии $A + 2F$ от собирающей линзы, а его изображение – на расстоянии $2F - B$ от нее. Постройте ход лучей, формирующих изображение, и, опираясь на рисунок, докажете, что фокусное расстояние F линзы связано с величинами A и B формулой $F = AB / (A - B)$. (7)

4.60. 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? (6)

4.61. Луч лазера проходит через прямоугольный сосуд, заполненный водой, и создает светящееся пятно на экране, которое при вращениях сосуда смещается. Объясните, почему

пятно перестает смещаться, если между сосудом и экраном на определенном расстоянии поместить линзу. (11)

4.62. Когда предмет находился в точке A , тонкая собирающая линза давала увеличение $\Gamma_1 = 2$, а когда предмет переместили в точку B , увеличение стало $\Gamma_2 = 3$. Каким будет увеличение, если предмет поместить в середину отрезка AB ? Предмет расположен перпендикулярно главной оптической оси линзы, изображение действительное. (2)

4.63. С помощью стекла от очков солнечный свет сфокусировали в пятно радиусом 1 мм. Оцените, на сколько нужно сместить вдоль оси стекло, чтобы радиус пятна вырос вдвое. (11)

4.64. Найдите построением ход луча 2 после тонкой рассеивающей линзы, если известен ход луча 1 (рис.167). Построение поясните; OO' – главная оптическая ось линзы. (2)

4.65. Рассматривая предмет в собирающую линзу и располагая его на расстоянии $d = 4$ см от нее, получают мнимое изображение, в $\Gamma = 5$ раз большее самого предмета. Постройте ход лучей, формирующих изображение, и вычислите оптическую силу линзы. (7)

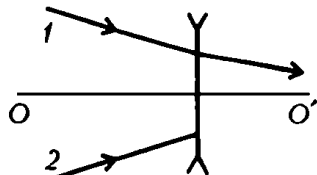


Рис. 167

4.66. На главной оптической оси линзы с фокусным расстоянием $F = 10$ см лежит спичка. Линза создает действительное изображение спички с увеличением $\Gamma_1 = 25/3$. Если спичку повернуть на 90° вокруг ее середины, то она будет изображаться с увеличением $\Gamma_2 = 2,5$. Определите длину спички. (9)

4.67. На каком расстоянии от линзы с фокусным расстоянием $F = 20$ см находится предмет, если его прямое мнимое изображение находится на расстоянии $f = 55$ см от линзы? Постройте график зависимости мнимого увеличения собирающей линзы от расстояния от предмета до линзы. (6)

4.68. Светящаяся точка находится на главной оптической оси собирающей линзы на расстоянии $d = 30$ см от нее. Если эту точку сдвинуть на расстояние $l = 2$ см в направлении, перпендикулярном главной оптической оси, то ее действительное изображение сместится на $L = 10$ см. Найдите фокусное расстояние линзы. (4)

4.69. Линза создает изображение прямоугольного треугольника, катет AB которого лежит на главной оптической оси (рис.168). Площадь изображения треугольника в 9 раз меньше площади

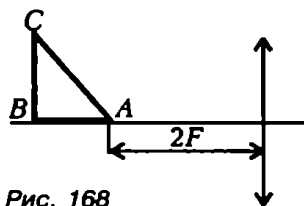


Рис. 168

самого треугольника. С каким увеличением изображается катет BC , если точка A лежит на двойном фокусном расстоянии от линзы? (9)

4.70. Трапеция $ABCD$ расположена так, что ее параллельные стороны перпендикулярны главной оптической оси тонкой линзы (рис. 169). Линза создает действительное изображение трапеции в виде прямоугольника. Если повернуть трапецию на 180°

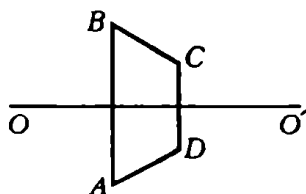


Рис. 169

вокруг стороны AB , то линза создает ее изображение в виде трапеции с теми же самыми углами. С каким увеличением изображается сторона AB ? (9)

4.71. Тонкая собирающая линза вставлена в отверстие радиусом $R = 2,5$ см в тонкой непрозрачной ширме. Точечный источник света расположен на расстоянии $d = 15$ см от линзы на ее главной оптической оси. Экран, находящийся по другую сторону ширмы, чем источник, отодвигают от линзы. В результате радиус светлого пятна на экране плавно уменьшается и на расстоянии $L = 12$ см от линзы становится равным $r = 1,5$ см. 1) На каком расстоянии от линзы надо поместить экран, чтобы получить четкое изображение источника? 2) Найдите фокусное расстояние линзы. (9)

4.72. Муха летит параллельно главной оптической оси тонкой собирающей линзы с фокусным расстоянием $F = 0,2$ м со скоростью $v = 0,6$ м/с по направлению к линзе. В момент $t_0 = 0$ расстояние от мухи до плоскости линзы равно $d = 2,5$ м. Постройте ход лучей, формирующих изображение мухи, и определите расстояние от плоскости линзы до изображения мухи через время $t = 4$ с. (7)

4.73. Светящаяся точка приближается к собирающей линзе вдоль ее главной оптической оси с постоянной скоростью $v = 2$ см/с. Какова средняя скорость движения изображения точки на участке пути между двумя его положениями, удаленными от линзы на $f_1 = 2F$ и $f_2 = 4F$? Здесь F – фокусное расстояние линзы. (4)

4.74. Точка движется по окружности с постоянной по модулю скоростью $v = 0,2$ м/с вокруг главной оптической оси собирающей линзы в плоскости, перпендикулярной оси и находящейся от линзы на расстоянии, в 1,5 раза большем фокусного. Центр окружности лежит на главной оптической оси линзы. С какой линейной скоростью движется изображение точки? (12)

4.75. Грузик на пружинке совершает вертикальные гармони-

ческие колебания. С помощью собирающей линзы получено четкое изображение грузика на экране, находящемся на расстоянии $L = 0,5$ м от линзы. Амплитуда колебаний изображения $A = 0,1$ м, максимальная скорость изображения $V_m = 1$ м/с. Определите период колебаний и максимальную скорость движения самого грузика. Оптическая сила линзы $D = 5$ дптр. (7)

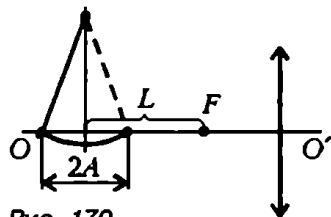


Рис. 170

4.76. Математический маятник раскачивается с амплитудой $A = 1$ см в плоскости рисунка 170. Равновесное положение нити маятника находится на расстоянии $L = \sqrt{5}$ см от переднего фокуса тонкой положительной линзы. Расстояние между изображениями маятника, лежащими на главной оптической оси линзы, равно $l = 2$ см. Найдите фокусное расстояние линзы. (9)

4.77. Маленький воздушный пузырек всплывает по оси прямоугольного сосуда (рис.171), заполненного прозрачной жидкостью с показателем преломления $n = 1,4$. С помощью собирающей линзы с фокусным расстоянием $F = 24$ см его изображение наблюдают на экране Э. Скорость перемещения изображения пузырька на экране в момент пересечения главной оптической оси линзы равна $v = 80$ см/с. Определите скорость пузырька. Линейные размеры: $l = 56$ см, $L = 10$ см. (9)

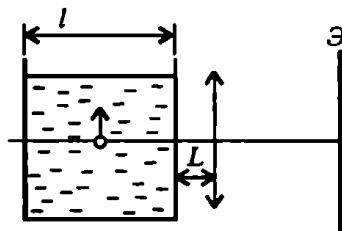


Рис. 171

4.78. Собирающая линза дает на экране, перпендикулярном ее главной оптической оси, резкое изображение предмета с увеличением $\Gamma = 4$. Линзу сдвигают перпендикулярно оптической оси на $h = 1$ мм. Какова будет величина смещения изображения на экране? (4)

4.79. Узкий световой пучок падает на рассеивающую линзу с фокусным расстоянием $F = 20$ см параллельно ее главной оптической оси. Пройдя линзу, пучок попадает на экран, расположенный на расстоянии $l = 30$ см от линзы перпендикулярно ее главной оптической оси. На какое расстояние сместится световое пятно на экране, если сдвинуть линзу перпендикулярно ее оси на $h = 2$ мм? (4)

4.80. Точечный источник света S расположен на расстоянии $d = 40$ см от собирающей линзы на ее главной оптической оси. Оптическая сила линзы $D = 5$ дптр. При повороте линзы на

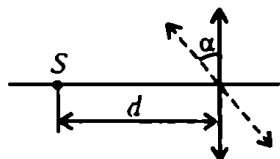


Рис. 172

некоторый угол α (рис. 172) относительно оси, перпендикулярной плоскости рисунка и проходящей через оптический центр линзы, изображение источника сместилось на $\Delta l = 10$ см. Найдите угол поворота линзы α . (9)

4.81. Точечный источник света лежит на главной оптической оси собирающей линзы с фокусным расстоянием $F = 70$ см. Расстояние от источника до центра линзы равно $2F$. На какое расстояние сместится изображение источника, если линзу повернуть так, чтобы прямая, проведенная от источника к центру линзы, составляла угол $\alpha = 30^\circ$ с главной оптической осью линзы? Центр линзы остается неподвижным. (4)

4.82. На главной оптической оси тонкой собирающей линзы с фокусным расстоянием $F = 20$ см на расстоянии $d = 30$ см от линзы находится точечный источник света. Линза совершает малые гармонические колебания с амплитудой $A = 0,2$ см перпендикулярно главной оптической оси. Найдите амплитуду колебаний изображения источника. (4)

4.83. Имеются N собирающих линз с фокусным расстоянием F и N рассеивающих линз с фокусным расстоянием $-F/2$. Линзы установлены поочередно так, что расстояние между соседними линзами равно $F/2$ (рис. 173). Вдоль оси в систему входит параллельный пучок света диаметром D . Найдите диаметр выходящего пучка. (11)

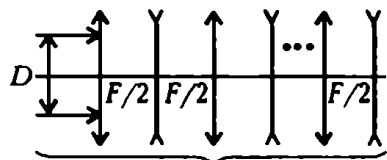


Рис. 173

4.84. Источник света расположен на двойном фокусном расстоянии от собирающей линзы с фокусным расстоянием $F = 30$ см. На каком расстоянии от

линзы нужно поместить плоское зеркало для того, чтобы лучи, отраженные от зеркала, вторично пройдя линзу, стали параллельными? (4)

4.85. На расстоянии $d = 60$ см от собирающей линзы находится точечный источник света. По другую сторону линзы расположено плоское зеркало, параллельное линзе. На каком расстоянии от линзы находится зеркало, если свет, отразившись от зеркала и пройдя через линзу, выходит параллельным пучком? Фокусное расстояние линзы $F = 50$ см. (4)

4.86. На главной оптической оси тонкой собирающей линзы с фокусным расстоянием $F = 20$ см расположено плоское зеркальце на расстоянии $L = 3F$ от линзы (рис. 174). Зеркальце

вращается с угловой скоростью $\omega = 0,1$ рад/с вокруг оси, перпендикулярной плоскости рисунка и проходящей через точку A . На расстоянии $a = 4F/4$ от линзы расположен точечный источник света S . 1) На каком расстоянии от точки A получится изображение источника в системе линза – зеркальце в результате однократного прохождения лучей от источника через линзу? 2) Найдите скорость (модуль и угол между направлением скорости и главной оптической осью) этого изображения в момент, когда угол между плоскостью зеркальца и главной оптической осью равен $\alpha = 60^\circ$. (9)

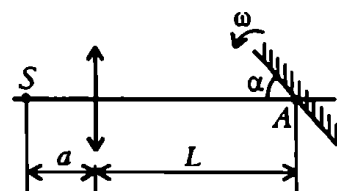


Рис. 174

4.87. Луч света от бесконечно удаленного источника падает на рассеивающую линзу с фокусным расстоянием $F_1 = 30$ см. На расстоянии $a = 40$ см от рассеивающей линзы расположена собирающая линза с фокусным расстоянием $F_2 = 45$ см. Главные оптические оси линз совпадают. На каком расстоянии от собирающей линзы находится изображение источника? (6)

4.88. Две тонкие линзы – собирающая с фокусным расстоянием $F_1 = F = 60$ см и рассеивающая с фокусным расстоянием $F_2 = F/2 = 30$ см – сдвинуты вплотную так, что их главные оптические оси совпадают. На расстоянии $2F$ от линз со стороны собирающей на главной оптической оси находится точечный источник света. Найдите расстояние от оптического центра линз до изображения источника. (4)

4.89. На собирающую линзу с фокусным расстоянием $F_1 = 40$ см падает пучок параллельных лучей света радиусом $R = 2$ см. За этой линзой расположена рассеивающая линза с фокусным расстоянием $F_2 = 15$ см, причем главные оптические оси линз и ось симметрии пучка совпадают. Чему равен радиус пучка, вышедшего из второй линзы, если известно, что лучи в нем параллельны? (4)

Волновая оптика

4.90. Монохроматический свет с частотой $1,5 \cdot 10^{15}$ Гц распространяется в пластинке, прозрачной для этого света и имеющей показатель преломления 1,25. Чему равна длина волны (в нм) этого света в пластинке? Скорость света в вакууме $3 \cdot 10^8$ м/с. (1)

4.91. Оцените, с какого расстояния астронавт увидит невооруженным глазом Солнце как обычную звезду, а не как светящийся диск. (11)

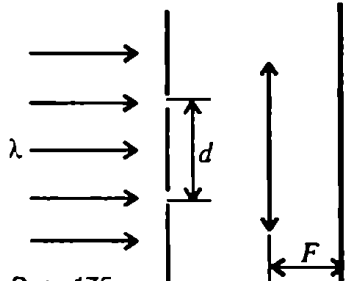


Рис. 175

4.92. На экран с двумя узкими щелями, находящимися на расстоянии d друг от друга (рис.175), нормально падает параллельный пучок света с длиной волны λ , причем $\lambda \ll d$. За экраном со щелями находится собирающая линза, а за ней в ее фокальной плоскости – сплошной экран, на котором видны светлые и темные полосы. Плоскости

обоих экранов параллельны, фокусное расстояние линзы равно F . Найдите расстояние между соседними светлыми полосами. (4)

4.93. Тонкая рассеивающая линза диаметром $D = 4,5$ см с фокусным расстоянием $F = 100$ см разрезана по диаметру, и ее половинки раздвинуты симметрично относительно главной оптической оси OO' на расстояние $a = 1$ см (рис.176). Сверху и снизу половинки линзы ограничены двумя зеркальными полуплоскостями Π_1 и Π_2 , параллельными оси OO' и друг другу. В фокальной плоскости линзы на оси OO' расположен точечный монохроматический источник

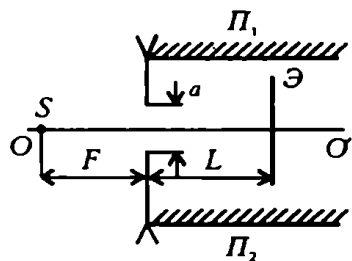


Рис. 176

света S . 1) Найдите расстояние между изображениями источника в половинках линзы. 2) При каком минимальном расстоянии L в центре экрана \mathcal{E} (около оси) можно наблюдать интерференционную картину от лучей, предварительно прошедших половинки линзы? (9)

4.94. В плечи интерферометра Юнга поместили два одинаковых открытых прозрачных сосуда длиной L (рис.177). При наблюдении интерференционной картины с монохроматическим источником света (длина волны λ) расстояние между двумя соседними темными полосами на экране равно Δh . Как изменится интерференционная картина, если в одном из сосудов равномерно повышать давление воздуха по закону $p = p_0 + kt$? Найдите скорость движения главного максимума, если показател

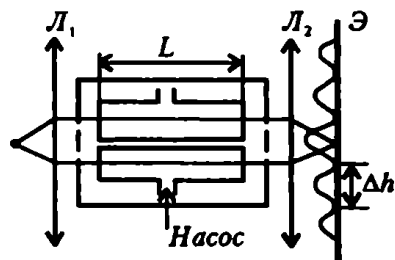


Рис. 177

преломления воздуха n зависит от давления p по закону $n = n_0 + kp$. (10)

тель преломления воздуха n линейно зависит от давления: $n = 1 + \alpha p$. (14)

4.95. Плоская монохроматическая волна нормально падает на экран с двумя параллельными щелями, расстояние между которыми $d = 2,5$ мм (рис.178). Интерференцию наблюдают на другом экране, расположенном на расстоянии $L = 5$ м от плоскости щелей.

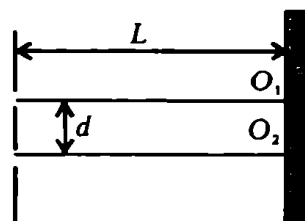


Рис. 178

На этом экране в точках O_1 и O_2 наблюдаются светлые интерференционные полосы. На какое минимальное расстояние вдоль оси системы нужно сместить экран, чтобы в точках O_1 и O_2 оказались темные полосы? (4)

4.96. Параллельный пучок света с длиной волны λ нормально падает на основание бипризмы с малыми преломляющими углами α (рис.179). Показатель преломления стекла призмы равен n . За призмой параллельно ее основанию расположен экран, на котором видна интерференционная картина. Найдите ширину интерференционных полос. (4)

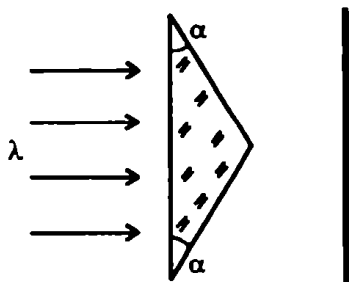


Рис. 179

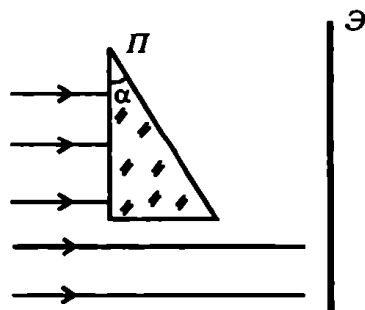


Рис. 180

4.97. Плоская монохроматическая световая волна частично проходит через стеклянную призму Π с малым преломляющим углом α (рис.180). Длина волны света λ , показатель преломления стекла n . На экране \mathcal{E} волны, прошедшие через призму и мимо нее, интерферируют. Найдите расстояние между соседними максимумами интерференционной картины. (4)

4.98. Точечный источник S монохроматического света с длиной волны $\lambda = 6000$ Å расположен между двумя неподвижными плоскостями, параллельными зеркалами, рас-

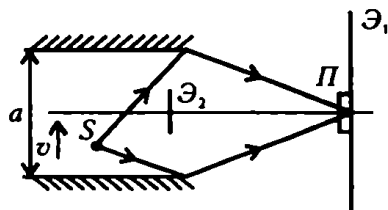


Рис. 181

стояние между которыми $a = 3$ см (рис.181). На большом расстоянии $L = 1$ м от источника расположен экран \mathcal{E}_1 , на котором наблюдается интерференционная картина, создаваемая двумя пучками света, отраженными от зеркал. Прямой пучок света от источника перекрывается экраном \mathcal{E}_2 . В плоскости экрана \mathcal{E}_1 (симметрично относительно зеркал) расположен приемник Π , который регистрирует сигнал, пропорциональный интенсивности падающего света. Размер приемника мал по сравнению с шириной интерференционных полос на экране. Учитывая только однократные отражения света от зеркал, определите частоту переменного сигнала, регистрируемого приемником, который возникает при движении источника перпендикулярно зеркалам со скоростью $v = 0,1$ мм/с. *Указание:* при $\beta \ll 1$ справедлива формула $\sqrt{1 + \beta} = 1 + \beta/2$. (4)

4.99. На непрозрачный экран, в котором сделаны две параллельные одинаковые щели, нормально падает параллельный пучок света. Длина волны света $\lambda = 0,5$ мкм. Расстояние между щелями $d = 50$ мкм. За экраном расположена собирающая линза с фокусным расстоянием $F = 20$ см так, что ее оптическая ось перпендикулярна плоскости экрана и проходит через середину промежутка между щелями. Определите ширину центрального дифракционного максимума, наблюдаемого в фокальной плоскости линзы. (4)

4.100. Щель шириной $b = 1$ мм в плоском экране освещают двумя лазерами, дающими пучки света с длиной волны $\lambda = 0,5$ мкм. Плоскость экрана перпендикулярна оси первого пучка. За щелью находится собирающая линза, главная оптическая ось которой совпадает с направлением первого из освещающих пучков. Найдите наименьший угол между осями освещающих пучков, при котором центральный дифракционный максимум одного пучка совпадает с минимумом другого. (4)

КИНЕМАТИКА

1.1. $x = 225$ м. 1.2. $t = 2lv_1 / (v_1^2 - v_2^2) = 3,04$ ч.

1.3. $v_2 = v_1 \cos(180^\circ - \alpha) / \cos \beta = 52$ км/ч.

1.4. $v_A = v(d + vt) / \sqrt{l^2 - (d + vt)^2}$. 1.5. $a = 5$ м/с².

1.6. $\Delta v_2 = (\sqrt{2} - 1)\Delta v_1 = 4,1$ м/с.

1.7. $a = \Delta s / (4\Delta t^2) = 2,5$ м/с², где $\Delta t = 1$ с. 1.8. $n = 2$.

1.9. $x_0 = (x_1 v_{2x}^2 - x_2 v_{1x}^2) / (v_{2x}^2 - v_{1x}^2) = 1,2$ м.

1.10. $s_3 = 2s_2 - s_1 = 3$ м. 1.11. $s_2 = 7s_3 = 35$ см.

1.12. $s = l/2 = 250$ м. 1.13. $s_2 = s_1(v_3^2 - v_2^2) / v_1^2 = 64$ м.

1.14. Движение равноускоренное, проекция ускорения отрицательная (рис.1); $v_{x1} = 6$ м/с, $v_{x2} = -6$ м/с; $x_1 = x_2 = 16$ м.

1.15. $h = 25g\Delta t^2 / 8 = 31$ м, где $\Delta t = 1$ с.

1.16. $H = 298$ м; $t = 17,5$ с. 1.17. $t = 2L / \sqrt{2gH} = 0,02$ с.

1.18. $v_0 = g\tau / 2$.

1.19. $t = a\tau(1 + \sqrt{1 + g/a}) / g = 3,45$ с.

1.20. $v_x = -18,5$ м/с; $s = 17,2$ м; $\Delta x = 20$ м.

1.21. $t = \sqrt{2gH / (a(a + g))} = 5$ с.

1.22. $h = 3v_0^2 / (8g) = 0,34$ м.

1.23. $t = 4\sqrt{2s/g} = 1,26$ с.

1.24. $s = 2\sqrt{R^2 + 2hv^2/g} \sin(v\tau / (2R)) = 2$ км.

1.25. $t = \sqrt{2(v^2 - gh)/g} \approx 1,6$ с.

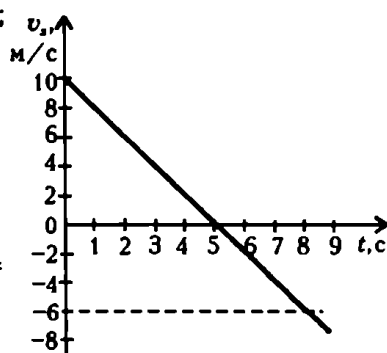


Рис. 1

$$1.26. \operatorname{tg} \alpha = 3. \quad 1.27. L = 2v_0 \tau \sqrt{1 - (g\tau/v_0)^2} = 34,6 \text{ м.}$$

$$1.28. v_0 = \frac{L}{\cos \alpha} \sqrt{\frac{g}{2(h + L \operatorname{tg} \alpha)}} = 11,3 \text{ м/с.}$$

$$1.29. v_{\min} = \sqrt{g(2H + L)} = 25 \text{ м/с.}$$

$$1.30. x = v_0 \left(\sqrt{2H_0/g} - \sqrt{2(H_0 - h)/g} \right).$$

$$1.31. \alpha = \arccos \left(\sqrt{1 + 2g\Delta h/v_0^2} \cos \beta \right) = 45^\circ.$$

$$1.32. v = v_0 / (1 - \operatorname{tg} \alpha) \approx 2,36 \text{ м/с.}$$

$$1.33. r = R \sqrt{1 + 8\pi^2 h / (gT^2)} = 16,2 \text{ м.}$$

$$1.34. l_{\min} = \sqrt{4v_0^4/a^2 + L^2} - 2v_0^2/a.$$

$$1.35. v = \omega (R + \omega h t / (2\pi)).$$

ОСНОВЫ ДИНАМИКИ

$$1.36. F_n = 8 \text{ Н.} \quad 1.37. h = 57600 \text{ км.}$$

$$1.38. h = R_3 (\sqrt{2} - 1) = 2650 \text{ км.} \quad 1.39. T = 2\pi R \sqrt{R/g} / R_3.$$

$$1.40. T_M / T_3 = \beta \sqrt{\beta/\alpha} = 1,16. \quad 1.41. T = 2\pi \sqrt{R_3/g} = 84 \text{ мин.}$$

$$1.42. r = \sqrt[3]{\left(\frac{R_3 T}{2\pi} \right)^2 g} = 3,8 \cdot 10^8 \text{ м.}$$

$$1.43. \rho = 3rv^2 / (4\pi GR^3) = 5 \cdot 10^2 \text{ кг/м}^3.$$

$$1.44. T = 2\pi \left(1 + \frac{h}{R} \right) \sqrt{\frac{R}{g((1 + h/R)^2 - 1)}}.$$

$$1.45. T = \sqrt{\frac{3\pi}{G\rho(1 - \eta/100\%)}} = 4,3 \cdot 10^4 \text{ с} = 12 \text{ ч.}$$

$$1.46. r_{\max} = \mu(a_0 + g) / (4\pi^2 f^2) = 7 \text{ см; } a = \sqrt{a_0^2 + \mu^2(a_0 + g)^2} = 5,1 \text{ м/с}^2.$$

$$1.47. l = v \sqrt{v^2 + u^2} / (2\mu g) = 0,3 \text{ м.}$$

$$1.48. a_{\max} = F \sqrt{1 + \mu^2} / m - \mu g.$$

- 1.49. $F_{\text{т}} = mg \sin \alpha = 10 \text{ Н}$.
- 1.50. Основная причина – в резком увеличении суммарной силы трения.
- 1.51. При $\alpha = 120^\circ$ нить может порваться в любом месте. Если $\alpha < 120^\circ$, нить порвется ниже крюка, если $\alpha > 120^\circ$ – выше крюка.
- 1.52. $m = 700 \text{ г}$.
- 1.53. $h = F(k_1 + k_2)/(4k_1k_2)$.
- 1.54. $F_{\text{н}} = mg(1 - k)/k = 5 \cdot 10^{-2} \text{ Н}$.
- 1.55. $F_{\text{мин}} = F - ma = 5 \text{ Н}$.
- 1.56. $F_{\text{мин}} = \mu mg/(\cos \alpha + \mu \sin \alpha) = 20 \text{ Н}$.
- 1.57. 1) $a = (F \cos \alpha - \mu(mg - F \sin \alpha))/m = 10,5 \text{ м/с}^2$;
2) $\alpha = \arctg \mu = 5,7^\circ$.
- 1.58. $F_1 = Mv/\tau = 0,8 \text{ Н}$; $F_2 = M(a + \mu g)/\sqrt{1 + \mu^2} = 12 \text{ Н}$.
- 1.59. $t = 2\sqrt{h}/\sqrt{g(\text{tg} \beta - \text{tg} \alpha) \sin 2\beta} = 0,4 \text{ с}$.
- 1.60. $s = v_0^2/(2g(\sin \alpha + \mu \cos \alpha))$. 1.61. $\beta = \arctg \mu$.
- 1.62. 1) $\mu = (2l - gt^2 \sin \alpha)/(gt^2 \cos \alpha) = 0,13$;
 $t_1 = 2l/(g(\sin \alpha - \mu \cos \alpha)) = 6,3 \text{ с}$; 2) $\alpha_{\text{max}} = \arctg \mu = 7,4^\circ$.
- 1.63. $\alpha = \arcsin 0,15 = 9^\circ$. 1.64. $\mu = ((n - 1)/(n + 1)) \text{tg} \alpha = 0,34$.
- 1.65. $a = 4 \text{ м/с}^2$.
- 1.66. $a_1 = a - 2\mu N/m$ при $a > 2\mu N/m$ и $a_1 = 0$ при $a \leq 2\mu N/m$.
- 1.67. $F = Mg\sqrt{\sin^2 \alpha + (1/2 \cos \alpha + H/L \sin \alpha)^2}$.
- 1.68. $R = 2\pi k l/(4\pi^2 k - \omega^2 m)$. 1.69. $v_{\text{max}} = 20 \text{ м/с}$.
- 1.70. $n = 19$. 1.71. $\alpha = F/(4kR) = 0,5 \text{ рад}$. 1.72. $F_2 = 9 \text{ кН}$.
- 1.73. $v = \sqrt{2gR/3} = 28,3 \text{ м/с}$.
- 1.74. $v_{\text{max}} = \sqrt{(P - mg)R/m} = 2,3 \text{ м/с} = 8,3 \text{ км/ч}$.
- 1.75. $m = (T_2 - T_1)/(6g) \approx 0,02 \text{ кг}$. 1.76. $v \leq \sqrt{3gL/2} = 3 \text{ м/с}$.
- 1.77. Сила равна $F = m\sqrt{a^2 + (a - v^2/R)^2}$ и наклонена к горизонту под углом $\alpha = \arctg(a/(a - v^2/R))$.
- 1.78. $F_1 = mg \cos \alpha \cos(\beta - \alpha)/(2 \sin \beta) = 260 \text{ Н}$;
 $F_2 = mg - mg \cos \alpha \sin(\beta - \alpha)/(2 \sin \beta) = 450 \text{ Н}$.
- 1.79. $\alpha = \arctg(4AB/(3BC)) = 45^\circ$. 1.80. $x = 80 \text{ см}$.
- 1.81. $x = \pi \rho_2/(4(16\rho_1 + \pi \rho_2)) = 0,9 \text{ см}$.
- 1.82. $a = 4,5 \text{ м/с}^2$; $F_{\text{н}} = 3 \text{ Н}$. 1.83. $a_1 = a + (a + g)m/M$.

- 1.84. $v \approx 0,6\sqrt{gl}$.
- 1.85. 1) $F_n = (m_2 + m_3)g$; 2) ускорение равно $a = g(m_2 + m_3)/m_1$ и направлено вертикально вверх.
- 1.86. $F > \mu_1 m_1 g + \mu_2 m_2 g/2$.
- 1.87. $N = g(M + 4m_1 m_2 / (m_1 + m_2)) = 16,4 \text{ Н}$.
- 1.88. При малом угле наклона плоскости сила, прижимающая к ней цилиндр, заметно больше силы, прижимающей цилиндр к цилиндру. В результате между цилиндрами возникает проскальзывание, а между плоскостью и цилиндром – нет. Поэтому нижний цилиндр в этом случае не очень мешает верхнему скатываться вращаясь. При большом угле наклона прижимающая сила между цилиндрами больше, и верхний цилиндр просто соскальзывает по плоскости.
- 1.89. $F_n = mg(\mu_2 - \mu_1) / \sqrt{4 + (\mu_1 + \mu_2)^2}$.
- 1.90. $1 - 2\mu \operatorname{ctg} \alpha \leq M/m \leq 2\mu \operatorname{ctg} \alpha + 1$.
- 1.91. $0,56 \text{ кг} = m_1(\sin \alpha - \mu \cos \alpha) \leq m_2 \leq m_1(\sin \alpha + \mu \cos \alpha) = 0,85 \text{ кг}$.
- 1.92. $N = (mg \sin 2\alpha)/2 = 0,49 \text{ Н}$.
- 1.93. $F_{\text{тп}} = mg(\sin \alpha - \mu \cos \alpha) \cos \alpha$. 1.94. $F_{\text{min}} = 2(F_0 + \mu mg)$.
- 1.95. $F_n = Fm_2 / ((m_1 + m_2)(\cos \alpha + \mu \sin \alpha))$.
- 1.96. $F_{\text{min}} = 2Mg(1 + \mu)$. 1.97. $F = (mg + kl)/2$.
- 1.98. $a > g(\mu + \operatorname{tg} \alpha) / (1 - \mu \operatorname{tg} \alpha) = 10,6 \text{ м/с}^2$.
- 1.99. $\Delta l > \mu(M + m)g/k = 4,2 \text{ мм}$. 1.100. $F = (M + m)(\mu + \operatorname{tg} \alpha)g$.
- 1.101. Клин не сдвинется, если $\operatorname{tg} \alpha \leq \mu$.
- 1.102. $\beta = \operatorname{arctg}((1 + m/M) \operatorname{tg} \alpha) = 60^\circ$.
- 1.103. а) $\mu_{\text{min}} = (m \sin \alpha \cos \alpha) / (M + m \cos^2 \alpha)$;
 б) $v = \sqrt{2gh \frac{m/M}{1 + M(1 + (1 + m/M)^2 \operatorname{tg}^2 \alpha) / m}}$.
- 1.104. $F = mg\mu / (2(\mu + 1)) = 0,083 \text{ Н}$.

ЗАКОНЫ СОХРАНЕНИЯ В МЕХАНИКЕ

- 1.105. Сила отдачи $F \sim \Delta(mv)/\Delta t \sim mvu/l \sim m^2 v^2 / (Ml) \sim 200 \text{ Н}$, где $m \sim 10^{-2} \text{ кг}$ – масса пули, $v \sim 7 \cdot 10^2 \text{ м/с}$ – ее скорость, $l \sim 5 \cdot 10^{-2} \text{ м}$ – путь приклада, u – его скорость, $M \sim 5 \text{ кг}$ – масса ружья. Если приклад прижат плотно, то $M \sim 100 \text{ кг}$ – масса стрелка с ружьем и 10 Н . Этот вариант обычно и реализуется.

1.106. $F_{\text{ф}} = 30 \text{ Н}$.

1.107. Сила за счет остановки капель зонтом составляет $F_{\text{лив}} \sim \rho S v h / t$, где ρ – плотность воды, S – площадь зонта, v – скорость капель, h – толщина слоя дождя, выпавшего за время t . Сила давления слоя воды на зонт при толщине слоя δ примерно равна $F_{\text{стат}} \sim \rho S \delta g$. Тогда средняя сила будет $F \sim \rho S v h / t + \rho S \delta g$. При $h \sim 1 \text{ см}$, $t \sim 10^2 \text{ с}$, $S \sim 1 \text{ м}^2$, $v \sim 10 \text{ м/с}$, $\delta \sim 0,1 \text{ мм}$, $F \sim 2 \text{ Н}$.

1.108. Сила натяжения нити равна отношению изменения импульса груза к интервалу времени, за которое это изменение произошло. При подсоединении резинки этот интервал времени заметно увеличивается, поэтому натяжение уменьшается и нить не рвется.

1.109. $t = \sqrt{n^2 - 1} p / (nmg) = 0,87 \text{ с}$.

1.110. $l_{\text{min}} = 18 \text{ м}$.

1.111. $p = p_0 / \sqrt{1 + 16/\alpha^2} = 447 \text{ кг} \cdot \text{м/с}$.

1.112. При сжатии гладкой косточки силой F совершается работа $A \sim Fh$, где h – толщина косточки. Эта работа идет на разгон косточки до кинетической энергии $mv^2/2 \sim Fh$, где m – масса косточки, v – ее скорость. Для максимальной дальности полета при выпуске под углом 45° получаем $l \sim v^2/g \sim 2Fh/(mg) \sim 2 \text{ м}$ при $m \sim 5 \text{ г}$, $F \sim 10 \text{ Н}$ и $h \sim 5 \text{ мм}$.

1.113. $A = m(v_2^2 - v_1^2)/2 = 3 \cdot 10^3 \text{ Дж}$.

1.114. $\Delta E_p = 120 \text{ Дж}$.

1.115. $F = 3 \text{ кН}$.

1.116. $n = 3$.

1.117. Потенциальная энергия растянутой резины переходит в потенциальную энергию подъема тела в поле тяжести: $kx^2/2 \sim mgh$. По закону Гука, $kx \sim F = Mg$, где M – масса растягивающего резину груза. Таким образом, $kx^2/2 \sim Mg/k \sim mgh$. При вдвое более тонкой резине ее жесткость уменьшается в два раза: $k_2 = k_1/2$. Отсюда получаем $h_2 \sim h_1(k_1/k_2) \sim 2h_1$, т.е. при более тонкой резине и постоянной силе растяжения высота взлета тела практически удваивается.

1.118. $\alpha = \arccos(\sqrt{2E_k/m}/v_0) = 60^\circ$.

1.119. $E_k = m(v_0^2 - 2v_0gt \sin \alpha + g^2t^2)/2$; $E_{k_1} = 200 \text{ Дж}$, если $\alpha > 0$, $E_{k_2} = 600 \text{ Дж}$, если $\alpha < 0$.

1.120. $\alpha = \arctg \sqrt{n} = 30^\circ$.

1.121. $A_{\text{min}} = 2mgh = 10^3 \text{ Дж}$.

1.122. Преодолеет.

$$1.123. s_2 = \frac{v_2^2}{2(g \sin^2 \alpha + (v_1^2 \cos \alpha)/(2s_1))} = 21 \text{ м.}$$

$$1.124. \alpha = \arctg(1/\mu). \quad 1.125. h = 6,4 \text{ м.} \quad 1.126. v = 7 \text{ м/с.}$$

$$1.127. E_{k2}/E_{k1} = (\sin^2 \alpha_2 \cos \alpha_1)/(\sin^2 \alpha_1 \cos \alpha_2) = 2,45.$$

$$1.128. E = m_1 m_2 \omega^2 l^2 / (2(m_1 + m_2)) = 0,1 \text{ Дж.}$$

$$1.129. v = 2(R-r)\sqrt{2g(R-r)/3}/(3r).$$

$$1.130. F_n = 7mg; F_s = mg. \quad 1.131. \Delta L = \sqrt{2A/k}/(n-1) = 0,02 \text{ м.}$$

$$1.132. s_1 = v_0^2/(2\mu g) = 3 \text{ м}; s_2 = s_1 + L/2 = 3,6 \text{ м.}$$

$$1.133. A = (\mu mg)^2/(2k) = 0,1 \text{ Дж.} \quad 1.134. Q = 0,12 \text{ Дж.}$$

$$1.135. Q = (m_1 - m_2)gh - 2((m_1 + m_2)h^2/\tau^2) = 92 \text{ Дж.}$$

$$1.136. Q = k(l - l_0)^2/2 + m^2 g^2/(2k) - mg(l \cos \alpha - l_0).$$

$$1.137. A_{\min} = A + 2mgL \sin \alpha = 690 \text{ Дж.}$$

$$1.138. v = \sqrt{2gl(1 + M(\sqrt{5} - 1)/(2m))}. \quad 1.139. k = 2mv^2/x^2.$$

$$1.140. A = M(1 + M/m)\mu g s = 29,4 \text{ Дж.}$$

$$1.141. H = 50R/27 = 1 \text{ м.} \quad 1.142. F_n = (M - m)^2 v_0^2/(2l(M + m)).$$

$$1.143. 1) v_1 = 2\sqrt{gH}; 2) v_2 = \sqrt{10gH/3}.$$

$$1.144. \text{Если } h < L, \text{ то } F_{cp} = m\sqrt{2gh}/\tau; \text{ если } L < h < 2L, \text{ то } F_{cp} = m\sqrt{(3h-L)g}/\tau; \text{ если } h = 2L, \text{ то } F_{cp} \geq m\sqrt{5gL}/\tau.$$

$$1.145. h_{\max} = \sqrt{m/k} v_0 \sin \alpha = 1 \text{ см.}$$

$$1.146. m = M/2. \quad 1.147. A = 1,5k(n-1)(2n-1)L^2.$$

$$1.148. v_{\max} = mg/\sqrt{k(4M+m)}.$$

$$1.149. F_{cp} = (2mv \sin \alpha)/\Delta t = 174 \text{ Н}; h = v \cos \alpha \cdot t + gt^2/2 = 5,2 \text{ м.}$$

$$1.150. Q = 12 \text{ Дж.} \quad 1.151. l = v^2/(18\mu g) = 41 \text{ см.}$$

$$1.152. x = mv/\sqrt{k(m+M)}. \quad 1.153. 1) v = 2v_0/15; 2) s = 2v_0^2/(225\mu g).$$

$$1.154. v = 4 \text{ м/с.} \quad 1.155. l = v_0^2 m_1 m_2^2 / (2\mu g(m_1 + m_2)^2(m_1 + m_2 + m_3)).$$

$$1.156. \dots / (\mu).$$

$$1.157. \varphi_{\max} = \arccos \left(1 - \frac{m^2 v_0^2 \cos^2 \alpha}{2gl(m+M)} \right); \text{ заметим, что если второе слагаемое в скобке больше 1, то шарик ударится о потолок и максимальный угол будет равен } \pi/2.$$

$$1.158. t = 2(u + \sqrt{2gl})/g.$$

1.159. Скорость после удара равна $v = \sqrt{v_1^2 + v_2^2}/2 = 5 \text{ м/с}$ и направлена под углом $\alpha = \text{arctg}(4/3) = 53^\circ$ к скорости первого тела до удара.

$$1.160. Q = m_1 v_1^2 (1 - m_1/m_2)/2 = 25 \text{ Дж.} \quad 1.161. x = 2 \text{ м.}$$

$$1.162. v \approx 720 \text{ м/с.} \quad 1.163. \alpha = \arccos\left(u/\sqrt{2gh + v_0^2}\right) \approx 60^\circ.$$

$$1.164. \alpha = \frac{1 + \sqrt{h/R}}{1 - \sqrt{h/R}} = 3. \quad 1.165. h = L(m_1 - m_2)^2 / (m_1 + m_2)^2 = 25 \text{ см.}$$

$$1.166. h = lm_2^2/m_1^2 = 16 \text{ см.} \quad 1.167. l = (\sqrt{2E/m} v_0 \sin \alpha)/g = 6 \text{ м.}$$

$$1.168. t = 2s/(v + 2u) = 0,75 \text{ с.}$$

$$1.169. 1) v_1 = 2v/7 = 2 \text{ м/с}; 2) \Delta W = 45mv^2/112 = 0,63 \text{ Дж.}$$

$$1.170. u_1 = 2v_1 = 10 \text{ м/с.} \quad 1.171. v = \Delta L \sqrt{k(m+M)}/M.$$

$$1.172. k = \frac{m_1^2 v^2}{(m_1 + m_2) \Delta l^2} - \frac{2(m_1 + m_2)g\mu}{\Delta l} = 2,1 \text{ кН/м.}$$

$$1.173. v = m \cos \alpha \cdot \sqrt{2gh / (M(M + m \cos^2 \alpha))} = 2,7 \text{ см/с.}$$

Жидкости и газы

1.174. Исходя из определения атмосферного давления, получаем оценку массы атмосферы Земли: $m_{\text{атм}} \sim p_s S/g$, где S – площадь поверхности Земли и $p_s \sim 10^5 \text{ Па}$. Для оценки массы океана примем его среднюю глубину равной $H \sim 4 \text{ км}$ и учтем, что океан занимает примерно $2/3$ площади Земли: $m_{\text{ок}} \sim 2\rho H S/3$, где $\rho = 10^3 \text{ кг/м}^3$ – плотность воды. Таким образом, $m_{\text{ок}}/m_{\text{атм}} \sim (2/3)\rho g H/p_s \sim 300$.

$$1.175. h = 6 \text{ см.} \quad 1.176. F = 1500 \text{ Н.}$$

$$1.177. A = \rho g S h^2/6 = 2 \cdot 10^5 \text{ Дж, где } \rho = 10^3 \text{ кг/м}^3 \text{ – плотность воды.}$$

$$1.178. m = (\rho_s - \rho) \pi d^2 l/4 = 74,2 \text{ кг, где } \rho_s = 10^3 \text{ кг/м}^3 \text{ – плотность воды.}$$

$$1.179. m = 30 \text{ кг.} \quad 1.180. \rho = 800 \text{ кг/м}^3. \quad 1.181. F = 350 \text{ мН.}$$

$$1.182. F_n = \rho_s V g/8 = 1,22 \cdot 10^{-2} \text{ Н.}$$

$$1.183. h_{\text{max}} = (\rho_s S L - m)/(\rho_s S) = 7,5 \cdot 10^{-2} \text{ м, где } \rho_s = 10^3 \text{ кг/м}^3 \text{ – плотность воды.}$$

$$1.184. \rho = 17\rho_0/18.$$

$$1.185. M = \rho_s d^3 (1 - \pi/4) (1 - m/(\rho_s d^3)) = 160 \text{ г; } \rho = \rho_s - m/d^3 = 0,75 \text{ г/см}^3; \text{ здесь } \rho_s = 10^3 \text{ кг/м}^3 \text{ – плотность воды.}$$

1.186. $F = (3\rho - 4\rho_0)gLS/12 = 5 \cdot 10^{-4} \text{ Н.}$

1.187. После таяния льда сила давления на весы изменилась на

$$\Delta F = (m_A g - \rho_{\text{возд}} g m_A / \rho_A) - (m_A g - \rho_{\text{возд}} g m_A / \rho_A) = \\ = m_A g \rho_{\text{возд}} (\rho_A - \rho_A) / (\rho_A \rho_A)$$

из-за уменьшения выталкивающей силы. Положив $\rho_A = 1 \text{ г/см}^3$, $\rho_A = 0,9 \text{ г/см}^3$, $\rho_{\text{возд}} \sim 10^{-3} \text{ г/см}^3$, $m_A \sim 10^3 \text{ г}$, получим, что для восстановления равновесия необходимо к литру воды подлить еще $\Delta m \sim 0,1 \text{ г}$.

1.188. $\Delta h = m / (\rho S) = 8,3 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$

1.189. $h_2 = h_1 (\rho_A - \rho_A) (\rho_c - \rho_A) / (\rho_A (\rho_c - \rho_A)) = 1 \text{ мм.}$

1.190. $\beta = \frac{(1 - \alpha) \rho_A (\rho_A - \rho_A)}{(\rho_A - \alpha \rho_A) (\rho_A - \rho_A)} \cdot 100\% = 51\%.$

1.191. $v = 2N / (mg).$

1.192. 1) $p_1 = p_0 + \rho g H$; 2) $p_2 = p_0 + \rho g (H - h) + \rho \omega^2 L^2 / 2.$

ГЛАВА 2. МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА. ТЕПЛОВЫЕ ЯВЛЕНИЯ

ОСНОВЫ МОЛЕКУЛЯРНО-КИНЕТИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ

2.1. $v = 870 \text{ м/с.}$ 2.2. $N = pV / (kT) = 1,8 \cdot 10^{14}.$ 2.3. В 2 раза.

2.4. Для пара расстояние между молекулами порядка

$$r_n \sim \left(\frac{M_A}{\rho_n N_A} \right)^{1/3} \sim \left(\frac{TV_0}{N_A T_0} \right)^{1/3}. \text{ Для воды } - r_n \sim \left(\frac{M_A}{\rho_n N_A} \right)^{1/3}.$$

образом $\frac{r_n}{r_n} \sim \left(\frac{TV_0 \rho_n}{T_0 M_A} \right)^{1/3}.$ При $T = 373 \text{ К}$, $T_0 = 273 \text{ К}$, $V_0 =$

$$= 22,4 \text{ л}, \rho_n = 1 \text{ г/см}^3 \text{ и } M_A = 18 \text{ г/моль получаем } r_n / r_n \sim 10.$$

2.5. $T = 250 \text{ К.}$ 2.6. $V = 250 \text{ см}^3.$

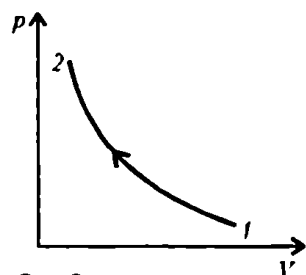


Рис.2

2.7. На 25%.

2.8. $\Delta V = V_0 (n - 1) / (n + 1).$

2.9. См. рис.2.

2.10. При опрокидывании полупустой бутылки часть воды из нее выльется, что вызовет незначительное разрежение воздуха в бутылке, которое удержит воду от вытекания. Оценим изменение уровня воды

в бутылке:

$$\frac{\Delta p}{p} = \frac{\rho g h}{\rho g H_0} = \frac{10 \text{ см}}{10 \text{ м}} \sim \frac{\Delta V}{V} = \frac{\Delta h}{h} = \frac{\Delta h}{10 \text{ см}}, \quad \Delta h \sim 1 \text{ мм}.$$

Наличие воды в тарелке не дает пройти пузырькам воздуха в бутылку.

2.11. $H = (k-1)p_0/(\rho g) = 20,4 \text{ м}$, где $\rho = 10^3 \text{ кг/м}^3$ – плотность воды.

2.12. $V_1/V_2 = 1,86$. 2.13. $m = (k-1)p_0 S / (g(k+1)) = 10 \text{ кг}$.

2.14. $\Delta V = 2R\Delta T/p_0 = 16,6 \cdot 10^{-3} \text{ л}$; $T = \Delta T/(\alpha / 100\%) = 400 \text{ К}$.

2.15. $\rho = Mmg_B / (4\pi R_B^2 RT) = 6,6 \text{ кг/м}^3$, где $M = 44 \text{ г/моль}$ – молярная масса углекислого газа.

2.16. Ускорение равно $a = -g(1 - h/x) = 2 \text{ м/с}^2$ и направлено вверх.

2.17. Аквалангист дышит воздухом через редуктор при давлении $p_0 = 5 \text{ атм}$. Объем баллона $V = 10 \text{ л}$, давление в нем $p = 100 \text{ атм}$. Отсюда получаем оценку эффективного объема для дыхания: $V_{\text{эф}} = Vp/p_0 \sim 200 \text{ л}$. Частоту дыхания будем считать обычной: $\nu \sim 10$ вдохов в минуту. Положив объем одного вдоха равным $V_0 \sim 1 \text{ л}$, найдем искомое время: $t \sim V_{\text{эф}} / (\nu V_0) \sim 20 \text{ мин}$.

2.18. На 100%. 2.19. $T_1 = 225 \text{ К}$.

2.20. $n_{\text{max}} = p_2 / (kT_2) = 3,33 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$.

2.21. $x \approx 1,6 \text{ м}$; *указание*: необходимо учитывать давление слоя воды, зашедшей в колокол.

2.22. $T_1 = T_2 p_1 / p_2 = 404 \text{ К}$, $t_1 = 131 \text{ }^\circ\text{С}$. 2.23. $E_p = RT = 2,49 \text{ кДж}$.

2.24. $n = 637$.

2.25. $\frac{V_n}{V_*} = \frac{\rho_* RT}{M(\beta-1)p} = 191$, где $p = 10^5 \text{ Па}$ – атмосферное давление, $\rho_* = 10^3 \text{ кг/м}^3$ – плотность воды, $M = 18 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$ – ее молярная масса.

2.26. $T_{\text{max}} = (n+1)^2 T_0 / (4n) = 9T_0 / 8$.

2.27. $p_1 = (p_0 + \Delta p) T_1 / T_2 = 3,75 \cdot 10^5 \text{ Па}$. 2.28. $m/m_0 = \beta/\alpha$.

2.29. 1) $\Delta m = \frac{MV}{R} \left(\frac{p + \Delta p}{T + \Delta T} - \frac{p}{T} \right) = 57 \text{ г}$; 2) не станет.

2.30. $k = n(p/p_0 - 1) = 20$. 2.31. $p_* = 102 \text{ кПа}$.

2.32. $p_* = \rho g (H_1 h_1 - H_2 h_2) / (h_1 - h_2)$.

2.33. $H = l\sqrt{1 + 2L/a} = 72 \text{ см рт.ст.} = 720 \text{ мм рт.ст.}$

2.34. 1) $d = l/(1 + \rho g h/p) - h = 0,5 \text{ м}$, где $\rho = 13,6 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ – плотность ртути; 2) a – может, b – не может.

$$2.35. T = 448 \text{ K.} \quad 2.36. T = T_0 \left(1 + \frac{mg}{p_0 a^2} \right).$$

$$2.37. T_1 = T(1 - P/(mg)) = 280 \text{ K}, t_1 = 7^\circ \text{C}.$$

$$2.38. F_n = \left(\frac{4}{3} \pi r^3 \frac{M p_0}{RT} - (m_1 + m_2) \right) g = 0,063 \text{ Н}.$$

$$2.39. m \leq \frac{4}{3} \pi r^3 \frac{M p_0}{RT} = 249 \text{ кг, где } M = 44 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль} - \text{молярная масса углекислого газа}.$$

$$2.40. T_1 = T \frac{P}{\rho g V} \left(1 + \frac{PH}{p_0 V} \right) = 289,8 \text{ K}, t_1 = 16,8^\circ \text{C}.$$

$$2.41. F_n = \rho V g - \left(m + \frac{M p V}{RT} \right) g = 0,014 \text{ Н}.$$

$$2.42. m = 4 \pi r^3 M p / (3RT) = 0,012 \text{ кг}.$$

$$2.43. T_2' = T_2 \left(2 \frac{m_1 T_1 M_2}{m_2 T_2 M_1} - 1 \right); \quad p_2' = \frac{mg}{S} \left(\frac{m_1 T_1 / M_1}{m_2 T_2 / M_2 - m_1 T_1 / M_1} - 1 \right).$$

$$2.44. \omega = \sqrt{\frac{p_0 V}{m(l^2 - r^2)}}. \quad 2.45. T_2 = T_1 \left(1 + \frac{hS}{V_0} \right) \left(1 + \frac{(m_2 - m_1)g}{2(p_s S + m_1 g)} \right).$$

$$2.46. \alpha = \frac{1}{2} - \frac{1}{n} + \sqrt{\left(\frac{1}{2} - \frac{1}{n} \right)^2 + 2} = \sqrt{2}. \quad 2.47. T_1 = 2T \left(1 + \frac{kh^2 M}{mRT} \right).$$

$$2.48. h = \frac{mR(T_2 - T_1)}{M(p_0 S - m_0 g)} = 0,81 \text{ м}.$$

$$2.49. F = \frac{mg}{2} \left(\frac{2x_1}{a} - \operatorname{tg} \alpha \right) \text{ при } \operatorname{tg} \alpha < \frac{2x_1}{a}, \text{ где } x_1 = \frac{a}{2} + \frac{RT}{mg \sin \alpha} - \sqrt{\left(\frac{a}{2} \right)^2 + \left(\frac{RT}{mg \sin \alpha} \right)^2} - \text{расстояние от левой стенки куба до поршня}.$$

2.50. Поршень с меньшим сечением провалится до дна, а поршень с большим сечением поднимется на высоту

$$H = h_0 (1 + m/M) (1 + S_1/S_2).$$

$$2.51. T_3/T_1 = \sqrt{\alpha}.$$

$$2.52. \alpha = \frac{(L - H_2 + H_1)(L - H_1)H_2}{(L - H_1 + H_2)(L - H_2)H_1} = 0,7.$$

$$2.53. p = p_1 p_2 (M_1 + M_2) / (p_1 M_1 + p_2 M_2) = 500 \text{ кПа}.$$

$$2.54. p_1 = (p(V_1 + V_2) - p_2 V_2) / V_1 = 5 \cdot 10^5 \text{ Па}.$$

$$2.55. \rho = \frac{p_0(m_1 + m_2)}{RT_0(m_1/M_1 + m_2/M_2)} = 1,6 \text{ кг/м}^3. \quad 2.56. \Delta h = HM/m = 20 \text{ см}.$$

$$2.57. p = mRT(V_1 + V_2) / (MV_1 V_2) = 1,39 \text{ МПа}.$$

$$2.58. \Delta T = \frac{\beta(1+\alpha)^2 T_0}{\alpha(1-\beta(1+\alpha))} = 100 \text{ К}.$$

$$2.59. \Delta m = \frac{2MV_1 V_2 |p_1 - p_2|}{(V_1 + V_2)RT} = 9 \text{ г, где } M = 28 \text{ г/моль} - \text{молярная масса азота}.$$

$$2.60. p_3 = \frac{T_3}{2} \left(\frac{p_1}{T_1} + \frac{p_2}{T_2} \right) = 750 \text{ кПа}. \quad 2.61. v = 2 \frac{p}{R} \left(\frac{V}{T} - \frac{V_0}{T_0} \right).$$

$$2.62. m_1/m_2 = M_1/M_2 = 1/14. \quad 2.63. p_2 = 2p_1 T_2/T_1 = 40 \text{ кПа}.$$

$$2.64. m_1 = \frac{0,8m}{\frac{mRT}{pVM} - 1} = 70 \text{ г, где } M = 44 \text{ г/моль} - \text{молярная масса пропана}.$$

$$2.65. \varphi = \frac{\alpha}{\beta + \alpha(1-\beta)} \frac{p}{p_*} = 0,51 = 51\%. \quad 2.66. \varphi_2 = \varphi_1 + \frac{m}{p_* V} 100\% = 60\%.$$

$$2.67. \Delta m = m(1 - p_*/(5p)) = 5 \text{ г, где } p_* = 100 \text{ кПа} - \text{давление насыщенного водяного пара}.$$

$$2.68. p = (m_1/M_1 + m_2/M_2)RT/V = 6,4 \cdot 10^5 \text{ Па},$$

где $M_1 = 18 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$ - молярная масса воды, $M_2 = 32 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$ - молярная масса кислорода.

$$2.69. p_* = (p - p_* \varphi / 100\%) (1 - \Delta T/T) = 96,2 \text{ кПа};$$

$$p_* = (p_* \varphi / 100\%) (1 - \Delta T/T) = 2,1 \text{ кПа}.$$

$$2.70. \varphi_2 = \varphi_1 p_1 V_1 T_2 / (p_* V_2 T_1) = 10,6\%. \quad 2.71. \varphi = (p_{к2}/p_{к1}) (T_1/T_2) \cdot 100\%.$$

$$2.72. m = \frac{MV}{R} \left(\frac{p_2}{T_2} - \frac{p_1}{T_1} \right) = 0,65 \text{ кг}.$$

$$2.73. T_2 = T_1 \frac{\alpha T_1 - p_1}{\alpha T_1 - p_1 - mRT_1/(MV)}, \text{ где } M - \text{молярная масса воды}.$$

$$2.74. x = Vmg / \{S(p_* S - mg)\} = 0,5 \text{ см}. \quad 2.75. \alpha = 3/7.$$

$$2.76. p_* = p/2 + p_* = 395 \text{ мм рт.ст.} = 53 \text{ кПа, причем испариться может лишь часть находящейся в баллоне воды}.$$

$$2.77. \alpha = mRT/(MVp_*) = 0,55, \text{ где } M = 28 \text{ г/моль} - \text{молярная масса азота, при этом часть воды находится в конденсированном состо-}$$

янии, а часть — в виде насыщенного пара под давлением $p_{\text{н}} = 10^5$ Па.

$$2.78. \alpha = \frac{V - V_2}{V_2 - V_1}. \quad 2.79. \frac{T - T_0}{T_0} \geq \frac{8\sigma}{p_0 d} = 0,01 = 1\%, \text{ где } p_0 = 10^5 \text{ Па.}$$

ТЕПЛОВЫЕ ЯВЛЕНИЯ

2.80. Пренебрегая небольшой работой по расправлению камеры до полного объема V , оценим минимальную работу по созданию перепада давлений Δp порядка атмосферного давления p_a при постоянном объеме V : $A \sim p_a V \sim p_a \cdot 2\pi R S \sim 200$ Дж, где $R = 0,35$ м — радиус шины, $S \sim 10$ см² — ее сечение, $p_a \sim 10^5$ Па.

$$2.81. \Delta U = 3 \text{ кДж.}$$

2.82. Под действием перепада давлений Δp во рту горошина массой m , пройдя объем V в трубке, приобретает кинетическую энергию за счет работы газа: $A \sim \Delta p V \sim mv^2/2$. Максимальную длину полета горошины найдем из кинематики: $L \sim vt \sim v\sqrt{2H/g} \sim \sqrt{4H \Delta p V / (mg)}$. Положив $\Delta p \sim 0,1 p_a \sim 10^4$ Па, $V \sim 5 \text{ мм} \times 5 \text{ мм} \times 20 \text{ см} = 5 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$, считая высоту ребенка $H \sim 1$ м и массу горошины $m \sim 10^{-4}$ кг, получаем $L \sim 10$ м.

$$2.83. H = 21 \text{ м.} \quad 2.84. \Delta T = (\eta/100\%) v_0^2 / (8c) = 0,52 \text{ К.} \quad 2.85. \text{ В 4 раза.}$$

$$2.86. t = 1,7 \cdot 10^3 \text{ с} = 28,7 \text{ мин.} \quad 2.87. t = 96,6 \text{ с} = 1,6 \text{ мин.}$$

$$2.88. \Delta t = \frac{1}{2c} \left(v_0^2 \cos^2 \alpha + \left(v_0 \sin \alpha - \frac{gL}{v_0 \cos \alpha} \right)^2 \right) = 0,01 \text{ } ^\circ\text{C.}$$

$$2.89. m_1 = \frac{rm_2 + cm_2(t_2 - t_3)}{\lambda + c(t_3 - t_1)} = 200 \text{ г.}$$

$$2.90. m_{\text{н}} = 30 \text{ кг.} \quad 2.91. \lambda = c(t_1 - t_2)\tau_2/\tau_1 = 335 \text{ кДж/кг.}$$

2.92. $T = 273$ К, при этом растаяла лишь часть льда.

$$2.93. T = (T_1 V_2 + T_2 V_1) / (V_1 + V_2) = 333 \text{ К.}$$

$$2.94. \lambda = c(t_2 - t_1)m_1\tau_2 / (m_2\tau_1) = 336 \text{ кДж/кг.}$$

$$2.95. m = \frac{P\tau_1\tau_2}{c\Delta T(\tau_1 + \tau_2)} = 4,8 \text{ кг.} \quad 2.96. \alpha = 42\%. \quad 2.97. P = MgM\lambda v / (RT).$$

2.98. Из соотношений $A \sim Fl/2 \sim 3\nu R\Delta T/2$ и $\nu = p_0 V_0 / (RT_0)$ находим $\Delta T \sim FT_0 / (3p_0 S)$. При $F \sim 100$ Н, $p_0 \sim 10^5$ Па, $S \sim 1,2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$ получаем $\Delta T \sim 0,25 T_0$ и $T = T_0 + \Delta T \sim 1,25 T_0 \sim 375 \text{ К.}$

$$2.99. \Delta U = 3pV/4 = 750 \text{ Дж.} \quad 2.100. U_1 = 750 \text{ Дж.}$$

$$2.101. \Delta U = 3Q/5, A = 2Q/5. \quad 2.102. Q_1/Q_2 = 5/2.$$

$$2.103. T_1 = T(1 + 2A/(3pV)) = 360 \text{ К.} \quad 2.104. Q = 5A/3.$$

- 2.105. $Q = \frac{5m}{2MR(T_1 - T_2)} = 5,2 \cdot 10^4$ Дж. 2.106. $V_1 = V \sqrt{\frac{4cT + 3pV}{2cT + pV}}$.
- 2.107. $Q = c_p MV \Delta p / R = 1,66 \cdot 10^4$ Дж.
- 2.108. $Q = p_s SL$; указание: в тепло переходит вся работа по приобретению поршнями одинаковых импульсов.
- 2.109. $A = 3\sqrt{aRV_1} = 1,1$ Дж.
- 2.110. $m = (Q_1 - Q_2)M/(R\Delta T) = 0,38$ г.
- 2.111. $Q = \nu R(3T_1 + 2T_2 - 5T_3)/2 = 22,8$ кДж.
- 2.112. $A = mRT/M = 9,1 \cdot 10^3$ Дж; $\Delta U = c_v mT = 22,9 \cdot 10^3$ Дж; $Q = A + \Delta U = 32 \cdot 10^3$ Дж; здесь $M = 32$ г/моль – молярная масса кислорода.
- 2.113. $A = mR(T_2 - T_1)/(2M) = 830$ Дж; $Q = 2mR(T_2 - T_1)/M = 3320$ Дж.
- 2.114. $Q = 2(n^2 - 1)p_0 V_0 = 2 \cdot 10^{-3}$ Дж, где $p_0 = 1$ атм и $V_0 = 22,4$ л.
- 2.115. $\Delta m = \rho A/p = 7,5 \cdot 10^{-3}$ г. 2.116. $n = 3/2 + q/(C_v T_1) = 10$.
- 2.117. 1) $A = 5490$ Дж; $C = -30$ Дж/К.
- 2.118. $Q = (p_0 S + Mg)(H(3\alpha + 2) - 5h)/2 = 210$ Дж.
- 2.119. $\alpha = \sqrt{1 + \frac{2Q}{5(Mg + p_0 S)h}} = 1,1$.
- 2.120. $Q = (5P + 3kH + 4k\Delta h)\Delta h/2 = 18$ Дж.
- 2.121. $p = A/\Delta V = 1,5$ атм; $m_s = MA/(RT) = 10^{-3}$ кг, $m_n = MAV_0/(RT\Delta V) = 8 \cdot 10^{-4}$ кг, где $M = 18$ кг/моль – молярная масса воды, $V_0 = m_s/0,001\rho_s = 1$ л – объем цилиндра.
- 2.122. а) $T_1 = T_0 \left(1 + \frac{Q_1}{4p_0 V_0}\right)$, $Q_2 = \frac{5}{8}Q_1$;
 б) $T_1 = T_0 \left(1 + \frac{2Q_1}{p_0(3V_1 + 5V_2)}\right)$, $Q_2 = Q_1 \frac{5V_2}{3V_1 + 5V_2}$.
- 2.123. $p/p_0 = 1/75$. 2.124. $A = 6250$ Дж.
- 2.125. $T_2 - T_3 = A/R - 2(Q - A)/(3R) = 190$ К.
- 2.126. $Q = (p_1(V_2 - 4V_1) + p_2(V_3 - V_1) + p_3(4V_3 - V_2))/2 = -20$ Дж, т.е. выделилось 20 Дж тепла.
- 2.127. $Q_1 = 5pV/4 = 19$ кДж, $Q_2 = pV/4 = 3,6$ кДж.
- 2.128. $T_1 - T_3 = \frac{1}{c} \left(\frac{\beta Q}{\beta - 1} + \frac{\alpha - 1}{\alpha} \frac{a}{V_1} \right)$.
- 2.129. $A = 13RT_1/8$. 2.130. $\eta = (p_1 - p_2)/(5p_1)$.

$$2.131. Q_{x1} = Q_x/n = 10 \text{ кДж.} \quad 2.132. A = R(T_1 - 2\sqrt{T_1 T_3} + T_3) = 211 \text{ Дж.}$$

$$2.133. \eta = \frac{A_{23} - A_{14}}{3RT_1/2 + A_{23}} = 0,087 = 8,7\%.$$

$$2.134. A = 3(m^2 - 1)RT_0/2 = 11,2 \text{ кДж.}$$

$$2.135. \Delta U_{21} = 3(p_2 - p_1)V_1/2 = 150 \text{ Дж, } \Delta U_{31} = 0, \Delta U_{31} = 3p_1(V_1 - V_2)/2 = -150 \text{ Дж, } \Delta U = 0, A = (p_2 - p_1)(V_2 - V_1)/2 = 50 \text{ Дж.}$$

$$2.136. A = p_1 V_1 + 3p_2 V_2/2 - 5p_1 V_1/2 = 18,8 \text{ кДж.}$$

$$2.137. A = \nu R(\sqrt{T_2} - \sqrt{T_1})^2/2. \quad 2.138. \eta = (A - C_v \Delta T)/A = 2\%.$$

$$2.139. V_3 = \frac{V_1(T_4 V_2 - T_1 V_1)}{T_4 V_1 + T_1 V_2 - 2T_1 V_1} = 2,2 \text{ м}^3.$$

$$2.140. 1) T_1 = 2Q/(9\nu R); 2) A = Q/3.$$

$$2.141. m = P\tau T_1/(\lambda(T - T_1)) = 35,3 \text{ кг.} \quad 2.142. Q = 13,5 \text{ кДж.}$$

$$2.143. v = nQ(T_1 - T_2)/(FT_1) = 2 \text{ м/с.}$$

$$2.144. m_2 = m_1 r T_2/(\lambda T_1) = 4,96 \text{ кг.} \quad 2.145. \eta = 1 - |\Delta T_2|/\Delta T_1 = 0,5 = 50\%.$$

ГЛАВА 3. ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОДИНАМИКИ

ЭЛЕКТРОСТАТИКА

$$3.1. x = 3,4 \text{ м.} \quad 3.2. q_3 = 144,5 \text{ нКл; } x = 0,17 \text{ м.}$$

$$3.3. a = 8 \text{ м/с}^2. \quad 3.4. E = 4kq_1/(3L)^2 = 3 \text{ В/м.}$$

$$3.5. F_x = q_1(q_2 + q_3/4)/(4\pi\epsilon_0 l^2) = 108 \text{ нН.} \quad 3.6. q = Q(\epsilon - 1)/\epsilon.$$

$$3.7. E = mg/q = 6,25 \cdot 10^5 \text{ В/м.} \quad 3.8. \Delta a = qE/m = 8,3 \cdot 10^{-4} \text{ м/с}^2.$$

$$3.9. q = \frac{mg \cos \alpha}{E} \left(1 - \sqrt{1 + \frac{T^2 - (mg)^2}{(mg \cos \alpha)^2}} \right).$$

$$3.10. q = 2l \sin \frac{\alpha}{2} \cdot \sqrt{\frac{mg \sin(\alpha/2)}{k}} = 0,2 \text{ мкКл.}$$

$$3.11. \frac{Q}{m} = \frac{\pi\epsilon_0 a l^2}{2q} = 10^{-4} \text{ Кл/кг.} \quad 3.12. q = 4,6 \cdot 10^{-3} \text{ Кл.}$$

$$3.13. F_x = 128 \text{ нН.} \quad 3.14. \alpha = \arctg \left(\frac{kq^2}{mga^2} \left(\sqrt{2} + \frac{1}{2} \right) \right) = 45^\circ.$$

$$3.15. \alpha_{\text{max}} = \arccos \left(1 - \frac{Q^2 E_0^2 \tau^2}{2m^2 gl} \right); \text{ примечание: при } (QE_0 \tau/m)^2 > 4gl \text{ маятник сделает полный оборот.}$$

$$3.16. F_{\mu} = mg\sqrt{3}/2 = 17 \text{ мН}, a = g = 9,8 \text{ м/с}^2.$$

$$3.17. Q = -2q(d/r)^3 = -50 \text{ мкКл}.$$

$$3.18. \omega_{\max} = \sqrt{4qE/(ml)} = 0,5 \cdot 10^{10} \text{ с}^{-1}. \quad 3.19. \omega > \sqrt{\frac{g}{L} - \frac{q\sigma}{2\epsilon_0 mL}}.$$

$$3.20. \alpha = \arctg n^2.$$

$$3.21. \mu_{\min} = 1/\sqrt{4\lambda^2 - 1} \text{ при } 2\lambda > 1, \text{ где } \lambda = 2\pi\epsilon_0 R^2 mg/(qQ).$$

$$3.22. E > k/(ql). \quad 3.23. F_{\mu} = qQ/(8\pi^2 \epsilon_0 R^2).$$

$$3.24. A = q(\varphi_2 - \varphi_1) = 10 \text{ мкДж}. \quad 3.25. A = QE l \cos \alpha = 5,2 \cdot 10^{-6} \text{ Дж}.$$

$$3.26. A = 6,7 \cdot 10^{-7} \text{ Дж}. \quad 3.27. \varphi = 10 \text{ В}.$$

$$3.28. A = qE\sqrt{(x_3 - x_1)^2 + (y_3 - y_1)^2} = 1,4 \cdot 10^{-3} \text{ Дж}.$$

$$3.29. A = (mg/E)^2 U/q = 5 \text{ Дж}. \quad 3.30. A = 0,24 \text{ Дж}.$$

$$3.31. A = 2qlE. \quad 3.32. \Delta q = qR(1/r_2 - 1/r_1).$$

$$3.33. M/m \geq 4. \quad 3.34. Q = \varphi\epsilon_0 S(1/a - 1/(d-a)).$$

3.35. На положительно заряженную пластину действует сила, направленная по внешнему полю и равная $F_{\pm} = \epsilon_0 E^2 S/2$; на отрицательно заряженную пластину действует такая же по величине сила, но направленная против внешнего поля.

$$3.36. Q = (q_1 h_1 + q_2 h_2)^2 / (2\epsilon_0 S h_1).$$

$$3.37. \text{Через } t = \sqrt{d(d-h)/(gh)} = 3,5 \cdot 10^{-2} \text{ с, с верхней пластиной}.$$

$$3.38. C = 30 \text{ пФ}. \quad 3.39. A_{\min} = C\mathcal{E}^2/4.$$

$$3.40. \text{В 3 раза}. \quad 3.41. A = CU^2(n-1)/2 = 2 \cdot 10^{-8} \text{ Дж}.$$

$$3.42. 1) U = \sqrt{2d^2 F/(\epsilon_0 \epsilon S)} = 150 \text{ В}; 2) \text{увеличится}.$$

$$3.43. U = (U_1 + 2U_2)/3 = 30 \text{ В}.$$

$$3.44. U_1 = UC_2/(C_1 + C_2) = 90 \text{ В}, U_2 = UC_1/(C_1 + C_2) = 30 \text{ В};$$

$$W = C_1 C_2 U^2 / (2(C_1 + C_2)) = 10,8 \text{ мДж}.$$

$$3.45. \alpha = (C_1 + C_2 + C_3 + C_4)/(C_1 + C_2 + C_3) = 1,5.$$

$$3.46. q'_1 = (q_1 + q_2)C_1/(C_1 + C_2) = 1,6 \cdot 10^{-8} \text{ Кл},$$

$$q'_2 = q_1 + q_2 - q'_1 = 3,1 \cdot 10^{-8} \text{ Кл}.$$

$$3.47. F = 4F_0.$$

$$3.48. \text{а) } q = 2\epsilon_1 \epsilon_2 CU/(\epsilon_1 + \epsilon_2); \text{ б) } F_1 = q^2/(2\epsilon_0 \epsilon_1 S), F_2 = q^2/(2\epsilon_0 S),$$

$$p = (F_2 - F_1)/S = q^2(\epsilon_1 - 1)/(2\epsilon_0 \epsilon_1 S^2).$$

$$3.49. \delta = \epsilon(1 - E/E_{np})/(\epsilon - 1) = 2/3.$$

$$3.50. q = \mathcal{E}C(\epsilon - 1)/(2(\epsilon + 1)) = 10^{-4} \text{ Кл}.$$

3.51. $Q = C(\delta - U)^2/2 = 0,2 \text{ Дж}$.

3.52. При соединении разных конденсаторов первый раз незаряженный конденсатор получает меньший заряд, чем остался на заряженном, поэтому при последующих соединениях наблюдается перетекание зарядов, сопровождающееся искрой и характерным шелчком. При соединении же одинаковых конденсаторов, один из которых заряжен, заряды на них выравниваются. Затем после «переворачивания» происходит полная компенсация зарядов, и далее никаких электрических эффектов не наблюдается.

3.53. $\Delta q = 4UC$. 3.54. $|q| = (C_1 + C_2)(\delta_1 + \delta_2) = 12,5 \cdot 10^{-6} \text{ Кл}$.

3.55. $A = C\delta^2(1 - 1/\epsilon)/2$. 3.56. $Q = 3\epsilon_0 S(U_1 + U_2)^2/(4d)$.

Законы постоянного тока

3.57. $R = 15 \text{ Ом}$. 3.58. $I = 4 \text{ А}$.

3.59. $R = U_2/I_2 - (U_2 - U_1)/I_1 = 63,4 \text{ Ом}$.

3.60. $U_1 = \epsilon U/(2\delta - U) = 7,2 \text{ В}$. 3.61. $\epsilon = 3U = 24 \text{ В}$.

3.62. $\delta = U_1 U_2/(2U_2 - U_1) = 6,7 \text{ В}$. 3.63. $R_2 = 9R_1/8 = 90 \text{ Ом}$.

3.64. $U = 6 \text{ В}$. 3.65. $R = \frac{2R_0}{d} \left(\frac{d_1 d_2}{d_1 + d_2} + \frac{(d - d_1)(d - d_2)}{2d - d_1 - d_2} \right)$.

3.66. Ток увеличится в 6 раз.

3.67. $U_{np} = \delta - U(1 + r/R) = 0,18 \text{ В}$; $R_{np} = RU_{np}/U = 2,7 \text{ Ом}$.

3.68. $r = R^2/R_A = 4 \text{ Ом}$.

3.69. 1) $r = R_2(U - IR_1)/(IR_2 - U) = 0,48 \text{ Ом}$; 2) чтобы повысить точность измерений.

3.70. $U'_1 = \delta/(1 + U_2/U_1) = 7,2 \text{ В}$; $U'_2 = \delta - U'_1 = 4,8 \text{ В}$.

3.71. $I = \frac{\delta_1 r_2 + \delta_2 r_1}{r_1 r_2 + R(r_1 + r_2)} = 0,25 \text{ А}$. 3.72. $U_1 = UIR_1/(U + IR_1) = 5 \text{ В}$.

3.73. $\epsilon = U(R_1 + R_2)/R_2 = 21 \text{ В}$; см. рис.3. 3.74. $r_2 = 2r_1 = 3 \text{ Ом}$.

3.75. $r_1 = \delta/I_1 - R = 3,8 \text{ Ом}$; $r_2 = 2\delta/I_2 - R - r_1 = 16 \text{ Ом}$.

3.76. $\delta_1 = (I_1 + I_2)(R + r_1 + r_2)/2 = 4,5 \text{ В}$;

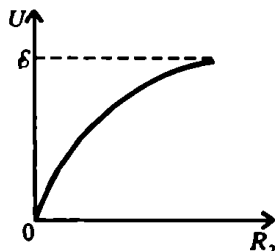


Рис. 3

$\delta_2 = (I_1 - I_2)(R + r_1 + r_2)/2 = 1,5 \text{ В}$.

3.77. $r = 4 \text{ Ом}$.

3.78. $I = Qd/(\epsilon_0 S(R + r)) = 1 \text{ А}$.

3.79. 1) $I = \delta/R$;

2) $C(t) = C_0 + \frac{I_0}{\delta - I_0 R}(t - t_0)$ при $t \geq t_0$.

3.80. От $U/2 = 18 \text{ В}$ до $U/12 = 3 \text{ В}$.

$$3.81. I = \varepsilon/R; U_3 = \varepsilon \frac{2C_1C_2 + C_3(C_1 + C_2)}{C_1C_2 + C_2C_3 + C_1C_3} = \frac{13}{11} \varepsilon.$$

$$3.82. q = C\varepsilon R/(R+r) = 10 \text{ мкКл.}$$

$$3.83. \varphi_A - \varphi_B = \varepsilon \frac{R_2C_2 - R_1C_1}{(R_1 + R_2 + r)(C_1 + C_2)} = 4,27 \text{ В.}$$

$$3.84. q = \frac{\varepsilon(C_1 + C_2)(C_3 + C_4)}{C_1 + C_2 + C_3 + C_4} = 1,1 \cdot 10^{-4} \text{ Кл.}$$

$$3.85. 1) \varepsilon = 2U_1 = 12 \text{ В; } 2) U_2 = U_1/2 = 3 \text{ В.}$$

$$3.86. \text{В } 8 \text{ раз. } 3.87. R = (\varepsilon - U)U/P = 27 \text{ Ом. } 3.88. \Delta T = 3 \text{ К.}$$

$$3.89. I = \sqrt{mL/(R\tau)} = 19,6 \text{ А. } 3.90. P_2 = I_2(P_1/I_1 + I_1r - I_2r) = 11,2 \text{ Вт.}$$

$$3.91. R = U_1(U_2 - U_1)/P = 24,2 \text{ Ом.}$$

$$3.92. r = P/I^2 = 1 \text{ Ом; } \varepsilon = 2Ir = 6 \text{ В.}$$

$$3.93. \frac{P_2}{P_1} = \frac{2(R+r)^2}{(2R+r)^2} = 0,6. \quad 3.94. r = R_1(n-m)/(n(n-1)) = 1/6 \text{ Ом.}$$

$$3.95. \alpha = 2 + P_1/P_2 + P_2/P_1 = 4,5.$$

$$3.96. \alpha = 2k - 1 \pm 2\sqrt{k^2 - k} = 3 \pm 2\sqrt{2}; \alpha_1 = 0,17, \alpha_2 = 5,83.$$

$$3.97. \eta_2 = \left(1 \pm \sqrt{1 - 4P_2\eta_1(1 - \eta_1)/P_1}\right)/2; \eta_2 = 0,75 \text{ либо } \eta_2 = 0,25, \text{ при этом в первом случае сопротивление резистора больше внутреннего сопротивления источника, а во втором случае - меньше.}$$

3.98. Разогретая светящаяся лампочка при температуре спирали $T_0 \approx 3000 \text{ К}$, напряжении сети $U = 220 \text{ В}$ и сопротивлении R_0 потребляет мощность $P_0 = U^2/R_0$. Например, если $P_0 = 100 \text{ Вт}$, то $R_0 = 48,4 \text{ Ом}$. В холодном состоянии при температуре $T \approx 300 \text{ К}$ мощность $P = U^2/R$. Для металлов в диапазоне температур от 300 до 3000 К сопротивление от температуры зависит линейно: $R/T = R_0/T_0$. Тогда $P/P_0 = R_0/R = T_0/T \approx 10$, $R = R_0T/T_0 \approx 5 \text{ Ом}$ и $P = P_0T_0/T \approx 1 \text{ кВт}$.

$$3.99. m = 4 \cdot 10^6 \text{ кг.}$$

$$3.100. U = \varepsilon_2 - \sqrt{Pr_2} = 7 \text{ В; } R = (\varepsilon_1 + \varepsilon_2)\sqrt{r_2/P} - r_1 - r_2 = 7 \text{ Ом.}$$

$$3.101. R = r(2\sqrt{k} - 1)/(2 - \sqrt{k}) = 0,8 \text{ Ом.}$$

$$3.102. Q = C\varepsilon^2 R_2^2 / (2(R_1 + R_2)^2) = 0,2 \text{ Дж.}$$

$$3.103. Q = C\varepsilon^2 R / (2(R+r)) = 9 \cdot 10^{-5} \text{ Дж.}$$

$$3.104. Q = C_1C_2\varepsilon^2 / (2(C_1 + C_2)).$$

$$3.105. \Delta W = \frac{\varepsilon^2(R_1 + R_2)^2 C_2}{2(R_1 + R_2 + r)^2} \left(\left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right)^2 - \left(\frac{C_1}{C_1 + C_2} \right)^2 \right).$$

- 3.106. 1) Ток направлен от пластины 1 к пластине 2 и равен $I = q(d - 2a)/(\epsilon_0 SR)$; 2) $Q = q^2 d(1 - 2a/d)^2 / (2\epsilon_0 S)$.
- 3.107. $Q = \epsilon^2 (C_1 + C_2)/2 = 2,7 \cdot 10^{-2}$ Дж.
- 3.108. 1) $I_0 = (\epsilon_1 + \epsilon_2)/(3R)$; 2) $Q = C_1 \epsilon_1^2/2 + C_2 \epsilon_2^2/2$.
- 3.109. $\alpha = R_1^2 / (R_1 + R + r)^2 = 1/16$.
- 3.110. $W = C\epsilon^2/54$. 3.111. $\alpha = \Delta RS^2 c\rho / (\rho_c \Delta W) = 0,0375$ град $^{-1}$.
- 3.112. $m = kW/U = 0,59$ кг. 3.113. $\alpha = n^2 = 4$.

МАГНИТНОЕ ПОЛЕ. ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ИНДУКЦИЯ

3.114. См. рис.4. 3.115. $I = 5$ А.

3.116. 1) $I_1 = US/(3\rho L)$, $I_2 = US/(\rho L)$; 2) $F = 4BUS/(3\rho)$, вектор силы лежит в плоскости контура и перпендикулярен стороне квадрата,

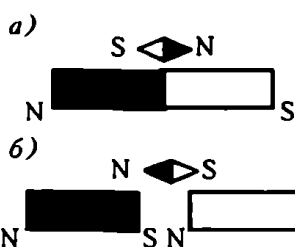


Рис. 4

непосредственно подключенной к источнику.

3.117. 1) $M = IBa^2 \sin \alpha = 0,5 \cdot 10^{-7}$ Н·м; 2) когда плоскость рамки перпендикулярна полю, причем направление магнитного поля рамки совпадает с направлением внешнего поля.

3.118. $a_{\max} = g(b/(2h) - \mu)$. 3.119. В 2 раза. 3.120. $R = 6$ мм.

3.121. $R = \sqrt{2mU/(eB)^2} = 3,8 \cdot 10^{-4}$ м.

3.122. $e/m = 2U/(BR)^2 = 1,76 \cdot 10^{11}$ Кл/кг.

3.123. $R = mv/(eB) = 0,28$ м; $A = 0$. 3.124. $T_p = T_e m_p / m_e = 2 \cdot 10^{-5}$ с.

3.125. $\Delta p = 7,4 \cdot 10^{-21}$ кг·м/с.

3.126. $\Delta p = \sqrt{2}mv \sin \varphi \cdot \sqrt{1 - \cos \frac{eBl}{mv \cos \varphi}}$.

3.127. $a = \frac{e}{m} B \sin \alpha \cdot \sqrt{2 \frac{e}{m} (\varphi_1 - \varphi_2)} = 2 \cdot 10^{12}$ м/с 2 .

3.128. $B = n(2\pi mv \cos \alpha)/(eL)$, где n — целое число.

3.129. $E = 8$ кВ/м. 3.130. $v = -3v_0$. 3.131. $E/(v_0 B) = \beta/4$.

3.132. $l = 2m(k-1)(v + ku/2)/(qB)$. 3.133. $v_{\max} = mgR/(Bl)^2 = 1$ м/с.

3.134. $Q = (\epsilon - BvL)^2 Rt/(R+r)^2 = 64$ Дж.

3.135. $I_{\min} = \frac{mg(\sin \alpha - \mu \cos \alpha)}{Bl(\mu \sin \alpha + \cos \alpha)} = 33,2$ А.

- 3.136. $P = (Bvd/(R + \rho d/S))^2 R$. 3.137. $W_{\max} = 5 \cdot 10^{-5}$ Дж.
- 3.138. Переключатель движется вниз со скоростью $v = 2\delta/(BL)$.
- 3.139. $B = (1 + \sqrt{2})I\rho/(\sqrt{2}vS)$. 3.140. $a = v_0 l^2 B^2/(MR)$.
- 3.141. $v_0 = RCmg/(m + B^2 l^2 C)$.
- 3.142. $\Phi = \pi m^2 v^2/(e^2 B) = 10^{-8}$ Вб; $T = 2\pi m/(eB) = 3,5 \cdot 10^{-9}$ с.
- 3.143. $\Delta t = \Delta\Phi/\mathcal{E} = 0,5$ с; $I = \mathcal{E}/R = 3,3$ А.
- 3.144. $\mathcal{E} = 5$ В. 3.145. $I = \pi r^2 B_0/L$. 3.146. $\Delta\Phi_{\max} = 125$ мВ.
- 3.147. $q = Br/(2R_0) = 12,5$ мкКл. 3.148. $q = 2\pi r^2 B/R = 3,14 \cdot 10^{-6}$ Кл.
- 3.149. $q = (Ba^2 \sin \alpha)/R = 10^{-2}$ Кл. 3.150. $|\Delta\Phi| = \frac{R_2 - R_1}{R_2 + R_1} \frac{\pi r^2}{2} \left| \frac{\Delta B}{\Delta t} \right|$.
- 3.151. $Q = (B_1 \pi d^2/4)^2/(Rt_1) = 9,8 \cdot 10^{-7}$ Дж.
- 3.152. $I_2 = \pi I_1/4 = 0,3$ А. 3.153. $q = CN\pi D^2 (\Delta B/\Delta t)/4 = 2 \cdot 10^{-9}$ Кл.
- 3.154. $q = \mathcal{E}\Delta t/(NR) = 2,5 \cdot 10^{-3}$ Кл. 3.155. $Q = 2B^2 va^3/R$.
- 3.156. $P = \mathcal{E}^2/(N^2 R) = 5 \cdot 10^{-4}$ Вт.
- 3.157. $\Delta\Phi = \pi nBl(l - 2l_1) = 5$ мВ. 3.158. $j = AR/(2\rho)$.
- 3.159. 1) Появляется вихревое электрическое поле, которое действует на заряды кольца; 2) $\omega = QB_0/(2m)$.
- 3.160. $v = 4mgR/(Br)^2$. 3.161. $U_2 = U_1 m_2/m_1$.
- 3.162. Ток течет справа налево и равен $I = \frac{\mathcal{E}_1 r_2}{r_1 r_2 + R(r_1 + r_2)} = 1$ А.
- 3.163. $Q_2 = \frac{Q_1 R_2}{R_1}$; $\mathcal{E} = \sqrt{2Q_1(R_1 + R_2)/(LR_1)R_3}$.
- 3.164. а) $-\mathcal{E}$, \mathcal{E} ; б) $-\mathcal{E}R/(R + 2r)$, \mathcal{E} .

ГЛАВА 4. ОПТИКА

ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ ОПТИКА

- 4.1. Считая, что стенки колодца поглощают свет, для отношения освещенностей получаем $I/I_0 \sim S/r^2 \sim d^2/h^2 \sim 1/100$, где ширина колодца $d \sim 1$ м, а глубина $h \sim 10$ м.
- 4.2. $h_{\min} = 85$ см. 4.3. $\alpha = 24^\circ$.
- 4.4. 1) $x = 2l_1 + l_2 = 5$ м; 2) ромб с диагоналями 40 см и 30 см.
- 4.5. $v_{\text{отн}} = 2v \sin \alpha = 1$ м/с. 4.6. $\beta = (\pi/2 + \varphi + \arcsin(n \sin \alpha))/2 = 89^\circ$.
- 4.7. $AB = 2d(1 - 1/\sqrt{2n^2 - 1})$.
- 4.8. Если жидкости в пробирке нет, экрана достигает лишь узкая часть

пучка, и на экране получается темный силуэт пробирки с небольшим просветом вдоль оси, так что колечка практически не видно. Если в пробирке есть жидкость, то при тонких стенках пробирки лучи идут к экрану, как будто пробирки нет, в результате чего на экране возникает тень – силуэт колечка.

$$4.9. h = 2r/(n^2 - 1). \quad 4.10. n = \sqrt{3} = 1,7. \quad 4.11. \alpha = \theta/(n - 1).$$

$$4.12. \alpha = \arctg n = 58^\circ. \quad 4.13. \alpha_2 = \arcsin(\sin \alpha_1 \cdot n_2/n_1) = 42,5^\circ.$$

4.14. Изображение «заполнит» весь сосуд при выполнении условия $\sin \beta = 1/n$, где n – показатель преломления воды (рис.5).

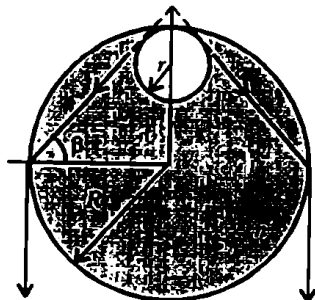


Рис. 5

$$4.15. h = \frac{h_2 \operatorname{tg} \alpha_2 - h_1 \operatorname{tg} \alpha_1}{\frac{\sin \alpha_1}{\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha_1}} - \frac{\sin \alpha_2}{\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha_2}}}.$$

$$4.16. l_{\max} = Hn/\sqrt{n^2 - 1} = 1,82 \text{ м.}$$

4.17. 1) $D = d\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha}/(n \cos \alpha) = 15,2 \text{ см};$
2) ширина пучка не изменится, но пучок сместится параллельно самому себе.

$$4.18. r_1/r_2 = \sqrt{(n_2^2 - 1)/(n_1^2 - 1)} = 1,01.$$

$$4.19. h = 10 \text{ см.} \quad 4.20. \varphi = 120^\circ.$$

$$4.21. \sin \alpha > \sqrt{n^2 - 1} \sin \beta - \cos \beta = 0, \quad \alpha > 0.$$

$$4.22. n = 2 \cos \alpha = 1,73 \text{ при } \alpha < 45^\circ. \quad 4.23. H = h(n - 1)\alpha^2 = 2,5 \text{ см.}$$

$$4.24. S = \pi \left(R + H/\sqrt{n^2 - 1} \right)^2 = 38 \text{ м}^2.$$

$$4.25. h = d\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha}/\sin \alpha = d\sqrt{3}. \quad 4.26. n > \sqrt{2}.$$

$$4.27. r_{\min} = d(n - 1) = 5 \text{ мм.}$$

4.28. Причина – в явлении полного внутреннего отражения света.

$$4.29. y_1 = 2d \cos \alpha / \sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha};$$

$$y_2 = d + 2l \operatorname{ctg} \alpha - d \cos \alpha / \sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha}.$$

$$4.30. \text{ а) } \alpha = \arccos(\cos \theta \cdot (1 + bz/n_0)); \quad \text{ б) } R = n_0/(b \cos \theta).$$

$$4.31. h_{\max} = n_0(1 - \sin \alpha)/k = 1 \text{ м.}$$

$$4.32. \alpha = \arcsin(2Hn_0R/r_0^2) = 2^\circ.$$

$$4.33. d \leq 2R/n = 5,7 \text{ см.} \quad 4.34. f = Rn/\sqrt{n^2 - 1}. \quad 4.35. OA = 20R/7.$$

$$4.36. n = a_2/a_1. \quad 4.37. d = 40 \text{ см.} \quad 4.38. a = 40 \text{ см.}$$

4.39. При удалении от линзы за двойное фокусное расстояние.

$$4.40. f_1 = 0,9 \text{ м; } f_2 = 0,1 \text{ м.} \quad 4.41. D = (\Gamma - 1)^2/(\Gamma L) = 2 \text{ дптр.}$$

$$4.42. F = d(d + \Delta d)/(d - \Delta d) = 0,15 \text{ м (заметим, что } \Delta d < 0).$$

- 4.43. 1) $d_1 = 5F$, $f_1 = 1,25F$; $d_2 = 1,25F$, $f_2 = 5F$;
2) причина – в обратимости световых лучей.
- 4.44. Линза создает на экране изображение тени, возникающей на матовом стекле. По мере приближения к нему резкость (сфокусированность) падает вплоть до исчезновения.
- 4.45. $\beta = \arctg(1 - a/F) \operatorname{tg} \alpha = 5^\circ$. 4.46. $L = F(\Gamma + 1)^2 / \Gamma = 90$ см.
- 4.47. $D_1 = 5D$. 4.48. $F = d / (\operatorname{tg} \beta / \operatorname{tg} \alpha - 1) = 0,12$ м.
- 4.49. $\Gamma = \sqrt{n} = 2$. 4.50. $D = (1 + \sqrt{\alpha})^2 / (L\sqrt{\alpha}) = 5$ дптр.
- 4.51. $l > 2F(1 + F/\Delta) = 60$ см. 4.52. $d = F(\Gamma + 1)/\Gamma = 6,7$ см.
- 4.53. $d = F\sqrt{k^2 - 1} = 5,2$ см. 4.54. $F = abc / (b - a)^2 = 90$ см.
- 4.55. $D = -(1 - \Gamma)^2 / (L\Gamma) = -10$ дптр.
- 4.56. 1) $\beta = 2\alpha = 0,16$; 2) на расстоянии $F/2 = 10$ см от линзы и $H = h/2 = 1$ см от главной оптической оси.
- 4.57. Изображение действительное и перевернутое.
- 4.58. $F = (\sqrt{2} + 1)b = 9,6$ см.
- 4.59. Указание: воспользуйтесь формулой линзы и свойствами подобных треугольников.
- 4.60. $l_{\min} = 4F = 40$ см; $\Gamma = 1$.
- 4.61. Плоскопараллельная пластина (прямоугольный сосуд с водой) смещает параллельный пучок лучей, а линза собирает их в фокус.
- 4.62. $\Gamma_3 = 2\Gamma_1\Gamma_2 / (\Gamma_1 + \Gamma_2) = 2,4$.
- 4.63. $x \sim d_F^2 / (\alpha d_L) \sim 3$ мм при угловом размере Солнца $\alpha = 10^{-2}$ рад, диаметре пятна в фокусе $d_F = 10^{-1}$ см и диаметре линзы $d_L = 3$ см.
- 4.64. См. рис.6. 4.65. $D = (\Gamma - 1) / (\Gamma d) = 20$ дптр.
- 4.66. $l = 4$ см. 4.67. $d = Ff / (F + f) = 14,7$ см; $\Gamma = F / (F - d)$ (см. рис.7).
- 4.68. $F = dL / (L + l) = 25$ см. 4.69. $\Gamma = 1/3$.
- 4.70. $\Gamma = 2$. 4.71. 1) $f = L / (1 - r/R) = 30$ см; 2) $F = 10$ см.
- 4.72. $L = (d - vt)F / (F - d + vt) = 0,2$ м.
- 4.73. $v_{\text{ср}} = v(f_1 - F)(f_2 - F) / F^2 = 6$ см/с. 4.74. $v_1 = 2v = 0,4$ м/с.

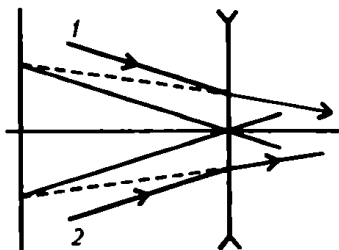


Рис. 6

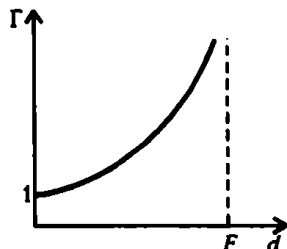


Рис. 7

$$4.75. T = 2\pi A/V_m = 0,63 \text{ с}; v_m = V_m/(LD - 1) = 0,67 \text{ м/с}.$$

$$4.76. F = 2 \text{ см}. \quad 5.77. u = v(L + l/(2n) - F)/F = 20 \text{ см/с}.$$

$$4.78. H = h(\Gamma + 1) = 5 \text{ мм}. \quad 4.79. H = hl/F = 3 \text{ мм}.$$

$$4.80. \alpha = \arccos \frac{2d + \Delta l}{Dd(d + \Delta l)} = \arccos 0,9.$$

$$4.81. x = 4F(1 - \cos \alpha)/(2 \cos \alpha - 1) = 51,3 \text{ см}.$$

$$4.82. a = Ad/(d - F) = 0,6 \text{ см}.$$

$$4.83. d_1 = D/2^N, \text{ если свет попадает сначала на собирающую линзу, и} \\ d_2 = D \cdot 2^N, \text{ если на рассеивающую.}$$

$$4.84. x = 3F/2 = 45 \text{ см}. \quad 4.85. x = F(2d - F)/(2(d - F)) = 1,75 \text{ м}.$$

$$4.86. 1) l = 2F = 40 \text{ см}; 2) v = 4\omega F = 8 \text{ см/с}, \beta = 30^\circ.$$

$$4.87. f_2 = F_2(F_1 + a)/(F_1 + a - F_2) = 126 \text{ см}.$$

$$4.88. f = -2F/3 = -40 \text{ см (изображение мнимое)}.$$

$$4.89. r = RF_2/F_1 = 0,75 \text{ см}.$$

Волновая оптика

$$4.90. \lambda = 160 \text{ нм}.$$

$$4.91. \text{Светящийся объект виден невооруженным глазом как точка,} \\ \text{начиная с расстояний, когда угол дифракции на зрачке глаза} \\ \alpha_1 \sim \lambda/d \text{ становится сравнимым с угловым размером объекта} \\ \alpha_2 \sim D/l. \text{ Положив длину световой волны } \lambda \sim 5 \cdot 10^{-5} \text{ см, диаметр} \\ \text{зрачка в темноте } d \sim 0,5 \text{ см, диаметр объекта - Солнца - } D = \\ = 1,4 \cdot 10^6 \text{ км, получим расстояние до Солнца: } l \sim 1,4 \cdot 10^{10} \text{ км}.$$

$$4.92. \Delta x = F\lambda/d.$$

$$4.93. 1) b = a/2 = 0,5 \text{ см}; 2) L = F(D + a)/(2D + a) = 55 \text{ см}.$$

$$4.94. \text{Интерференционная картина будет двигаться равномерно вниз со} \\ \text{скоростью } v = \alpha k L \Delta h / \lambda.$$

$$4.95. x_1 = -L/3 = -5/3 \text{ м}; x_2 = L = 5 \text{ м}.$$

$$4.96. \Delta x = \lambda/(2(n - 1)\alpha). \quad 4.97. \Delta x = \lambda/((n - 1)\alpha).$$

$$4.98. f = 2av/(L\lambda) = 10 \text{ Гц}. \quad 4.99. \Delta x = \lambda F/d = 0,2 \text{ см}.$$

$$4.100. \alpha_{\min} = \lambda/b = 5 \cdot 10^{-4} \text{ рад}.$$

ВЫШЛИ ИЗ ПЕЧАТИ СЛЕДУЮЩИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ К ЖУРНАЛУ «КВАНТ»

Материалы вступительных экзаменов. Задачи по математике и физике

Физический калейдоскоп, или Фрагменты из жизни замечательных людей, идей и понятий

Школа в «Кванте». Математика (арифметика и алгебра; алгебра и анализ; геометрия)

Школа в «Кванте». Физика 9 – 11 (выпуски 1 – 3)

Практикум абитуриента. Математика (алгебра и тригонометрия; геометрия: выпуски 1 – 3)

Практикум абитуриента. Физика (механика; электричество и магнетизм; молекулярная физика, оптика, квантовая физика)

Московские математические олимпиады 60 лет спустя

Современная физика – из первых рук

Из истории науки

Задачник «Кванта». Математика (части 1 – 3)

Задачник «Кванта». Физика (части 1 – 3)

Математический кружок (выпуски 1 и 2)

Они создавали физику

«Квант» для младших школьников. Математика 6 – 8

Олимпиады по астрономии и космической физике

Избранные статьи Н.Б.Васильева

Приложение к журналу «Квант» № 1/99
**МАТЕРИАЛЫ ВСТУПИТЕЛЬНЫХ ЭКЗАМЕНОВ
ПО ФИЗИКЕ**

Под редакцией *А.И. Черноуцана*

Составитель *В.А. Тихомирова*

Редактор *В.А. Тихомирова*

Литературный редактор *Л.В. Кардасевич*

Технический редактор *Е.В. Морозова*

Компьютерная группа

Е.А. Митченко, Л.В. Калиничева

ИБ № 36

Формат 84×108 1/32. Бум. офс. нейтр. Гарнитура кудряшевская.

Печать офсетная. Усл. печ. л. 6,72.

Заказ 251.

117296 Москва, Ленинский пр., 64-А

«Квант»

Отпечатано на Ордена Трудового Красного Знамени

Чеховском полиграфическом комбинате

Комитета Российской Федерации по печати

142300 г. Чехов Московской области

Тел. (272) 71-336, факс (272) 62-536