

**Для**  
**ПОСТУПАЮЩИХ**  
**в ВУЗЫ**

**С.И.Ильин В.А.Никитенко**  
**А.П.Прунцев**

**СБОРНИК**  
**ЗАДАЧ**  
**ПО ФИЗИКЕ**

*Допущено  
Департаментом общего среднего образования  
Министерства образования Российской Федерации  
в качестве пособия для поступающих в высшие  
учебные заведения*



Москва  
«Высшая школа» 2001

УДК 53  
ББК 22.3  
И 46

Рецензенты: методист УМЛ физики МИПКРО А.Р. Зильберман; научный сотрудник МГУ им. М.В. Ломоносова А.В. Селиверстов; доцент кафедры физики Московского энергетического института В.С. Спивак; доцент Московского государственного инженерно-физического института С.Г. Рубин

**Ильин С.И., Никитенко В.А., Пруцев А.П.**  
И 46 Сборник задач по физике для поступающих в вузы: Учеб. пособие. — М.: Высш. шк., 2001. — 246 с.: ил.

ISBN 5-06-003979-X

В учебном пособии собраны задачи, соответствующие программе для поступающих в высшие учебные заведения и успешно апробированные авторами на факультете довузовской подготовки Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ) и, в частности, в его физико-математической школе. Значительная часть пособия посвящена решению типовых задач, аналогичных задачам письменных вступительных экзаменов по физике в ведущие технические вузы. К каждой теме даны краткие указания и примеры, касающиеся общей методики решения задач, подробные решения приведены для методически наиболее важных заданий.

*Сборник задач предназначен для старшеклассников, поступающих в вузы, и учащихся физико-математических школ, будет полезен студентам младших курсов технических вузов.*

УДК 53  
ББК 22.3

ISBN 5-06-003979-X

- © ГУП «Издательство «Высшая школа», 2001
- © Московский государственный университет путей сообщения, 2001
- © Коллектив авторов, 2001

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

## СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие.....	4
1. МЕХАНИКА.....	5
1.1. Кинематика.....	5
1.2. Динамика.....	18
1.3. Импульс, работа, энергия, законы сохранения в механике.....	30
1.4. Статика, гидростатика.....	48
2. МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА И ТЕПЛОВЫЕ ЯВЛЕНИЯ.....	61
2.1. Основы молекулярно-кинетической теории.....	61
2.2. Уравнение состояния идеального газа. Газовые законы.....	65
2.3. Внутренняя энергия. Количество теплоты. Работа в термодинамике. Первый закон термодинамики. Тепловые двигатели.....	75
2.4. Влажность воздуха. Поверхностное натяжение жидкостей. Капиллярные явления. Свойства твердых тел. Упругие деформации ..	87
3. ЭЛЕКТРИЧЕСТВО И МАГНЕТИЗМ.....	93
3.1. Электростатика.....	93
3.2. Постоянный электрический ток.....	108
3.3. Магнетизм.....	125
4. КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ.....	135
4.1. Механические колебания и волны.....	135
4.2. Электромагнитные колебания и волны. Передача электроэнергии. ....	141
5. ОПТИКА И СТРОЕНИЕ ВЕЩЕСТВА.....	146
5.1. Оптика.....	146
5.2. Строение вещества.....	159
ОТВЕТЫ, УКАЗАНИЯ И РЕШЕНИЯ.....	163
Механика.....	163
Молекулярная физика и тепловые явления.....	191
Электричество и магнетизм.....	204
Колебания и волны.....	221
Оптика и строение вещества.....	227
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	238
Список использованной литературы.....	242
Примерная программа вступительных экзаменов в высшие учебные заведения по физике.....	243

## ПРЕДИСЛОВИЕ

**Сборник задач по физике, предлагаемый авторами, может быть успешно применен для подготовки к вступительным экзаменам по физике в ведущие технические вузы России.** Основой для этого служит использование стандартных заданий (типичных для экзаменационных билетов и сборников задач, разработанных различными вузами), большой практический опыт авторов при работе с абитуриентами и многолетняя апробация предлагаемого учебного пособия в системе довузовской подготовки Московского государственного университета путей сообщения.

На письменных экзаменах по физике обычно отсутствуют вопросы по теории, поэтому нет необходимости запоминать вывод формул. Важнее запомнить сами формулы, научиться формулировать основные физические законы, знать определение физических величин и уметь бегло решать типовые задачи сборника, подобранные и разработанные авторами с учетом различного уровня подготовки учащихся (задачи повышенной сложности отмечены звездочкой). Расположение задач соответствует поэтапному освоению предмета в соответствии с программой средней школы по физике и программой для поступающих в вузы, в целом они охватывают все необходимые разделы курса. Наличие нескольких однотипных задач, близких по условию, и их последовательное усложнение позволяет, на наш взгляд, двигаться от простого к сложному, давая возможность преподавателю, рассматривая примеры решения задач, задавать на самостоятельную проработку учащихся аналогичные задачи. Приведенные примеры решения задач достаточно подробны, и учащийся сможет в них самостоятельно разобраться.

В учебное пособие вошли некоторые задачи из сборников, которые указаны в списке литературы. Авторам этих сборников, чьи идеи использовались в качестве отправной точки при написании данного пособия, мы выражаем искреннюю благодарность. Наличие списка использованной литературы в конце книги позволяет, взяв предлагаемое учебное пособие за основу, выбрать дополнительные пути подготовки в соответствии с запросами учащихся. В конце книги представлен также и основной справочный материал.

Авторы признательны всем преподавателям кафедр физики МИИТ за сделанные замечания в процессе использования предлагаемого сборника задач. Особую роль (наша особая признательность) в подготовке настоящего издания сыграл доцент Селезнев В.А.

В заключение выражаем благодарность профессору Денисову Ф.П., принявшему участие в обсуждении многих задач пособия, а также нашим рецензентам за доброжелательную критику, способствовавшую улучшению данного издания.

Отдавая себе отчет в том, что предлагаемое учебное пособие не лишено недостатков, авторы с благодарностью примут все пожелания и замечания; просим направлять их по адресу: 101475, ГСП-4, Москва, ул. Образцова, 15, МИИТ, факультет довузовской подготовки.

*Авторы*

# 1. Механика

## 1.1. Кинематика

**П 1.1.** Тело, начальная скорость которого равна нулю, в течение времени  $t_1=5$  с двигалось равноускоренно с ускорением  $a=2$  м/с<sup>2</sup>. Далее путь  $S_2=50$  м тело двигалось равномерно. Определить среднюю скорость тела.

**Решение:** Средняя скорость тела  $v_{cp}=S/t$  ( $S$  – путь, проходимый телом за время  $t$ ). Разделим  $S$  на два участка:  $S_1$  и  $S_2$ . На первом участке тело движется равноускоренно, а на втором – равномерно. Соответственно,  $t=t_1+t_2$ . Из уравнения равноускоренного движения  $S_1=at_1^2/2$ . На втором участке скорость тела  $v_2=at_1$ . Так как  $S_2=v_2t_2$ , то  $t_2=S_2/(at_1)$ . Следовательно,

$$v_{cp} = S / t = \frac{S_1 + S_2}{t_1 + t_2} = \frac{at_1^2 / 2 + S_2}{t_1 + S_2 / (at_1)} = \frac{(at_1^2 + 2S_2)at_1}{2(at_1^2 + S_2)} = 7,5 \text{ м/с.}$$

**П 1.2.** С воздушного шара, поднимающегося вертикально вверх с постоянной скоростью, для определения высоты шара сброшен горизонтально груз, который через  $t_1=5$  с достиг Земли. Определить, на какой высоте  $H$  находился шар в момент достижения грузом Земли.

**Решение:** Направим ось  $y$  вертикально вверх (рис. 1.1), а начало отсчета выберем на поверхности Земли. Пусть  $v_0$  – модуль вектора скорости шара,  $h$  – высота, на которой сброшен груз. Время отсчитываем с момента отделения груза от шара. Тогда уравнение движения шара имеет вид  $y_w=h+v_0t$ , а груза  $y_z=h+v_0t-gt^2/2$  (начальная скорость груза равна скорости шара). По условию в момент

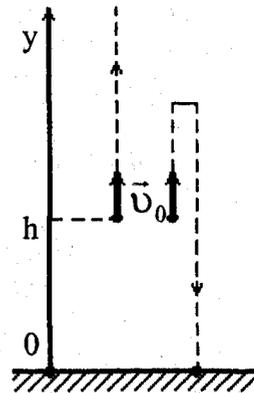


Рис 1.1

$t=t_1$ ,  $y_e(t_1)=0$ , а  $y_w(t_1)=H$  – искомая величина. Следовательно,  
 $H = h + v_0 t_1$ ;  $0 = h + v_0 t_1 - gt_1^2 / 2$ .

Решив систему уравнений находим, что  $H = gt_1^2 / 2 = 122,6$  м.

**П 1.3.** Из точки, находящейся на высоте  $h$  над Землей бросили тело под углом  $\alpha$  к горизонту с начальной скоростью  $\vec{v}_0$ . Определить наибольшую высоту подъема тела над Землей  $H$ , дальность полета  $l$  и модуль вектора скорости в точке падения на Землю  $v_k$ .

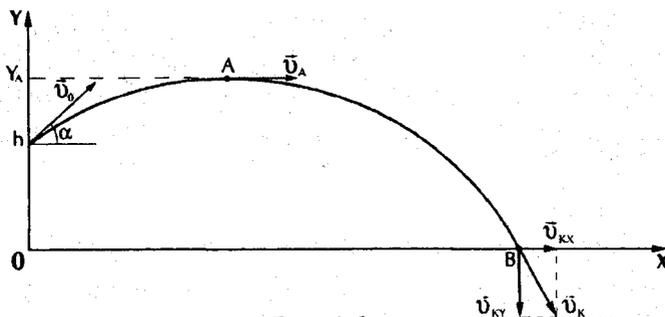


Рис 1.2

**Решение:** Направим ось  $x$  горизонтально (рис. 1.2), ось  $y$  – вертикально вверх. Запишем уравнения движения тела по осям координат:

$$x = tv_0 \cos \alpha, \quad (1)$$

$$y = h + tv_0 \sin \alpha - \frac{gt^2}{2}. \quad (2)$$

Величины составляющих вектора скорости движения тела по осям  $x$  и  $y$ :

$$v_x = v_0 \cos \alpha, \quad (3)$$

$$v_y = v_0 \sin \alpha - gt. \quad (4)$$

В точке наибольшего подъема тела (точка  $A$  – вершина параболы) скорость тела направлена горизонтально, т. е.  $v_y = 0$ . Полагая в (4)  $v_y = 0$ , определяем время подъема тела

$t_A = v_0 \sin \alpha / g$ . Наибольшая высота подъема тела  $H$  соответствует  $y$  – координате точки  $A$ . Подставив в (2) выражение для  $t_A$ , получаем  $H = y_A = y(t_A) = h + v_0^2 \sin^2 \alpha / 2g$ . В точке падения тела на Землю (точка  $B$ )  $y = 0$ . Следовательно, из (2) можем определить время полета тела  $t_B$ , решив квадратное уравнение:  $0 = h + v_0 \sin \alpha t_B - gt_B^2 / 2$ ,

$$t_B = \frac{v_0 \sin \alpha + \sqrt{v_0^2 \sin^2 \alpha + 2gh}}{g}. \quad (5)$$

Используя (1) и (5) определяем дальность полета  $l = t_B v_0 \cos \alpha$ .

Модуль вектора скорости тела в точке падения  $v_k = \sqrt{v_{kx}^2 + v_{ky}^2}$ .

Как видно из (3)  $v_{kx} = v_x = v_0 \cos \alpha$ . Из (4) и (5) находим

$$v_{ky} = v_0 \sin \alpha - gt_B.$$

$$v_k = \sqrt{v_0^2 \cos^2 \alpha + v_0^2 \sin^2 \alpha - 2v_0 gt_B \sin \alpha + g^2 t_B^2} = \sqrt{v_0^2 + 2gh}.$$

Модуль вектора скорости тела в точке падения можно также определить, используя закон сохранения энергии.

**П 1.4.** Квадратная рама (рис. 1.3) равномерно вращается вокруг оси, перпендикулярной плоскости рамы и проходящей через одну из вершин  $A$ . Модуль центростремительного (нормального) ускорения вершины  $C$ , принадлежащей диагонали квадрата  $AC$ ,  $a = 2m/c^2$ , а модули линейных скоростей двух других вершин составляют  $v=1$  м/с. Определить период вращения рамы  $T$ .

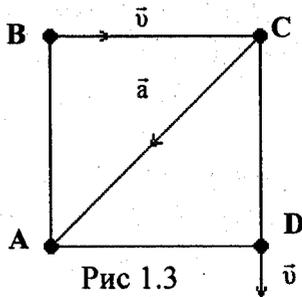
**Решение:** Пусть  $l$  – сторона квадрата.

Тогда модули скоростей точек  $B$  и  $D$

(рис.1.3)  $v = l \frac{2\pi}{T}$ , а модуль вектора у-

скорения точки  $C$   $a = \omega^2 R = 4\pi^2 R / T^2$

(здесь  $R = l\sqrt{2}$  – длина диагонали квадрата). Исключив из двух уравнений



величину  $l$  имеем  $v/a = T/(2\pi\sqrt{2})$ .

Или  $T = 2\pi\sqrt{2}v/a = 4,44c$ .

**Примечание:** для упрощения формулировки задач словосочетание модуль вектора и величина вектора (например, скорости или ускорения) в дальнейшем будет опущено. В задачах данного раздела при отсутствии специальных оговорок сопротивлением среды необходимо пренебречь.

1.1. Вертолет пролетел на север в горизонтальном полете  $S_1=18$  км, затем повернул строго на восток и пролетел еще  $S_2=24$  км. Вычислить пройденный путь  $S$  и значение перемещения  $\Delta r$ .

1.2. Локомотив, двигаясь прямолинейно, проехал путь  $S_1=3$  км, затем совершил поворот, описав четверть окружности радиусом  $R=1$  км, и проехал дальше еще  $S_2=9$  км. Вычислить пройденный путь  $S$  и значение перемещения  $\Delta r$ .

1.3. Катер проплыл из пункта  $A$  по озеру  $S_1=12$  км за  $t_1=0,5$  ч, затем повернул под углом  $\alpha=120^\circ$  к направлению своего движения и двигался со скоростью  $v=15$  км/ч до тех пор, пока направление на пункт  $A$  не стало составлять угол  $\beta=90^\circ$  с направлением его движения. Вычислить пройденный путь  $S$ , значение перемещения  $\Delta r$  и среднюю скорость катера  $v_{cp}$ .

1.4. Навстречу друг другу одновременно начали двигаться два пешехода, находившиеся на расстоянии  $S=5,4$  км друг от друга. Один из пешеходов движется со скоростью  $v_1=3,6$  км/ч. Какой должна быть скорость второго пешехода  $v_2$ , чтобы они встретились через  $t=30$  мин после начала движения?

1.5. Колонна солдат длиной  $l=2$  км движется со скоростью  $v=5,4$  км/ч. Мотоциклист за время  $t=10$  мин переместился от конца к началу колонны и обратно. Какова скорость мотоциклиста  $v_m$ ?

1.6. Два поезда идут навстречу друг другу со скоростями  $v_1=10$  м/с и  $v_2=15$  м/с. Пассажир первого поезда замечает, что второй поезд проходит мимо него в течение  $t=12$  с. Какова длина второго поезда  $l$ ?

1.7. Расстояние между двумя пунктами  $l=200$  км туда и обратно вертолет в первый раз пролетел в безветренную погоду, а во второй раз при ветре, дующем со скоростью  $v_в=2$  м/с параллельно скорости вертолета. Скорость вертолета относительно воздуха в обоих случаях равна  $v=144$  км/ч.

Решая задачу в общем виде, показать, что полет туда и обратно в ветреную погоду всегда занимает больше времени, чем в безветренную. На какую величину  $\Delta t$  время движения в ветреную погоду в данном случае больше времени движения в безветренную погоду?

1.8. Скорость катера перпендикулярна к скорости реки  $v_p$  и относительно берега равна  $v_{к1}=4$  м/с. Чему равна скорость реки, если скорость катера относительно воды равна  $v_{к2}=5$  м/с?

1.9. Капли дождя, падающие отвесно, образуют на окне движущегося вагона полосы под углом  $\alpha=60^\circ$  к горизонту. Какова скорость  $v_к$  падения капель, если скорость поезда  $v_{п}=10$  м/с?

1.10. Два тела движутся прямолинейно и равномерно. Их скорости равны  $v_1=36$  км/ч и  $v_2=18$  км/ч. Определить скорость первого тела относительно второго  $v_{12}$ , если угол между направлениями их движения  $\alpha=60^\circ$ .

1.11. Мотоциклист за первые  $t_1=2$  ч проехал  $S_1=85$  км, а следующие  $t_2=3$  ч двигался со скоростью  $v_2=50$  км/ч. Какова средняя скорость мотоциклиста  $v_{ср}$  на всем пути?

1.12. Автомобиль проехал расстояние  $S=30$  км со средней скоростью  $v_1=20$  м/с, затем разгрузился и вернулся в начальный пункт со скоростью  $v_2=25$  м/с. Определить время разгрузки  $t_p$ , если средняя скорость на всем пути  $v_{cp}=18$  м/с.

1.13. Поезд проехал первую половину пути со скоростью  $v_1$ , а вторую половину пути со скоростью  $v_2$  ( $v_1 \neq v_2$ ). Найти среднюю скорость на всем пути. Показать, что средняя скорость  $v_{cp}$  будет меньше среднего арифметического значений  $v_1$  и  $v_2$ .

1.14. Дрезина первую половину времени двигалась со скоростью  $v_1$ , а вторую половину – со скоростью  $v_2$ . Показать, что средняя скорость  $v_{cp}$  на всем пути будет равна среднему арифметическому значений  $v_1$  и  $v_2$ .

1.15. Первую половину пути поезд шел со скоростью в  $k=1,5$  раза большей, чем вторую половину пути. Какова скорость на каждом участке пути, если средняя скорость прохождения всего пути равна  $v_{cp}=12$  м/с?

1.16. На рис. 1.4 показан график зависимости координаты  $x$  материальной точки от времени  $t$ . Построить график зависимости проекции скорости точки от времени.

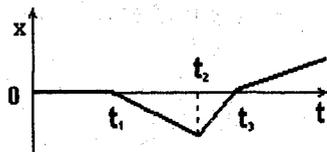
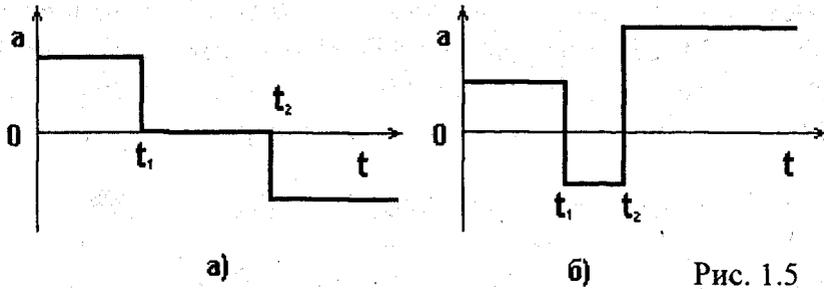


Рис. 1.4

1.17. На рис. 1.5 а и б показаны графики зависимости проекции ускорения  $a$  материальной точки от времени. Построить графики скорости  $v$ , пути  $S$  и координаты  $x$ . Точка движется прямолинейно вдоль оси  $x$ . Начальная скорость и координата точки равны нулю.



1.18. Мяч падает вертикально вниз с крыши дома высотой  $h$  с начальной скоростью, равной нулю. Построить для мяча графики зависимости пути  $S$  и координаты  $x$  от времени  $t$ , принимая место начала падения мяча за начало оси координат, направленной вертикально вверх.

1.19. Мяч падает вертикально вниз с крыши дома высотой  $h$  с начальной скоростью, равной нулю. Построить графики зависимости скорости  $v$  и ускорения  $a$  мяча от времени  $t$ , принимая место начала падения мяча за начало оси координат, направленной вертикально вверх.

1.20. Мяч брошен вертикально вверх с крыши дома высотой  $h$  с начальной скоростью  $v_0$ . Построить графики зависимости пути  $S$ , координаты  $x$ , скорости  $v$  и ускорения  $a$  от времени  $t$ , принимая место падения мяча на землю за начало оси координат, направленной вертикально вверх.

1.21. Координата материальной точки изменяется по закону:  $x = bt + ct^2$  ( $b = 6$  м/с,  $c = 1$  м/с<sup>2</sup>). Найти начальную скорость точки  $v_0$ , ее скорость  $v$  через время  $t = 2$  с, ускорение  $a$ .

1.22. Автомобиль равномерно разгоняется из состояния покоя до скорости  $v = 36$  км/ч за время  $t = 5$  с. Определить ускорение автомобиля  $a$  и пройденный им за это время путь  $S$ , полагая, что он движется прямолинейно.

1.23. Автомобиль, двигающийся прямолинейно со скоростью  $v_0=36 \text{ км/ч}$ , останавливается за время  $t=10 \text{ с}$ . Определить ускорение автомобиля  $a$ , полагая, что оно постоянно, и пройденный автомобилем за это время путь  $S$ .

1.24. Поезд, двигаясь со скоростью  $v_0=54 \text{ км/ч}$ , останавливается через  $t=30 \text{ с}$  после выключения двигателя локомотива. На каком расстоянии  $l$  от остановки надо выключить двигатель? После выключения двигателя движение поезда считать равнозамедленным.

1.25. Катер движется прямолинейно с постоянным ускорением  $a=2 \text{ м/с}^2$ . В некоторый момент времени его скорость равна  $v=20 \text{ м/с}$ . Как далеко он находился за время  $t=2 \text{ с}$  до этого?

1.26. По одному направлению одновременно начали двигаться два тела; первое из точки  $A$  равноускоренно с начальной скоростью  $v_1=10 \text{ см/с}$  и с ускорением  $a_1=8 \text{ см/с}^2$ . Второе из точки  $B$ , отстоящей на расстоянии  $l=200 \text{ см}$  от точки  $A$  по направлению движения, равномерно со скоростью  $v_2=30 \text{ см/с}$ . Через какое время  $t$  тела встретятся?

1.27. На автомобильных гонках в момент старта два автомобиля находились друг за другом на расстоянии  $S=12,5 \text{ м}$ . Первый автомобиль движется после старта с постоянным ускорением  $a_1=4 \text{ м/с}^2$ . Чему должно быть равно ускорение второго автомобиля  $a_2$ , чтобы он догнал стартовавший перед ним автомобиль через  $t=5 \text{ с}$ ? Движение автомобилей считать прямолинейным.

1.28. Велосипедист ехал по прямолинейному участку дороги со скоростью  $v_1=10 \text{ м/с}$ . Когда он поравнялся с неподвижным автомобилем, тот начал двигаться равноускоренно в том же на-

правлении. Определить скорость автомобиля  $v_2$  в тот момент, когда он догонит велосипедиста.

1.29. Во сколько раз скорость пули в середине ствола ружья  $v_c$  меньше, чем скорость при вылете  $v_k$ ? Считать, что пуля движется равноускоренно.

1.30. При равноускоренном движении с начальной скоростью, равной нулю, тело за третью секунду прошло  $S_1=15$  см. Какой путь  $S$  тело пройдет за шестую секунду?

1.31. Тело, двигаясь равноускоренно с начальной скоростью  $v_0=2$  м/с, прошло за пятую секунду путь  $S_1 = 4,5$  м. Определить путь  $S$ , пройденный телом за  $t=9$  с.

1.32. Тело, двигаясь прямолинейно с ускорением  $a=3$  м/с<sup>2</sup> достигло скорости  $v=15$  м/с, а затем двигаясь  $t=25$  с равномерно с некоторым ускорением, остановилось. Определить путь  $S$ , пройденный телом за все время движения. Начальная скорость равна нулю.

Задачу решить графически и аналитически.

\*1.33. Поезд прошел путь между двумя станциями, двигаясь сначала в течение  $t=1$  мин с ускорением  $a=0,3$  м/с<sup>2</sup>, далее  $k=0,9$  всего пути равномерно, а при подходе к конечной станции равномерно. Определить среднюю скорость поезда.

1.34. Какую начальную скорость  $v_0$  надо сообщить камню при бросании его вертикально вниз с моста высотой  $h=20$  м, чтобы он достиг поверхности воды через  $t=1$  с?

1.35. Стрела, выпущенная вертикально вверх со скоростью

$v_0=50$  м/с, попадает в цель через  $t=2$  с. На какой высоте  $h$  находилась цель и какова была скорость  $v$  стрелы при попадании в цель?

1.36. Тело брошено вертикально вверх со скоростью  $v_0$ . На какой высоте модуль его скорости будет в  $k$  раза меньше  $v_0$ ?

1.37. Тело падает с высоты  $h=125$  м с начальной скоростью, равной нулю. Какой путь проходит тело за предпоследнюю секунду?

1.38. Свободно падающее тело проходит последние  $h_k=40$  м за время  $t_k=0,5$  с. Определить высоту падения тела. Начальная скорость равна нулю.

1.39. Свободно падающее с нулевой начальной скоростью тело в последнюю секунду падения  $t_2=1$  с прошло  $k=0,5$  своего пути. Определить путь  $S$ , пройденный телом.

1.40. Определить, на сколько путь  $S_n$ , пройденный свободно падающим телом в  $n$ -ую секунду, больше пути  $S_{n-1}$ , пройденного в предыдущую секунду?

1.41. Первое тело свободно падает с высоты  $h_1$  вертикально вниз (начальная скорость равна 0). Одновременно с высоты  $h_2$ , большей  $h_1$ , начинает движение второе тело в том же направлении. Какой должна быть начальная скорость  $v_0$  второго тела, чтобы они упали одновременно?

1.42. Предмет, выпавший из окна идущего поезда, падает с высоты  $h=4$  м, пролетев при этом расстояние по ходу поезда  $l=20$  м. Определить скорость поезда  $v$ .

1.43. Камень, брошенный горизонтально с крыши дома со скоростью  $v_0=10$  м/с, упал на землю под углом  $\alpha=60^\circ$  к горизонту. Найти высоту дома  $h$ .

1.44. Два тела брошены одновременно. Одно – горизонтально с высоты  $h=20$  м со скоростью  $v_0$ , а другое – вертикально вверх с поверхности Земли со скоростью  $2v_0$  из точки, отстоящей по горизонтали на расстоянии  $l$  от точки бросания первого тела. Тела столкнулись. Найти  $l$ .

1.45. Снаряд вылетел из пушки, находящейся на горизонтальном полигоне, с начальной скоростью  $v_0=600$  м/с, под углом  $\alpha=30^\circ$  к горизонту. Сколько времени  $t$  снаряд будет находиться в воздухе? На каком расстоянии  $S$  от пушки он упадет на Землю?

1.46. Тело бросили с башни горизонтально. Через  $t=2$  с его скорость увеличилась в  $k=3$  раза. С какой скоростью  $v_0$  бросили тело?

1.47. Тело брошено с начальной скоростью под углом к горизонту. Продолжительность полета  $t=2$  с. Найти наибольшую высоту подъема этого тела.

1.48. Тело брошено под углом  $\alpha=45^\circ$  к горизонту. Через время  $t=3$  с оно достигло максимальной высоты. Найти горизонтальную составляющую  $v_x$  скорости тела.

1.49. Спортсменка метнула диск на расстояние  $l=44,1$  м. Чему равно время полета  $t$  диска, если угол, под которым он был брошен относительно горизонта,  $\alpha=45^\circ$ ?

1.50. Мяч брошен с поверхности Земли со скоростью  $v_0=10$  м/с под углом  $\alpha=60^\circ$  к горизонту. Определить радиус кривизны его траектории в верхней точке подъема  $R_1$  и в момент падения на Землю  $R_2$ ?

1.51. Тело брошено с поверхности Земли под углом  $\alpha=45^\circ$  к горизонту с начальной скоростью  $v_0=20$  м/с. На расстоянии  $l=30$  м от точки бросания находится вертикальная стена. На какой высоте  $h$  произойдет столкновение тела со стеной? Какую скорость  $v$  имеет при этом тело?

\*1.52. Брошенное с поверхности Земли под углом  $\alpha=30^\circ$  тело побывало в двух точках, расположенных на одной и той же высоте  $h=12$  м, с интервалом в  $t=1$  с. Определить начальную скорость тела  $v_0$  и расстояние  $l$ , на котором упало тело.

\*1.53. Из одной точки горизонтально в противоположных направлениях одновременно вылетают два тела с начальными скоростями  $v_1=9$  м/с и  $v_2=16$  м/с. Через какое время  $t$  угол между векторами скоростей тел станет равным  $\alpha=90^\circ$ ?

\*1.54. Воздушный шарик летел горизонтально с постоянной скоростью  $v$ . В него с Земли был брошен камень без упреждения, т. е. в момент броска скорость камня  $v_1$  была направлена как раз на шарик под углом  $\alpha$  к горизонту. На какой высоте  $H$  летел шарик, если камень все же попал в него?

\*1.55. Вертолет летит горизонтально со скоростью  $v_0=108$  км/час на высоте  $h=45$  м. С вертолета вертикально падает груз, начальная скорость которого относительно вертолета равна нулю. С какой скоростью  $v_1$  относительно вертолета и в каком направлении следовало бы сбросить груз, чтобы при ударе о землю скорость груза была в  $\sqrt{2}$  раз меньше, чем в первом случае? Ускорение свободного падения принять равным  $10$  м/с<sup>2</sup>.

1.56. Камень, привязанный к веревке, равномерно вращается по окружности с частотой  $\nu=2$  об/с. Расстояние от центра вращения равно  $l=2$  м. Чему будет равна скорость камня  $v$ ?

1.57. Найдите частоту  $\nu$  вращения барабана лебедки диаметром  $d=16$  см при подъеме груза со скоростью  $v=0,6$  м/с.

1.58. Найти линейную скорость  $v$ , обусловленную суточным вращением Земли, для точки с географической широтой  $\alpha=60^\circ$ .

1.59. Две материальные точки движутся по окружностям радиусами  $R$  и  $2R$ . Сравнить их нормальные ускорения в случаях: а) равенства их линейных скоростей; б) равенства их угловых скоростей.

1.60. Определить радиус маховика  $R$  и нормальное ускорение  $a_n$  точек на его ободе, если при вращении скорость точек на ободе  $v_0=6$  м/с, а точек, находящихся на  $l=15$  см ближе к оси,  $v=5,5$  м/с?

1.61. Минутная стрелка часов в четыре раза длиннее секундной. Найти отношение линейных скоростей концов названных стрелок.

1.62. Волчок, вращаясь с частотой  $\nu=20$  об/с, свободно падает с высоты  $h=5$  м. Сколько оборотов  $N$  сделает он за время падения? Начальная скорость падения волчка равна нулю.

1.63. С какой скоростью и в каком направлении должен лететь самолет над экватором на высоте  $h=10$  км над Землей, чтобы Солнце казалось неподвижным, т.е. находилось все время на одной и той же высоте над горизонтом?

1.64. Диаметр колеса велосипеда равен  $d=70$  см, ведущее зубчатое колесо имеет  $N_1=48$  зубьев, а ведомое –  $N_2=18$  зубьев. С какой скоростью  $v$  движется велосипедист на этом велосипеде при частоте вращения педалей  $\nu=1$  об/с?

1.65. Стержень длиной  $l=1$  м вращается с частотой  $\nu=1$  Гц вокруг оси, проходящей через стержень перпендикулярно ему. Нормальное ускорение одного из концов стержня  $a=16$  м/с<sup>2</sup>. Определить линейную скорость другого конца.

1.66. Материальная точка движется с постоянной скоростью по окружности и за время  $t=8$  с проходит ее дважды ( $N=2$ ). Определить величину перемещения  $\Delta r$  и путь  $S$  точки за время  $t_1=15$  с, если ее нормальное ускорение  $a=0,5$  м/с<sup>2</sup>.

## 1.2. Динамика

П 1.5. В шахту равноускоренно опускается лифт, масса которого  $m=300$  кг. В первые  $t=5$  с он проходит  $h=25$  м. Определить силу натяжения каната, к которому подвешен лифт.

**Решение:** На лифт действует сила натяжения каната  $\vec{T}$  (рис. 1.6.) и сила тяжести  $m\vec{g}$ , под действием которых он движется с ускорением  $\vec{a}$ . Следовательно, по второму закону Ньютона

$$m\vec{g} + \vec{T} = m\vec{a} \quad (1)$$

Так как все силы направлены по вертикали, выберем вертикальную ось  $y$  с положительным направлением по ускорению (вниз).

Проектируем (1) на ось  $y$ :

$$mg - T = ma \quad \text{или} \quad T = m(g - a).$$

Из кинематики  $h = at^2/2$ .

Следовательно,  $T=m(g-2h/t^2)=2340 \text{ Н}$ .

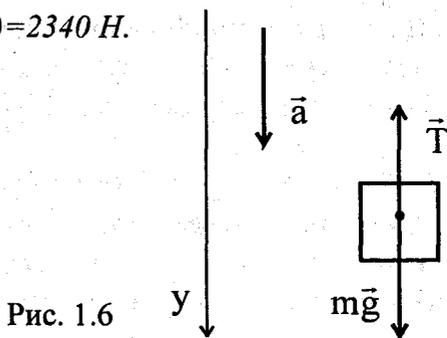


Рис. 1.6

**П 1.6.** Грузы, массы которых  $m_1$  и  $m_2$ , связаны нитью, перекинутой через блок. Второй груз находится на наклонной плоскости с углом наклона  $\alpha$ . Первый груз висит на нити. Система движется под действием силы  $F$ , приложенной к первому грузу и направленной вертикально вниз. Коэффициент трения второго груза о плоскость равен  $\mu$ . Определить ускорение системы. Найти силу трения  $F_{\text{тр1}}$ , если на груз массой  $m_2$  положили груз массой  $m_3$ , при наличии которого система находится в состоянии покоя.

**Решение:** Рассмотрим движение каждого груза отдельно. На первый груз действуют:  $m_1\vec{g}$  – сила тяжести (рис. 1.7),  $\vec{F}$  – внешняя сила,  $\vec{T}_1$  – сила натяжения нити. Ускорение  $a_1$  направлено вниз. Второй закон Ньютона в проекции на ось  $y_1$  имеет вид:

$$F+m_1g-T_1=m_1a_1. \quad (1)$$

На второе тело действуют:  $m_2\vec{g}$  – сила тяжести,  $\vec{T}_2$  – сила натяжения нити,  $\vec{N}$  – сила нормальной реакции плоскости,  $\vec{F}_{\text{тр}}$  – сила трения.

Ускорение второго тела направлено вдоль наклонной плоскости. Выбираем ось  $x_2$  направленной по ускорению  $\vec{a}_2$ , а ось  $y_2$  – перпендикулярно оси  $x_2$ . Запишем второй закон Ньютона в проекциях на оси  $x_2$  и  $y_2$ :

$$T_2 - F_{mp} - m_2 g \sin \alpha = m_2 a_2; \quad (2)$$

$$N - m_2 g \cos \alpha = 0. \quad (3)$$

Из (3)  $N = m_2 g \cos \alpha$ . Следовательно,  $F_{mp} = \mu N = \mu m_2 g \cos \alpha$ . Тогда уравнение (2) примет вид:

$$T_2 - m_2 g \sin \alpha - \mu m_2 g \cos \alpha = m_2 a_2. \quad (4)$$

Так как нить мы считаем нерастяжимой, то грузы движутся с одинаковым ускорением  $a_1 = a_2 = a$ . Невесомость нити означает, что натяжение нити на всех участках одинаково  $T_1 = T_2 = T$ .

Исключив из (1) и (4)  $T$ , получаем

$$a = \frac{F + m_1 g - m_2 g (\sin \alpha + \mu \cdot \cos \alpha)}{m_1 + m_2}.$$

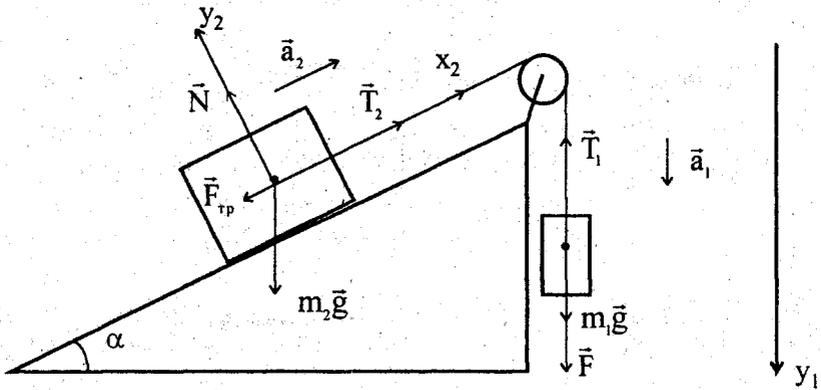


Рис. 1.7

В соответствии с I законом Ньютона сила трения, при условии, что тело находится в покое  $F_{тр1} = |F + m_1 g - (m_2 + m_3) g \sin \alpha|$ .

П 1.7. Небольшой шар массой  $m = 50$  г находится на стержне, укрепленном перпендикулярно оси центробежной машины. Шар соединяют с осью пружиной, жесткость которой  $k=400$ Н/м. Каким должен быть период  $T$  вращения стержня, чтобы пружина растянулась на четверть ( $\alpha = 1/4$ ) своей первоначальной длины? Считать, что шар может перемещаться вдоль стержня без трения.

**Решение:** На шар по оси  $x$ , проведенной вдоль стержня к оси центробежной машины, действует единственная сила упругости растянутой пружины  $F = kx = k\alpha l$  ( $l$  – первоначальная длина пружины). Тогда второй закон Ньютона вдоль выбранной оси  $x$  имеет вид:  $F = ma$ , где  $a = v^2/R = 4\pi^2 R/T^2$  – центростремительное ускорение шара,  $R = l + \alpha l$  – радиус окружности, вдоль которой движется шар (рис. 1.8). Таким образом,  $k\alpha l = m4\pi^2(l+\alpha l)/T^2$ . Отсюда

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m(1+\alpha)}{k\alpha}} = 0,157 \text{ с.}$$

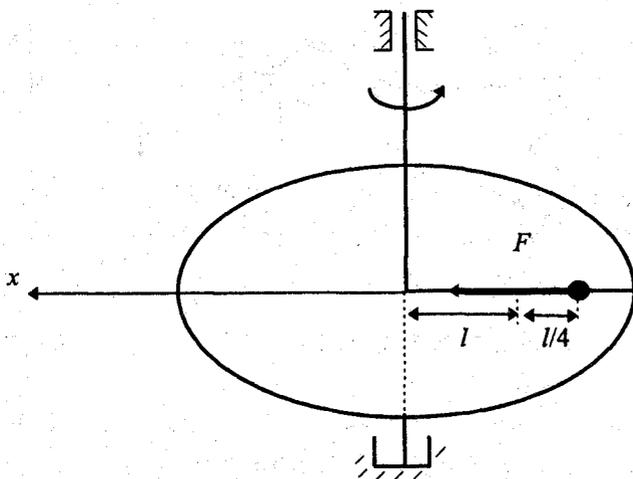


Рис. 1.8

1.67. Гоночный автомобиль массой  $m=2$  т разгоняется до скорости  $v=108$  км/ч за время  $t=6$  с. Считая движение автомобиля равноускоренным, найти силу  $F$ , с которой в горизонтальном направлении действует автомобиль на поверхность трассы.

1.68. Масса первого вагона  $m_1$  больше массы второго вагона  $m_2$  на  $m=5$  т. Каковы массы вагонов, если под действием одинаковых сил они приобретут ускорения  $a_1=1$  м/с<sup>2</sup> и  $a_2=1,1$  м/с<sup>2</sup>? Трением пренебречь.

1.69. Масса легкового автомобиля  $m=1$  т, грузового  $M=4$  т. Сила тяги грузовика  $F_k$  в два раза больше, чем у легкового автомобиля  $F_a$ . Определить отношение ускорения автомобиля  $a_a$  к ускорению грузовика  $a_k$ . Трением пренебречь.

1.70. Подъемный кран поднимает плиту массой  $m=1000$  кг с ускорением  $a=0,2$  м/с<sup>2</sup>. Определить силу натяжения  $F$  троса подъемного крана.

1.71. Лифт, на полу которого лежит предмет, поднимается с ускорением  $a=2$  м/с<sup>2</sup>. Какова сила давления  $P$  предмета на пол лифта? Масса предмета  $m=3$  кг.

1.72. В лифте, который опускается с ускорением  $a=2$  м/с<sup>2</sup>, находится пассажир, масса которого  $m=70$  кг. Чему равна в этот момент сила  $P$ , с которой пассажир давит на пол лифта?

1.73. Поезд трогается на горизонтальном участке пути, развивая силу тяги  $F_T=4 \cdot 10^5$  Н. Определить силу сопротивления  $F_c$  движению поезда (масса  $m=10^6$  кг), если он за  $t=1$  мин набирает скорость  $v=54$  км/ч. Силу сопротивления на данном участке пути считать постоянной.

1.74. Камень при падении с высоты  $h=25$  м имел скорость в момент падения  $v=20$  м/с. Чему равна средняя сила сопротивления  $F_c$  воздуха при падении камня? Масса камня  $m=1$  кг.

1.75. Брусок массой  $m=2$  кг тянут равномерно по доске, расположенной горизонтально, с помощью пружины жесткостью  $k=100$  Н/м. Коэффициент трения  $\mu=0,2$ . Найдите удлинение пружины  $x$ .

1.76. На тело массой  $m=2$  кг, лежащее на горизонтальной поверхности, действуют две силы  $F_1=6$  Н и  $F_2=8$  Н, направленные горизонтально и перпендикулярные друг к другу. Определить ускорение тела  $a$ . Коэффициент трения  $\mu=0,2$ .

1.77. Молот, масса которого  $m=1$  т, свободно падает с высоты  $h=0,8$  м на наковальню. Длительность удара  $t=0,01$  с. Определить среднее значение силы удара  $F$ .

1.78. Воздушный шар опускается с постоянной скоростью. Какую массу балласта  $m$  нужно выбросить, чтобы шар поднимался с той же скоростью? Выталкивающая сила  $F=20$  кН, масса шара  $M=2100$  кг.

1.79. Тело (масса  $m=1$  кг) брошено под углом к горизонту. В наивысшей точке траектории его ускорение равнялось  $a=11$  м/с<sup>2</sup>. Какая сила сопротивления  $F_c$  действовала на тело в этот момент?

1.80. В вагоне, движущемся горизонтально с ускорением  $a=0,2$  м/с<sup>2</sup>, висит на шнуре груз, масса которого  $m=300$  г. Найти натяжение шнура  $T$  и угол отклонения шнура от вертикали  $\alpha$ .

1.81. Груз, масса которого  $m=20$  кг, придавливается к вертикальной стене с горизонтально направленной силой  $F_1=100$  Н. Коэффициент трения груза о стену  $\mu = 0,3$ . Какая вертикальная сила  $F$  необходима, чтобы: а) удержать груз в покое? б) равномерно тянуть груз вертикально вверх?

1.82. Санки, масса которых  $m=50$  кг, тянут за веревку с силой  $F=100$  Н, направленной под углом  $\alpha = 60^\circ$  к горизонту. С каким ускорением  $a$  скользят санки по горизонтальной поверхности, если сила трения  $F_{тр}=20$  Н? Чему равна сила трения  $F_{мп1}$ , если на санки положили груз массой  $M = 100$  кг?

1.83. Тело (масса  $m=10$  кг) движется горизонтально под действием постоянной силы  $F=50$  Н, образующей с горизонтом угол  $\alpha = 30^\circ$ . Коэффициент трения скольжения  $\mu = 0,1$ . Определить ускорение тела  $a$ , если сила  $F$  действует: а) снизу вверх; б) сверху вниз.

1.84. Тело движется вверх по вертикальной стене под действием силы  $F=20$  Н, направленной под углом  $\alpha = 30^\circ$  к вертикали. Коэффициент трения тела о стену  $\mu = 0,4$ , масса тела  $m=1$  кг. Найти ускорение тела  $a$ .

1.85. Тело, масса которого  $m=4$  кг, движется по наклонной плоскости с углом наклона  $\alpha = 60^\circ$ . Найти силу  $F_1$ , под действием которой тело скатывается с наклонной плоскости, и силу  $F_2$ , с которой тело давит на поверхность плоскости.

1.86. На наклонную плоскость с углом наклона  $\alpha = 30^\circ$  положили тело, масса которого  $m=2$  кг. Чему равна сила трения  $F_{тр}$ , действующая на тело, если коэффициент трения между поверхностями: а)  $\mu = 0,7$ ? б)  $\mu = 0,4$ ?

1.87. Тело, масса которого  $m$  равномерно скользит по наклонной плоскости с углом наклона  $\alpha_1 = 30^\circ$  и находится в покое при некотором угле наклона  $\alpha_2$ . Определить коэффициент трения  $\mu$  тела о плоскость и силу трения  $F_{тр}$  при покое тела. Какой угол больше  $\alpha_1$  или  $\alpha_2$ ?

1.88. Какую силу  $F$  надо приложить для подъема вагонетки массой  $m=500$  кг по эстакаде с углом наклона  $\alpha=10^\circ$ , если коэффициент трения  $\mu=0,04$ ?

1.89. Тело, масса которого  $m=1$  кг, движется вниз по наклонной плоскости с углом наклона  $\alpha=30^\circ$  под действием силы  $F=2$  Н, направленной горизонтально. Определить ускорение тела  $a$ , если коэффициент трения тела о плоскость  $\mu=0,2$ .

1.90. Тело соскальзывает с наклонной плоскости с углом наклона  $\alpha=30^\circ$ . На первых  $k=1/3$  пути коэффициент трения  $\mu_1=0,5$ . Определить коэффициент трения  $\mu_2$  на оставшемся отрезке пути, если у основания наклонной плоскости скорость тела равна нулю.

\*1.91. Ледяная горка составляет с горизонтом угол  $\alpha=14^\circ$ . По ней снизу вверх толкнули санки, которые поднявшись на некоторую высоту, затем соскальзывают вниз по тому же пути. Определить коэффициент трения  $\mu$ , если время спуска в  $k=2$  раза больше времени подъема.

1.92. Грузовик на канате везет по горизонтальной дороге неисправный автомобиль. При равномерном движении натяжение каната было  $T_0=10^3$  Н. Определить натяжение каната  $T$  при движении с ускорением  $a=0,5$  м/с<sup>2</sup>. Масса автомобиля  $m=2000$  кг.

1.93. К потолку ускоренно движущегося лифта на нити подвешена гиря. К этой гири привязана другая нить, на которой подвешена вторая гиря. Найти натяжение верхней нити  $T_1$ , если натяжение нити между гирями  $T_2=10 \text{ Н}$ , а массы гирь  $m_1=1 \text{ кг}$ ,  $m_2=2 \text{ кг}$ .

1.94. К концам нити, перекинутой через блок, прикреплены грузы, массы которых  $m_1=3 \text{ кг}$  и  $m_2=1 \text{ кг}$ . Первоначально грузы находились на одном уровне. Определить на какое расстояние  $S$  по вертикали разойдутся грузы через  $t=1 \text{ с}$  после начала движения. Найти силу натяжения нити  $T$ .

1.95. Три груза (масса каждого  $m=1 \text{ кг}$ ) связаны нитью и движутся по горизонтальному столу без трения под действием силы тяжести такого же четвертого груза, соединенного с ними с помощью нити, перекинутой через неподвижный блок. Определить ускорение системы грузов  $a$  и натяжение нити  $T$ , перекинутой через блок.

1.96. По поверхности льда (силой трения пренебречь) с силой  $F$  толкают четыре бруска, каждый из которых имеет массу  $m$  (рис.1.9). Найти ускорение каждого бруска  $a$  и силу, действующую со стороны первого бруска на второй  $F_1$ , со стороны второго на третий  $F_2$  и со стороны третьего на четвертый  $F_3$ .

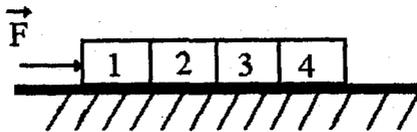


Рис. 1.9

1.97. Система из двух грузов, массы которых  $m_1$  и  $m_2$ , расположена на призме с углом при основании  $\alpha$  (рис.1.10). Призма находится на гладкой поверхности. При каком соотношении

масс призма придет в движение, если коэффициент трения между грузом  $m_1$  и плоскостью равен  $\mu$ .

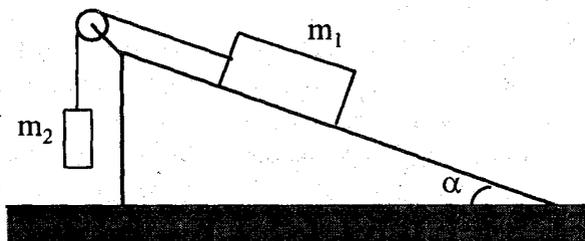


Рис. 1.10

\*1.98. Найти ускорения  $a_1$  и  $a_2$  масс  $m_1=1,8$  кг и  $m_2=2,8$  кг и силу натяжения нерастяжимой нити  $T$  в системе, показанной на рис. 1.11. Массой блоков и нити и трением в осях блоков пренебречь.

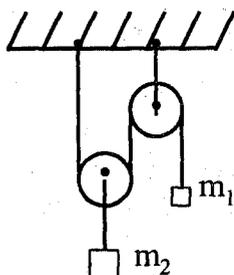


Рис. 1.11

\*1.99. На горизонтальной поверхности лежит доска массой  $m_1=4$  кг, а на доске находится груз массой  $m_2=1$  кг. С какой минимальной горизонтальной силой  $F$  нужно тянуть доску, чтобы груз соскользнул с доски? Коэффициент трения между поверхностью и доской  $\mu_1=0,2$ , а между доской и грузом  $\mu_2=0,3$ .

1.100. Тело, масса которого  $m=500$  кг, находится от поверхности Земли на расстоянии, равном трем радиусам Земли ( $k=3$ ). Определить силу  $F$ , с которой тело притягивается к Земле, считая его материальной точкой.

1.101. На какой высоте  $h$  над поверхностью Земли сила тяжести будет в два раза меньше, чем на поверхности Земли?

1.102. Расстояние между центрами Земли и Луны равно  $k_1=60$  земным радиусам, а масса Луны в  $k_2=81$  раз меньше массы Земли. В какой точке прямой, соединяющей их центры, тело будет находиться в равновесии? Ответ выразить в радиусах Земли и отсчитывать от центра Луны.

1.103. Найдите первую космическую скорость  $v$  для планеты, масса которой в  $k_1=3$  раза, а радиус в  $k_2=2$  раза больше, чем у Земли. Считать первую космическую скорость для Земли  $v_3=7,9$  км/с.

1.104. Средняя высота спутника над поверхностью Земли равна  $h=1700$  км. Определить его скорость  $v$  и период обращения  $T$ .

1.105. Мальчик, масса которого  $m=40$  кг, качается на качелях с длиной подвеса  $l=3$  м. С какой силой  $P$  он давит на сиденье при прохождении среднего положения со скоростью  $v=6$  м/с?

1.106. Во время аттракциона вагончик (рис. 1.12) движется по вертикально расположенной окружности, радиус которой  $R=6$  м. В верхней точке траектории его скорость равна  $v=8$  м/с. С какой силой  $F$  вагончик действует при этом на рельсы, если его масса вместе с пассажирами равна  $m=400$  кг?

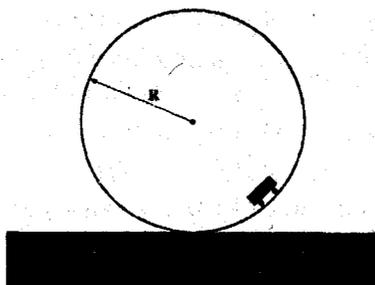


Рис 1.12

1.107. Автомашина, имеющая массу  $m$ , движется со скоростью  $v$  по выпуклому мосту с радиусом кривизны  $R$ . С какой силой давит автомашина на мост в точке, на которую направление от центра кривизны моста составляет с вертикалью угол  $\alpha$ ?

1.108. Определить силу, прижимающую летчика к сиденью самолета в верхней ( $F_1$ ) и нижней ( $F_2$ ) точках «мертвой петли», если масса летчика  $m$ , радиус петли  $R$ , а скорость самолета при прохождении петли постоянна и равна  $v$ .

1.109. Шар, масса которого  $m$ , равномерно вращается на стальном стержне в вертикальной плоскости. На сколько сила, растягивающая стержень в месте крепления шара, больше при прохождении шара через нижнюю точку, чем через верхнюю?

1.110. К потолку вагона прикреплен на нити шар. Вагон едет со скоростью  $v=54$  км/ч по закруглению радиусом  $R=300$  м. На какой угол  $\alpha$  отклонится при этом нить с грузом?

1.111. На сколько следует поднять наружный рельс над внутренним на пути с радиусом  $R=400$  м, чтобы при скорости движения  $v=36$  км/ч сила давления поезда на рельсы была перпендикулярна к ним? Ширина железнодорожной колеи равна  $l=152$  см.

1.112. Человек сидит на краю круглой горизонтальной платформы радиусом  $R=4$  м. С какой максимальной частотой  $\nu$  может вращаться платформа вокруг вертикальной оси, чтобы человек удержался на ней при коэффициенте трения  $\mu = 0,2$ ?

\*1.113. На краю наклонной плоскости с углом наклона  $\alpha = 10^\circ$  лежит тело. Плоскость вращается с угловой скоростью  $\omega = 1$  рад/с вокруг вертикальной оси, точка пересечения которой с плоскостью лежит выше тела. Расстояние от оси до тела  $R=2$  м. Найти наименьшее значение коэффициента трения  $\mu$ , при котором тело останется неподвижным на плоскости.

1.114. Груз, подвешенный к потолку на нити, движется в горизонтальной плоскости по окружности, отстоящей от потолка на расстоянии  $h$  (конический маятник). Найти период обращения маятника  $T$ .

1.115. Мотоциклист движется со скоростью  $v=12$  м/с по окружности радиусом  $R=50$  м. На какой угол  $\alpha$  от вертикали он должен наклониться, чтобы сохранить равновесие?

\*1.116. Определить плотность  $\rho$  планеты, продолжительность суток на которой равна  $T$ , если известно, что на экваторе планеты вес тела составляет  $k=1/3$  силы тяготения.

### ***1.3. Импульс, работа, энергия, законы сохранения в механике***

**П 1.8.** Снаряд, летящий со скоростью  $u=16$  м/с, разорвался на два осколка, массы которых  $m_1=6$  кг и  $m_2=10$  кг. Скорость первого осколка  $v_1=12$  м/с и направлена под углом  $\alpha_1=60^\circ$  к скорости снаряда. Найти величину скорости второго осколка  $v_2$  и ее направление  $\alpha_2$  (рис. 1.13).

**Решение:** Закон сохранения импульса в данном случае запишется в виде:

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

Проведем ось  $x$  в направлении движения снаряда, а ось  $y$  – перпендикулярно оси  $x$  и запишем закон сохранения импульса в проекциях на оси  $x$  и  $y$  соответственно:

$$(m_1 + m_2)u = m_1v_1 \cdot \cos\alpha_1 + m_2v_2 \cdot \cos\alpha_2; \quad (1)$$

$$0 = m_2v_2 \cdot \sin\alpha_2 - m_1v_1 \cdot \sin\alpha_1. \quad (2)$$

Из уравнения (2) имеем  $\sin\alpha_2 = \frac{m_1v_1}{m_2v_2} \sin\alpha_1$ , или

$$\cos\alpha_2 = \sqrt{1 - \left(\frac{m_1v_1}{m_2v_2}\right)^2 \sin^2\alpha_1}.$$

Подставив это в выражение (1) получим:

$$(m_1 + m_2)u - m_1v_1 \cos\alpha_1 = \sqrt{(m_2v_2)^2 - (m_1v_1)^2 \sin^2\alpha_1}.$$

Возводя полученное уравнение в квадрат выразим скорость второго тела  $v_2$ :

$$v_2 = \sqrt{(m_1 + m_2)^2 u^2 + m_1^2 v_1^2 - 2m_1(m_1 + m_2)uv_1 \cos\alpha_1} / m_2 = 22,9 \text{ м/с}.$$

Значение угла  $\alpha_2$  выразим из уравнения (2)

$$\sin\alpha_2 = \frac{m_1v_1}{m_2v_2} \sin\alpha_1 = 0,272, \quad \alpha_2 = 15,8^\circ$$

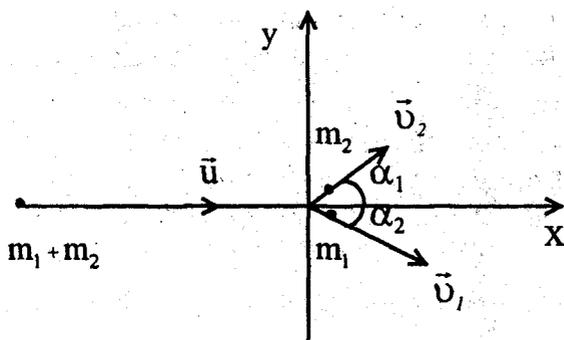


Рис. 1.13

**П 1.9.** Средняя мощность двигателя подъемного крана  $N=7,5$  кВт, его коэффициент полезного действия  $\eta=80\%$ . Определить массу груза, который можно поднять равноускоренно на высоту  $H=25$  м за время  $t=25$  с.

**Решение:** Работу силы натяжения троса крана  $F$  (рис.1.14) запишем в виде  $A=FH\cos\alpha$  (здесь  $\alpha=0^\circ$  – угол между направлением силы  $F$  и перемещением  $H$ ). Величину силы  $F$  определим исходя из второго закона Ньютона, записанного для груза:  $F - mg = ma$ , или  $F = m(g + a)$ .

Из уравнения равноускоренного движения  $H = at^2/2$  определяем величину ускорения  $a = 2H/t^2$ .

Следовательно,  $F = m(g + 2H/t^2)$ ,  $A = m(g + 2H/t^2)H$ .

Работу  $A_3$ , затраченную краном, выражаем через среднюю мощность двигателя:  $A_3 = Nt$ .

По определению коэффициент полезного действия:

$$\eta = (A/A_3) \cdot 100\%, \quad Nt \eta = m(g + 2H/t^2)H \cdot 100\%.$$

Отсюда  $m = \frac{Nt^3 \eta}{(gt^2 + 2H)H \cdot 100\%} = 607 \text{ кг}.$

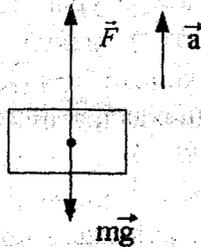


Рис. 1.14

**П 1.10.** Тело бросили с поверхности Земли под некоторым углом к горизонту с начальной скоростью  $v_0 = 15 \text{ м/с}$  (рис. 1.15). На какой высоте  $h$  его кинетическая энергия составляет  $k=1/3$  от первоначальной? При каких углах бросания  $\alpha$  задача имеет решение?

**Решение:** Используем закон сохранения механической энергии тела. В момент бросания тело обладает только кинетической энергией

$$E_{k0} = mv_0^2/2.$$

На искомой высоте  $h$  (точка 1) тело обладает потенциальной энергией  $E_{n1} = mgh$  и некоторой кинетической энергией  $E_{k1}$ .

По закону сохранения энергии:

$$E_{k0} = E_{n1} + E_{k1}. \quad (1)$$

По условию задачи:

$$E_{k1} = kE_{k0} = kmv_0^2/2.$$

Тогда уравнение (1) примет вид:

$$mv_0^2/2 = mgh + kmv_0^2/2.$$

Отсюда  $h = (1 - k)v_0^2/(2g) = 7,65 \text{ м}$ .

Как следует из примера П1.3, наибольшая высота подъема тела

над поверхностью Земли  $H = \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{2g}$ . Очевидно, что данная

задача имеет решение, если  $h = \frac{(1 - k)v_0^2}{2g} \leq H$ .

Отсюда  $\sin \alpha \geq \sqrt{1 - k} = \sqrt{\frac{2}{3}}$ ,  $\alpha \geq 54^\circ$ .

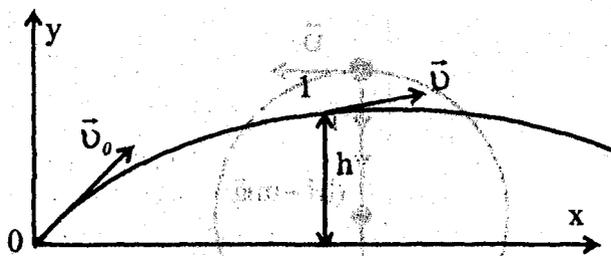


Рис. 1.15

**П 1.11.** На нити длиной  $l=1$  м висит тело, масса которого  $M=0,2$  кг (рис. 1.16). В тело попадает пуля массой  $m=10$  г, летящая горизонтально со скоростью  $u=200$  м/с, и застревает в нем. Тело совершает полный оборот в вертикальной плоскости. Определить силу натяжения нити  $T$  в верхней точке траектории.

**Решение:** Запишем закон сохранения импульса при взаимодействии тела с пулей:

$$mu = (M + m)v_0 \quad (1)$$

где  $v_0$  – скорость тела с пулей после соударения (в нижней точке траектории).

Для определения скорости тела с пулей в верхней точке траектории  $v$  запишем закон сохранения энергии:

$$\frac{(M + m)v_0^2}{2} = \frac{(M + m)v^2}{2} + (M + m)g \cdot 2l \quad (2)$$

Второй закон Ньютона для тела с пулей в верхней точке траектории имеет вид:

$$T + (M + m)g = \frac{(M + m)v^2}{l} \quad (3)$$

Исключив из уравнений (1-3) величины  $v_0$  и  $v$ , определим

$$T = \frac{m^2 u^2 - 5g(M + m)^2 l}{(M + m)l} = 8,75 \text{ Н.}$$

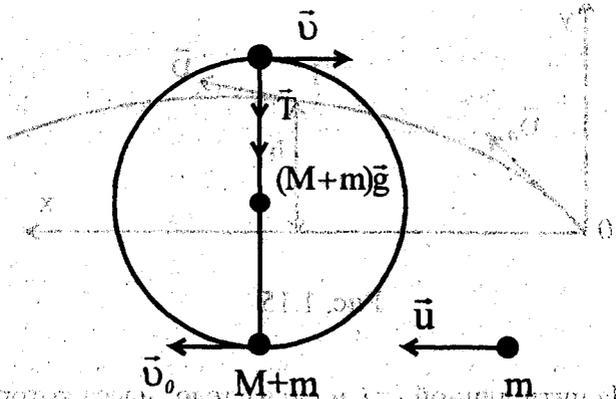


Рис. 1.16

1.117. Тело, начальная скорость которого  $v_0=10\text{ м/с}$ , движется прямолинейно с ускорением  $a=1,5\text{ м/с}^2$ . Во сколько раз изменится импульс тела при прохождении им пути  $S=100\text{ м}$ ?

1.118. Два тела (их массы  $m_1=1\text{ кг}$  и  $m_2=2\text{ кг}$ ) движутся равномерно во взаимно перпендикулярных направлениях. Скорость первого тела  $v_1=3\text{ м/с}$ , а второго  $v_2=2\text{ м/с}$ . Определить импульс данной системы тел.

1.119. Мяч массой  $m=200\text{ г}$  движется между параллельными стенками перпендикулярно к ним, совершая удары с неизменной по модулю скоростью. Считая скорость мяча равной  $v=10\text{ м/с}$ , определить модуль приращения его импульса после удара об одну стенку  $|\Delta\vec{p}_1|$  и ударах о две противоположные стенки  $|\Delta\vec{p}_2|$ .

1.120. Автомобиль, масса которого  $m=1\text{ т}$ , отклонился от направления первоначального движения на угол  $\alpha=60^\circ$ . Найти модуль приращения импульса автомобиля  $|\Delta\vec{p}|$ , учитывая, что

скорость автомобиля  $v=20$  м/с по абсолютной величине не изменилась.

1.121. Материальная точка, масса которой  $m=1$  кг, двигаясь равномерно по окружности, описывает четверть окружности радиусом  $R=1$  м в течение  $t=2$  с. Найти модуль изменения импульса материальной точки за это время.

1.122. Спортсмен стреляет из ружья. Скорость пули после выстрела  $v=500$  м/с, а ее масса  $m=5$  г. Найти среднее значение силы  $F$ , с которой приклад в момент выстрела действует на плечо спортсмена, предполагая, что время действия этой силы  $\Delta t=0,05$  с.

1.123. Стрела, летящая со скоростью  $v=30$  м/с, попадает в мишень и останавливается за время  $\Delta t=0,05$  с. Масса стрелы  $m=0,25$  кг. Определить величину силы сопротивления  $F_c$ , предполагая, что она постоянна в интервале  $\Delta t$ .

1.124. При стрельбе из автомата средняя сила давления на плечо  $F=15$  Н. Считая, что масса пули  $m=10$  г, а ее скорость при вылете из ствола  $v=300$  м/с, определить число выстрелов  $n$  в единицу времени.

1.125. Мяч массой  $m=0,15$  кг подлетает к стенке под углом  $\alpha=30^\circ$  к ней со скоростью  $v=10$  м/с и упруго отскакивает от нее. Средняя сила, действующая на мяч со стороны стенки  $F=15$  Н. Определить продолжительность удара  $\Delta t$ .

1.126. Бильярдный шар, масса которого  $m=0,2$  кг, движется со скоростью  $v=2$  м/с. Перпендикулярно к его скорости в течение времени  $\Delta t=0,01$  с на него действуют с силой  $F=30$  Н. Найти

абсолютную величину импульса  $p$  шара после действия силы  $F$ . Трением пренебречь.

1.127. Пуля, масса которой  $m$ , вылетает из пистолета массой  $M$  с горизонтальной скоростью  $v$  относительно Земли. Определить скорость  $u$  отдачи пистолета.

1.128. Начиная игру в бильярд, по группе близко расположенных шаров ударили шаром, масса которого  $m=250$  г, а скорость  $v=10$  м/с. Найти суммарный импульс всех шаров  $p$  после удара.

1.129. Два хоккеиста, движущиеся навстречу друг другу, сталкиваются и далее движутся вместе. Первый хоккеист, масса которого  $m_1=120$  кг двигался со скоростью  $v_1=3$  м/с, а скорость второго при массе  $m_2=80$  кг была равна  $v_2=6$  м/с. В каком направлении и с какой скоростью  $v$  они будут двигаться после столкновения?

1.130. Орудие, стоящее на гладкой горизонтальной площадке, стреляет под углом  $\alpha=30^\circ$  к горизонтальной поверхности. Масса снаряда  $m=20$  кг, его начальная скорость  $v=200$  м/с. Какую скорость  $u$  получит орудие при выстреле, если его масса  $M=500$  кг? Найти модуль приращения импульса снаряда  $|\Delta p|$  за время полета до падения на Землю.

1.131. Снаряд, масса которого  $m=40$  кг, летящий со скоростью  $v=600$  м/с под углом  $\alpha=60^\circ$  к горизонту, попадает в платформу с песком и застревает в ней. Определить скорость платформы после попадания снаряда  $u$ , если ее масса  $M=20$  т.

1.132. Ракета, масса которой  $m_1=2$  т, летит со скоростью  $v_1=600$  м/с. От ракеты отделяется головная ступень массой  $m_2=500$  кг,

которая движется в направлении первоначального полета со скоростью  $v_2=800$  м/с. С какой скоростью  $v$  летит оставшаяся часть ракеты?

1.133. С железнодорожной платформы, движущейся со скоростью  $u$ , выстрелили из пушки. Общая масса платформы с пушкой, закрепленной на ней, и снарядами  $M$ , масса снаряда  $m$ , его скорость относительно прежней скорости платформы  $v$ . Какова скорость платформы после выстрела  $u_1$ , если направление выстрела: а) совпадает с направлением движения платформы; б) противоположно; в) перпендикулярно ему; г) составляет с направлением движения платформы угол  $\alpha$ ?

1.134. Плот, масса которого  $m_1=200$  кг движется вдоль берега по воде со скоростью  $v_1=2$  м/с. На него с берега со скоростью  $v_2=5$  м/с перпендикулярно направлению скорости плота прыгает человек. С какой скоростью  $v$  будет двигаться плот с человеком, если масса человека  $m_2=60$  кг?

1.135. Тележка массой  $m_1=200$  кг движется со скоростью  $v_0=3$  м/с вместе с находящимся на ней человеком, масса которого  $m_2=60$  кг. С какой скоростью относительно тележки должен бежать человек по тележке в направлении движения, чтобы скорость тележки уменьшилась вдвое ( $k=2$ )?

\*1.136. Призма, масса которой  $M$ , а угол уклона  $\alpha$ , находится на гладкой горизонтальной поверхности льда. На призме стоит человек, масса которого  $m$ . С какой скоростью  $u$  будет двигаться призма, если человек пойдет вверх по поверхности призмы со скоростью  $v$  относительно нее? Трением между призмой и льдом пренебречь.

1.137. Человек, масса которого  $m=70$  кг, стоит на корме лодки, находящейся на озере. Длина лодки  $l=5$  м, ее масса  $M=280$  кг. Человек переходит на нос лодки. На какое расстояние  $S$  передвинется человек относительно дна озера? Сопротивлением воды пренебречь.

1.138. Под действием взаимно перпендикулярных сил, равных  $F_1=3$  Н и  $F_2=4$  Н, тело перемещается в направлении равнодействующей этих сил на расстоянии  $S=0,5$  м. Чему равна работа каждой из этих сил?

1.139. Материальная точка, масса которой  $m=1,5$  кг, перемещается вверх по наклонной плоскости по желобу под действием силы  $F=30$  Н, направленной под углом  $\alpha=20^\circ$  к плоскости, на расстояние  $S=2$  м. Угол наклона плоскости  $\beta=30^\circ$ . Найти работу  $A$ , совершенную силой  $F$  и скорость материальной точки в конце движения  $v$ , предполагая что в начале движения скорость была равной нулю. Силой трения пренебречь.

1.140. Вычислить работу  $A$ , совершаемую при равноускоренном подъеме груза на высоту  $h=4$  м за время  $t=2$  с. Масса груза  $m=100$  кг.

1.141. Сила тяги локомотива  $F=250$  кН, мощность  $N=3000$  кВт. За какое время  $t$  поезд пройдет  $S=10,8$  км, если он движется равномерно?

1.142. Тело равномерно перемещается по горизонтальной поверхности под действием силы, направленной вверх под углом  $\alpha=45^\circ$  к горизонту. Работа этой силы на пути  $S=6$  м равна  $A=20$  Дж. Масса тела  $m=2$  кг. Найти коэффициент трения с поверхностью  $\mu$ .

1.143. Тепловоз (масса  $m=60$  т) равномерно поднимается в гору с уклоном  $\alpha=4^\circ$ . Коэффициент трения  $\mu=0,03$ . Определить развиваемую тепловозом мощность  $N$  при скорости движения  $v=36$  км/ч.

1.144. Определить мощность сил трения  $P$ , приложенных к телу, скользящему со скоростью  $v=2$  м/с по поверхности полусферы радиусом  $R=1$  м вблизи ее вершины. Масса тела  $m=1$  кг, коэффициент трения  $\mu=0,2$ .

1.145. Определить полную механическую энергию тела  $E$  относительно поверхности Земли, если на расстоянии  $h=4$  м от поверхности Земли его скорость составляет  $v=6$  м/с. Масса тела  $m=2$  кг.

1.146. Прямолинейное движение материальной точки описывается формулой  $x=(8+6t-2t^2)$  м. Найти кинетическую энергию точки  $E_k$  через  $t=1$  с от начала движения. Масса материальной точки  $m=0,2$  кг.

1.147. Определить массу тела  $m$ , если его кинетическая энергия  $E_k=2$  Дж, а импульс  $p=4$  кг·м/с.

1.148. Какую работу  $A$  надо совершить, чтобы заставить тело массой  $m=1$  кг увеличить свою скорость с  $v_1=3$  м/с до  $v_2=5$  м/с при движении без трения по горизонтальной поверхности?

1.149. Человек с постоянной скоростью поднимает из колодца глубиной  $h=5$  м ведро с водой, масса которого  $m=7$  кг. Время подъема  $t=10$  с. Найти развиваемую человеком мощность  $N$ .

1.150. Какую массу воды  $m$  можно поднять из шахты глубиной  $h=150$  м в течение  $t=1$  ч, если мощность установки  $N=7,5$  кВт?

1.151. Двигатель лифта развивает мощность  $N=5$  кВт, масса лифта вместе с пассажирами  $m=500$  кг. Найти время  $t$ , за которое лифт поднимается на высоту  $h=10$  м. Скорость лифта постоянна. Потерями энергии на трение пренебречь.

1.152. Альпинист, масса которого  $m=70$  кг, поднимается на высоту  $h=3$  км. Определите проделанную им работу  $A$  по подъему своего тела на эту высоту и запасенную в результате подъема потенциальную энергию  $E_{\text{п}}$ .

1.153. Спортсмен выпускает из лука стрелу, масса которой  $m=0,3$  кг, со скоростью  $v=20$  м/с. Тетива действует на стрелу в течение времени  $\Delta t=0,1$  с. Найти мощность, развиваемую луком при выстреле, предполагая, что в течение выстрела она не изменяется.

1.154. Моторная лодка движется со скоростью  $v=18$  км/ч. При этом двигатель лодки развивает мощность  $N=1$  кВт. Считая, что половина мощности ( $k=1/2$ ) расходуется на преодоление силы сопротивления воды  $F_c$ , найти величину этой силы.

1.155. Тело, масса которого  $m=3$  кг, свободно падает вблизи поверхности Земли. Рассчитать мощность силы тяготения в конце первой ( $N_1$ ) и пятой ( $N_5$ ) секунды падения. Сопротивлением воздуха пренебречь, начальную скорость считать равной нулю.

1.156. Пуля, имеющая массу  $m=10$  г, подлетает к доске толщиной  $d=0,04$  м со скоростью  $v_1=600$  м/с и, пробив доску, вылетает со скоростью  $v_2=400$  м/с. Найти среднюю силу сопротивления  $F_c$  доски.

1.157. Камень при падении с высоты  $h=10$  м с начальной скоростью равной нулю имел скорость в момент падения  $v=12$  м/с. Чему равна средняя сила сопротивления воздуха  $F_c$  при падении камня? Масса камня  $m=1$  кг.

1.158. Автомобиль, масса которого  $m=3$  т, двигался со скоростью  $v=72$  км/ч. Начав торможение, он остановился проехав путь  $S=200$  м. Определить среднюю силу торможения автомобиля  $F$ .

\*1.159. Найти среднюю мощность  $N$ , развиваемую порохowymi газами при выстреле из винтовки с длиной ствола  $l=1$  м. Масса пули  $m=10$  г, а ее скорость при вылете  $v=400$  м/с. Считать силу давления пороховых газов постоянной.

1.160. Тело, масса которого  $m$ , равномерно скользит с вершины холма и останавливается у основания. Высота холма  $h$ . Какую работу надо совершить, чтобы поднять тело на вершину холма по тому же пути?

1.161. Какой путь до остановки пройдут санки по горизонтальной поверхности после спуска с начальной скоростью равной нулю с горы высотой  $h=15$  м, имеющей уклон  $\alpha = 30^\circ$ ? Коэффициент трения скольжения равен  $\mu = 0,2$ .

1.162. Какую минимальную работу  $A$  надо совершить, чтобы груз массой  $m=1$  кг, стоящий на столе, поднять на высоту  $h=1$  м при помощи резинового шнура, привязанного к телу? Жесткость шнура  $k=50$  Н/м. В начальном состоянии шнур не растянут, а после подъема тела шнур остается растянутым. Массой шнура можно пренебречь.

1.163. Веревка длиной  $l=5$  м переброшена через гвоздь, вбитый в вертикальную стену. В начальный момент веревка висит симметрично и покоится. В результате незначительного толчка веревка начинает скользить по гвоздю. Какой будет скорость  $v$  веревки, когда она соскользнет с гвоздя? Силами сопротивления пренебречь.

1.164. Мяч бросают с некоторой высоты вертикально вниз, на горизонтальную площадку со скоростью  $v_0=20$  м/с. На сколько выше первоначального уровня  $\Delta h$  подпрыгнет мяч? Удар мяча о Землю считать абсолютно упругим.

1.165. Тело брошено горизонтально с обрыва со скоростью  $v_0$ . Найти кинетическую энергию  $E_k$  через время  $t$  после начала движения. Масса тела  $m$ . Сопротивлением воздуха пренебречь.

1.166. Тело брошено с начальной скоростью  $v_0$  под углом к горизонту с поверхности Земли. На какой высоте  $h$  его кинетическая энергия равна потенциальной? Сопротивлением воздуха пренебречь. При каких углах бросания  $\alpha$  задача имеет решение?

1.167. Камень брошен с поверхности Земли под углом к горизонту со скоростью  $v_0$ . Определить, на какой высоте  $h$  скорость камня уменьшится вдвое. Сопротивлением воздуха пренебречь. При каких углах бросания  $\alpha$  задача имеет решение?

1.168. Тело бросают под углом  $\alpha=30^\circ$  к горизонту с начальной скоростью  $v_0=10$  м/с. Используя закон сохранения энергии найти максимальную высоту подъема тела  $h$ .

\*1.169. Под каким углом  $\alpha$  к горизонту надо бросить тело с поверхности Земли, чтобы в верхней точке траектории его потенциальная энергия составляла  $k=1/4$  часть начальной кинетической энергии?

1.170. Пуля, летящая горизонтально, попадает в шар, подвешенный на легком жестком стержне, и застревает в нем. При этом шар по дуге окружности поднимается на высоту  $h=0,8$  м. Определить скорость пули  $v$ , если масса пули  $m=10$  г, а масса шара  $M=1$  кг.

1.171. Пуля попадает в тело, масса которого  $M$ , (рис.1.17) и застревает в нем. На сколько сожмется пружина с жесткостью  $k$ , удерживающая тело, если масса пули  $m$ , а скорость  $v$ .

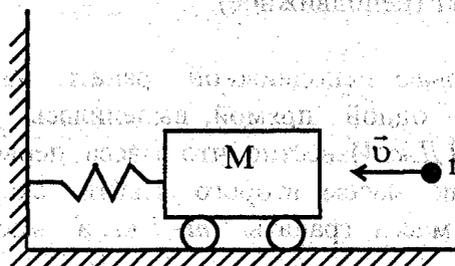


Рис. 1.17

1.172. Клин, масса которого  $M$ , находится на гладкой горизонтальной поверхности. На клине лежит брусок, масса которого  $m$ , и который под действием силы тяжести может скользить по клину без трения. В начальный момент система покоилась. Найти скорость клина  $v$  в тот момент, когда брусок с высоты  $h$  (рис. 1.18) соскользнет на плоскость.

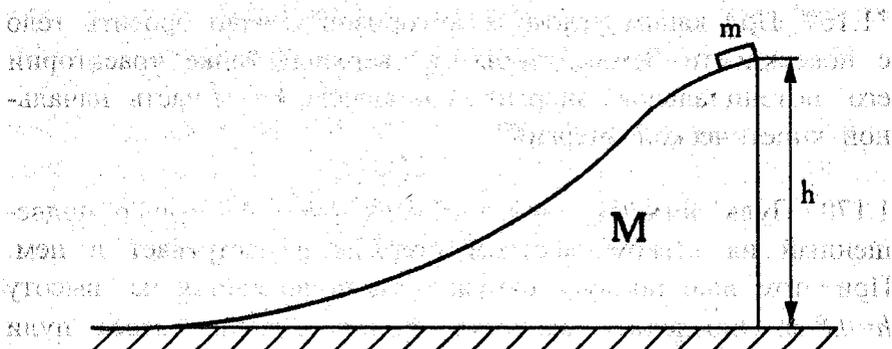


Рис. 1.18

1.173. Движущееся тело ударяется о неподвижное. Удар считать центральным и неупругим, а скорость тел после соударения равной  $u=4$  м/с. Определить энергию  $E_1$  первого тела до соударения. Массы тел:  $m_1=2$  кг (движущееся) и  $m_2=1$  кг (неподвижное).

1.174. При разрыве неподвижной гранаты на два осколка, летящих вдоль одной прямой, выделилась механическая энергия  $E=1350$  Дж. Известно, что масса первого осколка в  $k=3$  раза больше массы второго. Найти скорость первого осколка, если масса гранаты  $m=1$  кг, а масса пороховых газов мала.

1.175. Два тела, скорости которых взаимно перпендикулярны и равны  $v_1=4$  м/с,  $v_2=3$  м/с, а масса каждого  $m=0,4$  кг, сталкиваются, образуя тело с массой  $M=0,8$  кг. Определить кинетическую энергию тела.

1.176. Определить изменение  $\Delta E_k$  кинетической энергии при лобовом столкновении грузовика массой  $M=20$  т с легковым

автомобилем  $m=2$  т. Скорости автомобилей по модулю равны  $v_1=v_2=72$  км/ч и направлены противоположно.

\*1.177. Два тела, массы которых  $m$  и  $km$  ( $k=4$ ), движутся во взаимно перпендикулярных направлениях. После соударения тело, масса которого  $m$ , остановилось. Какую часть его первоначальной энергии  $\eta$  составляет выделившееся при ударе тепло?

\*1.178. Шар, лежащий на горизонтальной поверхности, ударяет другой шар, движущийся со скоростью  $v_1$ . Между шарами происходит абсолютно упругий центральный удар. Определить скорости шаров  $u_1$  и  $u_2$  после удара. Массы шаров:  $m_2$  — неподвижного,  $m_1$  — движущегося.

\*1.179. Два соприкасающихся шара висят на нитях одинаковой длины. Первый шар отводят в сторону и отпускают. После упругого удара шары поднимаются на одну и ту же высоту. Найти массу первого шара  $m_1$ , если масса второго шара  $m_2=0,3$  кг.

\*1.180. Шарик на нити вращается в вертикальной плоскости. Его ускорение на уровне центра вращения равно  $a=g\sqrt{17}$ . Чему равна скорость шарика в нижней точке траектории? Длина нити  $l$ .

\*1.181. Грузик, подвешенный на нити, отводят в сторону так, что нить принимает горизонтальное положение и отпускают. Какой угол  $\alpha$  с вертикалью образует нить в момент, когда ускорение груза направлено горизонтально?

\*1.182. Шарик, подвешенный на нити, качается в вертикальной плоскости так, что его ускорения в крайнем и нижнем

положениях по величине равны друг другу. Найти угол отклонения нити в крайнем положении.

1.183. На одном конце жесткого стержня длиной  $l$  висит грузик. Какую минимальную скорость  $v_0$  надо сообщить грузику, чтобы он смог сделать полный оборот в вертикальной плоскости вокруг другого конца стержня, закрепленного шарнирно? Массой стержня пренебречь.

1.184. На нити длиной  $l$  висит шарик. Какую минимальную скорость  $v_0$  в горизонтальном направлении необходимо сообщить шарика, чтобы он сделал полный оборот по окружности в вертикальной плоскости?

1.185. Люстра висит на цепи. Цепь может выдерживать нагрузку  $T=1 \text{ кН}$ . Масса люстры  $m=50 \text{ кг}$ . Определить, на какой наибольший угол  $\alpha$  можно отклонить люстру без разрыва цепи во время колебаний. Ускорение свободного падения принять равным  $10 \text{ м/с}^2$ .

1.186. Шарик соскальзывает без трения по наклонному желобу, образуя "мертвую петлю" радиусом  $R$ . С какой высоты  $h$  шарик должен начать движение, чтобы не оторваться от желоба в верхней точке петли?

\*1.187. Небольшое тело без трения соскальзывает с вершины сферы радиусом  $R$  с очень малой скоростью. На какой высоте  $h$  от вершины тело оторвется от поверхности сферы?

#### 1.4. Статика. Гидростатика

П 1.12 Однородный стержень  $AB$  (рис. 1.19), длина которого  $l=2$  м и масса  $m=6$  кг, может вращаться вокруг горизонтальной оси  $O$ , отстоящей от конца  $A$  стержня на расстоянии  $l_1=0,4$  м. К точке  $A$  подвешен груз, масса которого  $m_1=12$  кг. Какую горизонтальную силу  $F$  надо приложить к точке  $B$ , чтобы стержень в состоянии равновесия составлял с горизонтом угол  $\alpha = 30^\circ$ ?

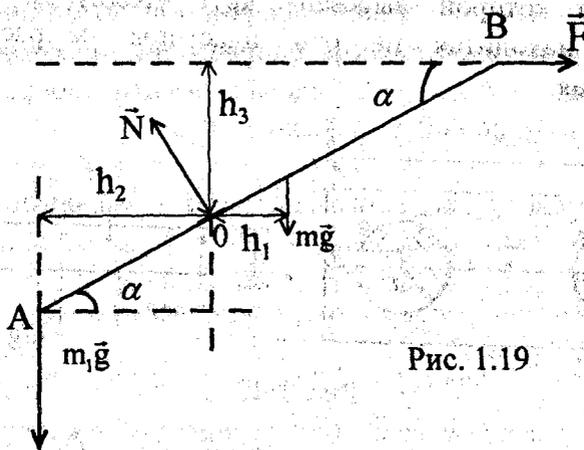


Рис. 1.19

**Решение:** На стержень  $AB$  действуют силы:  $m\bar{g}$  — сила тяжести стержня, приложенная к середине стержня,  $m_1\bar{g}$  — сила тяжести груза,  $\bar{N}$  — реакция оси,  $\bar{F}$  — внешняя сила. Для вычисления моментов сил определим плечи  $h_1$ ,  $h_2$  и  $h_3$  относительно оси  $O$ . Как видно из рисунка:

$$h_1 = (l/2 - l_1)\cos\alpha;$$

$$h_2 = l_1\cos\alpha;$$

$$h_3 = (l - l_1)\sin\alpha.$$

Плечо силы  $N$ , а следовательно, и момент этой силы, равны нулю. Таким образом, условие равновесия стержня записывается в виде:

$$F(l-l_1) \sin \alpha + mg(l/2-l_1) \cos \alpha - m_1 g l_1 \cos \alpha = 0,$$

или

$$F = \frac{g[m_1 l_1 - m(l/2-l_1)] \cos \alpha}{(l-l_1) \sin \alpha} = 12,7 \text{ Н.}$$

**П.1.13.** Определить центр тяжести однородной прямоугольной пластины шириной  $a=8$  см и длиной  $b=16$  см (рис. 1.20), из которой вырезан круг радиусом  $r=3$  см. Центр круга находится на оси пластины на расстоянии  $c=4$  см от края.

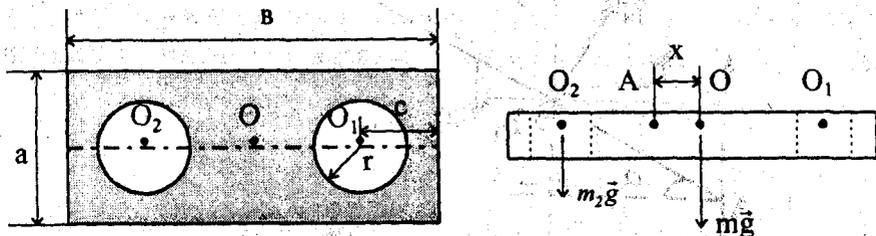


Рис. 1.20

**Решение:** Пусть  $O$  – центр целой пластины,  $O_1$  – центр вырезанного круга. Тогда центр тяжести пластины без круга лежит в точке  $A$  на линии  $OO_1$ , расположенной на некотором расстоянии  $x$  левее от точки  $O$ . Представим, что наша пластина состоит из двух частей: круга радиуса  $r$ , центр тяжести которого  $O_2$  лежит на линии  $OO_1$  на расстоянии  $c$  от левого края пластины, с массой  $m_2 = \pi r^2 \rho h$  и пластины, из которой вырезаны два круга, центр тяжести которой находится в точке  $O$  и ее масса  $m = h \rho (ab - 2\pi r^2)$  (из массы целой пластины вычли массы двух кругов). Здесь  $\rho$  – плотность материала пластины,  $h$  – ее толщина. Так как точка  $A$  является центром тяжести нашей пла-

стины, для масс  $m_2$  и  $m$ , которые составляют массу пластины, можем записать условие равновесия относительно точки  $A$

$$mgAO - m_2gAO_2 = 0. \quad (1)$$

Из рис. 1.20 ясно, что  $AO = x$ ,  $AO_2 = b/2 - c - x$ .

Тогда условие (1) примет вид:

$$h\rho(ab - 2\pi r^2)x = hr^2\pi\rho(b/2 - (c+x)).$$

Решив уравнение, находим  $x = \frac{r^2\pi((b/2) - c)}{ab - r^2\pi} = 1,13 \text{ см.}$

**П 1.14.** В цилиндрический сосуд налиты равные по массе количества ртути и воды. Общая высота столба жидкостей  $h$  (рис. 1.21). Чему равно суммарное давление  $p$  жидкостей на дно сосуда? Плотность ртути  $\rho_r$  и воды  $\rho_w$  считать известными.

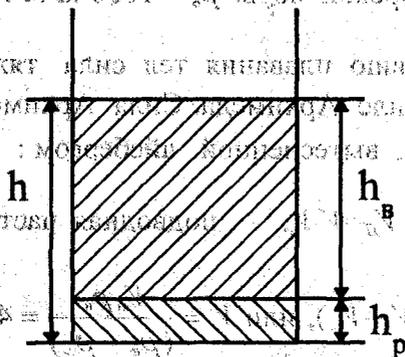


Рис. 1.21

**Решение:** Суммарное гидростатическое давление жидкостей

$$p = \rho_w g h_p + \rho_r g h_w, \quad (1)$$

где  $h_w$  и  $h_p$  — высоты столбов воды и ртути соответственно; причем  $h = h_w + h_p$ . По условию задачи массы жидкостей равны, т.е.  $\rho_w h_w S = \rho_r h_p S$  (здесь  $S$  — площадь дна сосуда). Итак, имеем систему

$$\begin{cases} h = h_p + h_s, \\ \rho_s h_s = \rho_p h_p, \end{cases}$$

решив которую определяем:

$$h_p = h \frac{\rho_s}{\rho_p + \rho_s}; h_s = \frac{\rho_p}{\rho_p + \rho_s} h.$$

Следовательно, из (1):  $p = \frac{2\rho_p\rho_s}{\rho_p + \rho_s} gh.$

**П 1.15.** Надводная часть айсберга имеет объем  $V_n = 500 \text{ м}^3$ . Определить объем айсберга  $V$ , если плотность льда  $\rho_n = 920 \text{ кг/м}^3$ , плотность морской воды  $\rho_s = 1030 \text{ кг/м}^3$ .

**Решение:** По условию плавания тел сила тяжести айсберга  $mg = \rho_n Vg$  равна силе Архимеда. Сила Архимеда равна силе тяжести воды, вытесненной айсбергом:

$$F_A = \rho_s g V_n \quad (\text{здесь } V_n = V - V_n - \text{подводная часть айсберга}).$$

$$\text{Тогда } \rho_n Vg = \rho_s g(V - V_n), \text{ или } V = \frac{V_n \rho_s}{(\rho_s - \rho_n)} = 4680 \text{ м}^3.$$

**П 1.16.** Вес тела в воде в  $k=3$  раза меньше, чем в воздухе. Определить плотность тела  $\rho$ .

**Решение:** Вес тела в воздухе  $P_0 = mg$ . В воде на тело действуют три силы (рис. 1.22):  $m\vec{g}$  – сила тяжести,  $\vec{F}_A$  – сила Архимеда,  $\vec{T}$  – сила натяжения нити. Из условия равновесия тела в воде  $T + F_A - mg = 0$ . Из третьего закона Ньютона вес

тела в воде  $P$  равен по величине силе натяжения  $T$ . Таким образом,  $P=T=mg-F_A$ . По условию  $P_0=kP$ , т.е.  $mg=kmg-kF_A$ ,  $kF_A=mg(k-1)$ . Сила Архимеда  $F_A=\rho_0 gV$ , сила тяжести  $mg=\rho gV$  (здесь  $V$  – объем тела). Тогда  $k\rho_0 gV=(k-1)\rho gV$  или  $\rho=\frac{k\rho_0}{k-1}=1500 \text{ кг/м}^3$ .

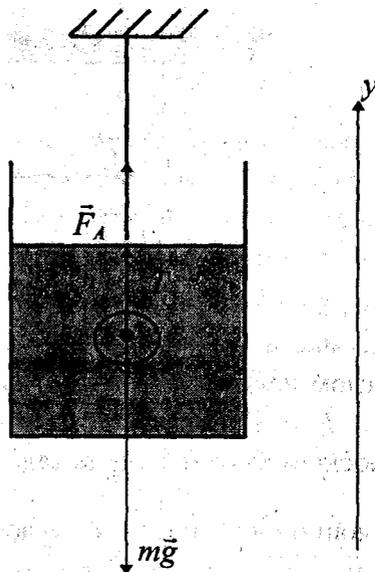


Рис.1.22

1.188. Две силы по  $F_1=10 \text{ Н}$  каждая приложены к одной точке под углом  $\alpha_1=90^\circ$ . Под каким углом  $\alpha_2$  друг к другу нужно приложить две силы по  $F_2=8 \text{ Н}$ , чтобы они уравновесили первые две?

1.189. Фонарь, масса которого  $m=10$  кг, подвешен между столбами на двух одинаковых тросах, угол между которыми  $\alpha=90^\circ$ . Найти силу натяжения  $T$  тросов.

1.190. Груз (масса  $m=20$  кг) висит на тросах (рис.1.23). Угол  $\alpha=60^\circ$ . Определить силы  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_3$ , растягивающие тросы СД, АС и СВ.

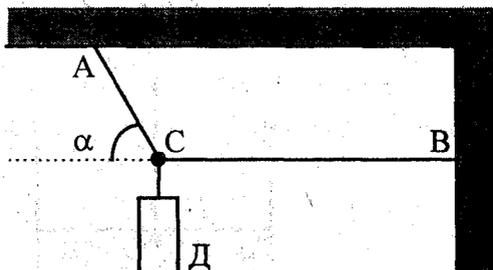


Рис. 1.23

1.191. Брусок, масса которого  $m=2$  кг, лежит на наклонной плоскости с углом наклона  $\alpha=60^\circ$ . Коэффициент трения  $\mu=0,4$ . С какой силой  $F$  нужно прижимать брусок перпендикулярно наклонной плоскости, чтобы он оставался на ней в покое?

1.192. На наклонной плоскости с углом наклона  $\alpha=30^\circ$  лежит цилиндр. Цилиндр удерживается в состоянии покоя с помощью огибающей его нити, один конец которой закреплен на наклонной плоскости, а другой натянут вертикально с силой  $F$  (рис. 1.24). Определить силу  $F$ . Масса цилиндра  $m=3$  кг.

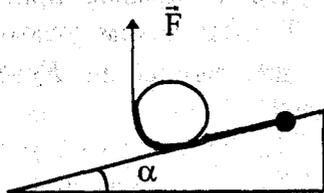


Рис. 1.24

1.193. Рабочий удерживает за один конец бревна так, что бревно образует с горизонтом угол  $\alpha$ . С какой силой  $F$ , направленной перпендикулярно бревну, удерживает рабочий бревно в этом положении? Масса бревна равна  $m$ .

1.194. На столе лежит стержень так, что  $k=1/3$  его длины выступает за край стола. Какую минимальную силу  $F$  надо приложить к концу стержня, находящемуся на столе, чтобы оторвать его от поверхности? Масса стержня  $m=0,4$  кг.

1.195. Рельс, длиной  $l=10$  м, массой  $m=900$  кг, поднимают вертикально на двух параллельных тросах, сохраняя его горизонтальное положение. Найдите силу натяжения тросов  $T_1$  и  $T_2$ , если первый из них укреплен на конце рельса, а второй – на расстоянии  $l_1=1$  м от другого конца.

1.196. На концах однородного стержня, масса которого  $m=1$  кг и длина  $l=0,6$  м, подвешены грузы. На каком расстоянии  $x$  от точки подвеса второго груза надо подпереть стержень, чтобы он находился в равновесии? Массы грузов: первого  $m_1=1$  кг, второго  $m_2=2$  кг.

1.197. Труба, масса которой  $m=40$  кг и длина  $l=6$  м лежит на опоре, находящейся на расстоянии  $l_1=1$  м от конца трубы. Она удерживается в горизонтальном положении с помощью некоторой силы  $F$ , приложенной к другому концу трубы и составляющей угол  $\alpha=30^\circ$  с трубой. Определить величину этой силы.

1.198. Стержень  $AB$  прикреплен к вертикальной стенке следующим образом: нижний конец  $B$  скреплен со стеной шарнирно, а верхний конец  $A$  связан со стеной невесомой и нерастяжимой нитью. Углы, образованные нитью и стержнем с вертикальной стеной, равны  $\alpha=30^\circ$ . Масса стержня  $m=1$  кг. Найти силу натяжения нити  $T$ .

\*1.199. Квадрат из однородной проволоки, в котором отрезана одна сторона, подвешен за одну из вершин. Какой угол  $\alpha$  образует средняя сторона с вертикалью?

1.200. Высота ящика, стоящего на горизонтальной поверхности,  $h=2$  м, площадь квадратного дна  $l^2=1$  м<sup>2</sup>, масса  $m=100$  кг. Что будет с ящиком при действии ветра, производящего давление  $p=300$  Н/м<sup>2</sup>, если коэффициент трения равен а)  $\mu_1=0,5$ ; б)  $\mu_2=0,7$ ? Направление ветра перпендикулярно к боковой грани ящика.

\*1.201. Дверь, высота которой  $H=2$  м, ширина  $l=1$  м и масса  $m=32$  кг, подвешена на двух петлях, находящихся на расстоянии  $a=20$  см от верхнего и нижнего краев двери. С какой силой  $F$  дверь тянет верхнюю петлю в горизонтальном направлении?

\*1.202. Лестница длиной  $l=3$  м приставлена к гладкой стене под углом  $\alpha=60^\circ$  к полу. Максимальная сила трения между лестницей и полом  $F_{тр}=200$  Н. На какую высоту может подняться человек, масса которого  $m=60$  кг, прежде чем лестница начнет скользить? Массой лестницы пренебречь.

1.203. На бревне, сечение которого одинаково, а длина  $l=3$  м, сидят три человека, массы которых и расстояния от левого края бревна равны соответственно:  $m_1=50$  кг,  $l_1=1$  м;  $m_2=65$  кг,  $l_2=1,5$  м;  $m_3=70$  кг,  $l_3=2$  м. На каком расстоянии  $l_c$  от левого края бревна расположен центр тяжести бревна и сидящих на нем людей? Масса бревна  $m=100$  кг.

1.204. Найти положение центра тяжести однородной пластины, размеры которой указаны на рис.1.25.

1.205. Два шара одинакового радиуса  $R=10$  см стальной и алюминиевый, касаются друг друга. На каком расстоянии от центра стального шара находится центр тяжести?

Плотность стали и алюминия принять равными  $\rho_c=8,1$  г/см<sup>3</sup> и  $\rho_a=2,7$  г/см<sup>3</sup>.

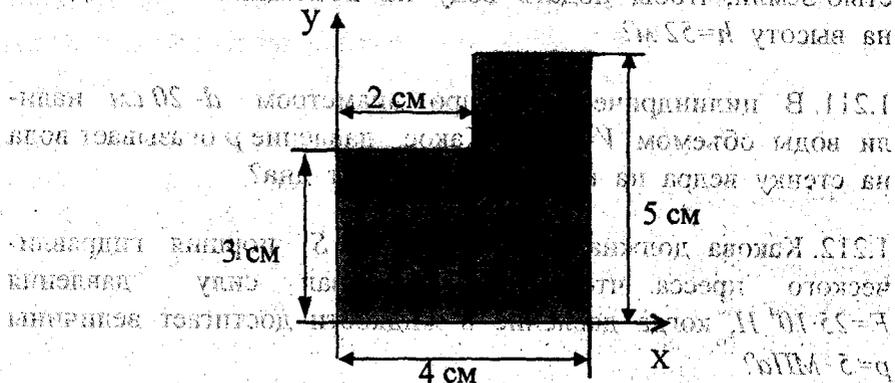


Рис. 1.25

1.206. Из однородной круглой пластины, радиус которой  $R$ , вырезан круг вдвое меньшего радиуса, касающийся первого круга. На какое расстояние  $x$  сместится положение центра тяжести?

\*1.207. Из однородной круглой пластины, радиус которой  $R=10$  см вырезан квадрат со стороной  $a=8$  см. Середина одной из сторон квадрата совпадает с центром круга. Определить положение центра тяжести полученной фигуры (отсчет вести от центра тяжести круга).

1.208. В подводной части судна на глубине  $h=5$  м образовалось отверстие площадью  $S=0,6$  м<sup>2</sup>. Отверстие закрыли металлическим листом. Какая минимальная сила  $F$  необходима, чтобы удержать лист изнутри?

1.209. Сосуд кубической формы с ребром  $a$  до краев наполнен водой. Определить силу давления воды на дно  $F_d$  и на боковую грань  $F_b$ .

1.210. Какое давление  $p$  должен создавать насос, находящийся на первом этаже на высоте  $h_0=2$  м над поверхностью Земли, чтобы подать воду на последний этаж здания на высоту  $h=52$  м?

1.211. В цилиндрическое ведро диаметром  $d=20$  см налили воды объемом  $V=9,1$  л. Какое давление  $p$  оказывает вода на стенку ведра на высоте  $h=10$  см от дна?

1.212. Какова должна быть площадь  $S$  поршня гидравлического пресса, чтобы он развивал силу давления  $F=25 \cdot 10^4$  Н, когда давление в жидкости достигает величины  $p=5$  МПа?

1.213. Малый поршень гидравлического пресса за один ход опускается на  $h_1=2$  дм, а большой поршень поднимается на высоту  $h_2=1$  см. С какой силой  $F$  действует пресс на находящееся в нем тело, если на малый поршень действует сила  $F_1=500$  Н, а коэффициент полезного действия пресса  $\eta=80\%$ ?

1.214. В сосуд с водой вертикально вставлена трубка сечением  $S=2$  см<sup>2</sup>. В трубку налили  $m=72$  г масла, плотность которого  $\rho_m=900$  кг/м<sup>3</sup>. Найдите разность уровней  $h$  масла и воды. Считать, что часть трубки, находящаяся в воде, достаточно длинная.

1.215. Две трубки диаметрами  $d=4$  см представляют собой сообщающийся сосуд. В одно колено сосуда наливают воду с  $V=0,25$  л воды, а в другое  $V=0,25$  л ртути. Какова будет высота жидкостей в обоих коленах? Объемом изогнутой части пренебречь. Плотность воды  $\rho_w=10^3$  кг/м<sup>3</sup>, ртути  $\rho_r=13,6 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>.

1.216. В сообщающийся сосуд, диаметр одной трубки которого в  $k$  раз больше диаметра второй трубки, налита ртуть. В сосуд меньшего диаметра сверху налили воды высотой  $h$ . На сколько изменится уровень ртути в сосуде большего диаметра? Плотность воды  $\rho_v$  и ртути  $\rho_p$  известны. Считать, что ртуть остается и в трубке меньшего диаметра.

\*1.217. В пяти ( $k=5$ ) сообщающихся сосудах, имеющих одинаковое поперечное сечение  $S=5 \text{ см}^2$ , находится ртуть. В один из сосудов поверх ртути наливают  $V=102 \text{ см}^3$  воды. На какое расстояние  $h$  переместится уровень ртути в остальных сосудах? Плотность ртути  $\rho_p=13,6 \text{ г/см}^3$ .

1.218. Как изменится осадка парохода при переходе из Днепра в Черное море?

1.219. Пробковый спасательный круг имеет массу  $m=4 \text{ кг}$ . Определить подъемную силу  $F_n$  этого круга в воде. Плотность пробки  $\rho_p=200 \text{ кг/м}^3$ .

1.220. Определить наименьшую площадь плоской льдины толщиной  $d=50 \text{ см}$ , способной удержать на воде двух человек. Плотность льда  $\rho_n=0,9 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ . Масса каждого человека  $m=75 \text{ кг}$ .

1.221. Поплавок для понтонного моста, имеющий вид прямого цилиндра с площадью основания  $S=1 \text{ м}^2$  и высотой  $h=1 \text{ м}$ , в отсутствие нагрузки погружается на  $l=25 \text{ см}$ . Какую максимальную нагрузку  $F$  может выдержать поплавок?

1.222. Определите объем  $V$  тела, которое полностью погружено в бензин и выталкивается с силой  $F=28 \text{ Н}$ . Плотность бензина  $\rho_b=700 \text{ кг/м}^3$ .

1.223. Тело массой  $m=8$  кг в воде весит  $P=60$  Н. Определите плотность тела  $\rho$ .

1.224. Алюминиевый цилиндр, масса которого  $m=540$  г подвешен на нити и полностью погружен в жидкость. Определить плотность жидкости  $\rho_{ж}$ , если сила натяжения нити  $T=3,4$  Н. Плотность алюминия  $\rho_{\alpha}=2,7 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>.

1.225. Какая сила  $F$  нужна, чтобы пробковый спасательный круг массой  $m=3,6$  кг удержать в воде так, чтобы  $k=3/4$  часть его была погружена в воду? Плотность пробки  $\rho_{п}=200$  кг/м<sup>3</sup>.

1.226. Полый цинковый шар, наружный объем которого  $V=200$  см<sup>3</sup>, плавает в воде так, что  $k=3/4$  его объема погружается в воду. Найти объем полости  $V_{п}$  шара. Плотность цинка  $\rho_{ц}=7,15 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>.

1.227. Тело массой  $m=2,5$  кг, подвешенное на длинной пружине с коэффициентом жесткости  $k=250$  Н/м, опускают в жидкость. При этом удлинение пружины уменьшается на  $\Delta l=4$  см. Определите отношение плотности тела к плотности жидкости  $\rho_{т}/\rho_{ж}$ .

1.228. Тело, подвешенное на нити и полностью погруженное в жидкость, плотность которой  $\rho_1$ , натягивает нить с силой  $F_1$ . Если же использовать жидкость с плотностью  $\rho_2$ , сила натяжения станет равна  $F_2$ . Вес тела в воздухе  $P$ . Выразить  $\rho_2$  через  $\rho_1, F_1, F_2, P$ .

1.229. Тело кубической формы плавает на поверхности ртути так, что в ртуть погружена  $k=0,25$  его объема. Какая часть тела  $k_1$  будет погружена в ртуть, если поверх нее

налить слой воды, полностью закрывающий тело? Плотность ртути  $\rho_p = 13,6 \text{ кг/м}^3$ .

1.230. Кусок стекла падает в воде с ускорением  $a = 6 \text{ м/с}^2$ . Найти плотность стекла  $\rho_c$ . Трением стекла о воду пренебречь.

1.231. Тело всплывает с постоянной скоростью в жидкости, плотность которой в  $k = 4$  раза больше плотности материала тела. Каково отношение силы сопротивления  $F_c$ , действующей на всплывающее тело, к силе тяжести  $mg$ ?

1.232. Какую работу  $A$  надо совершить, чтобы медленно поднять камень объемом  $V = 20 \text{ дм}^3$  с глубины  $h = 80 \text{ см}$  до поверхности воды? Плотность камня  $\rho_k = 2,5 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ .

\*1.233. Шарик массой  $m = 20 \text{ г}$  погружен в воду на глубину  $h_1 = 40 \text{ см}$ . Когда шарик отпустили он выпрыгнул из воды на высоту  $h_2 = 30 \text{ см}$ . Какое количество энергии при этом перешло в теплоту  $Q$  из-за трения шарика о воду? Плотность материала шарика  $\rho = 500 \text{ кг/м}^3$ .

\*1.234. Тонкая однородная палочка шарнирно закреплена за верхний конец. Нижняя часть палочки погружена в воду. Равновесие достигается, когда палочка расположена наклонно и в воде находится  $k = 1/2$  часть длины. Определить плотность материала  $\rho$ , из которого сделана палочка.

## 2. Молекулярная физика и тепловые явления

### 2.1. Основы молекулярно – кинетической теории

**П2.1.** Найти количество вещества, концентрацию молекул и плотность газообразного кислорода, находящегося в объеме  $V = 100 \text{ м}^3$ . Молярная масса кислорода  $\mu = 0,032 \text{ кг/моль}$ .

Масса кислорода  $m = 2 \text{ кг}$ .

**Решение:** В международной системе единиц количество вещества  $\nu$  выражается в молях, следовательно  $\nu = m/\mu = 62,5 \text{ моль}$ . Общее число молекул кислорода равно  $N = N_A \nu$  (здесь  $N_A$  – постоянная Авогадро), откуда концентрация молекул определяется как  $n = N_A \nu / V = 3,76 \cdot 10^{23} \text{ м}^{-3}$ .

Плотность газообразного кислорода  $\rho = m/V = 0,02 \text{ кг/м}^3$ .

**П2.2.** Поршень выдвигается из цилиндра с постоянной скоростью  $\nu$ . Молекула газа, масса которой  $m$ , летит перпендикулярно к поршню со скоростью  $u > \nu$  и упруго ударяется о него. На сколько изменится кинетическая энергия и импульс молекулы? Как меняется температура газа?

**Решение:** В системе отсчета, связанной с поршнем скорость молекулы равна  $(u - \nu)$ . После упругого удара она равна  $-(u - \nu)$ . Возвращаясь в неподвижную относительно стенок цилиндра систему отсчета имеем скорость молекулы после удара равную  $-(u - 2\nu)$ .

В результате находим изменение кинетической энергии молекулы (газ охлаждается)  $\Delta E_k = mu^2/2 - m(u - 2\nu)^2/2$ .

Модуль изменения импульса молекулы  $|\Delta \vec{p}| = m u - \{-m(u - 2\nu)\} = 2m(u - \nu)$ .

**П2.3.** Цилиндрический замкнутый сосуд, заполненный кислородом, разделен на две части непроницаемым горизон-

тальным поршнем, масса которого  $m = 1$  кг и площадь основания  $S = 9,81 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$  (рис. 2.1). Давление кислорода в верхней части сосуда  $p_1 = 1,34 \cdot 10^5 \text{ Па}$ . Определить среднюю квадратичную скорость молекул кислорода  $v_{\text{ср.кв.}}$  в нижней части сосуда, где плотность газа составляет  $\rho = 2 \text{ кг/м}^3$ . Трением между стенками сосуда и поршнем пренебречь.

**Решение:** Из условия равновесия определим связь давления газа в верхней  $p_1$  (рис. 2.1) и нижней  $p_2$  части сосуда:

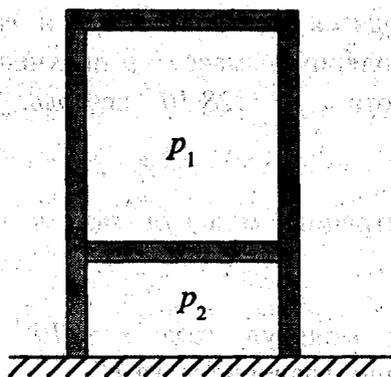


Рис.2.1.

$$p_2 = p_1 + mg/S. \quad (1)$$

Давление  $p_2$  связано со средней квадратичной скоростью молекул соотношением

$$p_2 = \frac{1}{3} \rho \langle v^2 \rangle. \quad (2)$$

Из уравнений (1) и (2) получаем

$$v_{\text{ср.кв.}} = \sqrt{\frac{3(p_1 S + mg)}{\rho S}} = 4,5 \cdot 10^2 \text{ м/с.}$$

2.1. Вычислить массу одной молекулы  $m_1$  углекислого газа  $\text{CO}_2$ . Молярная масса углекислого газа  $\mu = 0,044 \text{ кг/моль}$ .

2.2. Сколько атомов  $N$  содержится в  $V = 1 \text{ см}^3$  алюминия? Молярная масса алюминия  $\mu = 0,027 \text{ кг/моль}$ , плотность  $\rho = 2,7 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ .

2.3. За время  $t_1 = 1 \text{ ч}$  полностью испарилась вода, масса которой  $m = 10 \text{ г}$ . Сколько молекул  $N$  вылетело с поверхности воды за время  $t_2 = 2 \text{ с}$ ? Молярная масса воды  $\mu = 0,018 \text{ кг/моль}$ .

2.4. В сосуде находятся  $m_1 = 2 \text{ кг}$  азота и  $m_2 = 1 \text{ кг}$  водорода. Определить молярную массу  $\mu$  полученной смеси. Молярная масса азота  $\mu_1 = 28 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$ , водорода  $\mu_2 = 2 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$ .

2.5. Найти концентрацию молекул газа  $n$  при нормальных условиях.

2.6. Концентрация молекул газа  $n = 10^{21} \text{ м}^{-3}$ , температура  $t = 27^\circ \text{C}$ . Чему равно давление в газе?

2.7. Давление газа в современной телевизионной трубке при комнатной температуре ( $t = 20^\circ \text{C}$ ) составляет  $p = 10^9 \text{ атм}$ . Каково число молекул  $N$  в  $V = 1 \text{ см}^3$ ?  $1 \text{ атм} = 10^5 \text{ Па}$ .

2.8. В объеме  $V = 9 \text{ м}^3$  находится газ при давлении  $p = 100 \text{ кПа}$ . Вычислить среднюю квадратичную скорость молекул. Масса газа  $m = 2 \text{ кг}$ .

2.9. Водород с концентрацией молекул  $n = 10^{20} \text{ м}^{-3}$  находится при давлении  $p = 10 \text{ кПа}$ . Определить среднюю квадратичную скорость молекул. Молярная масса водорода  $\mu = 0,002 \text{ кг/моль}$ .

2.10. При повышении температуры газа на  $\Delta t_1 = 180^\circ\text{C}$  среднеквадратичная скорость молекул возросла от  $v_1 = 400$  м/с до  $v_2 = 500$  м/с. На сколько градусов  $\Delta t_2$  надо нагреть газ, чтобы увеличить среднеквадратичную скорость молекул с  $v_2 = 500$  м/с до  $v_3 = 600$  м/с?

2.11. Молекула кислорода, летящая под углом  $\alpha = 30^\circ$  к плоской стенке сосуда со скоростью  $v = 500$  м/с испытывает при столкновении абсолютно упругий удар. Найти изменение импульса молекулы. Молярная масса кислорода  $\mu = 0,032$  кг/моль.

2.12. В течение  $\Delta t = 0,1$  с на стенку перпендикулярно ее поверхности со скоростью  $v = 800$  м/с падает пучок молекул азота, количество вещества в котором  $\nu = 1$  моль. Молекулы отскакивают перпендикулярно стенке без потери энергии. Определить силу давления  $F$  пучка на стенку. Молярная масса азота  $\mu = 0,028$  кг/моль.

2.13. Молекулярный пучок направлен перпендикулярно к плоской «зеркальной» стенке. Определить давление оказываемое на стенку, если скорость молекул в пучке  $v = 10^3$  м/с, масса молекулы  $m = 5,3 \cdot 10^{-26}$  кг, их концентрация  $n = 10^{17}$  м<sup>-3</sup>. Рассмотреть два варианта: 1) стенка неподвижна; 2) стенка движется навстречу молекулам со скоростью  $u = 40$  м/с.

2.14. В опыте Ламмерта ось с двумя дисками, расположенными на расстоянии  $l = 0,5$  м друг от друга, вращается с частотой  $\nu = 1600$  об/мин. Молекула, летящая вдоль оси попадает в прорези дисков, смещенные друг относительно друга на угол  $\varphi = 12^\circ$ . Найти скорость молекулы.

2.15. Определить толщину слоя серебра  $d$ , нанесенного на стеклянную подложку за время  $t = 25$  мин, при использовании для этой цели атомарного пучка с плотностью потока атомов  $j = 3,9 \cdot 10^{20} \text{ с}^{-1} \text{ м}^{-2}$ . Молярная масса серебра  $\mu = 0,108$  кг/моль, плотность  $\rho = 10,5 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>.

## 2.2. Уравнение состояния идеального газа Газовые законы

**П2.4.** Газообразный кислород, находящийся под давлением  $p_1 = 2 \cdot 10^5$  Па при температуре  $T_1 = 283$  К, после нагревания при постоянном давлении занял объем  $V_2 = 0,01$  м<sup>3</sup>. Определить изменение объема, плотности и температуры газа. Молярная масса кислорода  $\mu = 0,032$  кг/моль, газовая постоянная  $R = 8,31$  Дж/моль·К. Масса кислорода  $m = 0,01$  кг.

**Решение:** Запишем уравнение состояния идеального газа до расширения

$$p_1 V_1 = RT_1 m / \mu,$$

откуда  $V_1 = mRT_1 / (\mu p_1) = 3,67 \cdot 10^{-3}$  м<sup>3</sup> и  $\Delta V = V_2 - V_1 = 6,33 \cdot 10^{-3}$  м<sup>3</sup>. Плотность до расширения  $\rho_1 = m/V_1 = 2,72$  кг/м<sup>3</sup>, плотность после расширения  $\rho_2 = m/V_2 = 1$  кг/м<sup>3</sup>, поэтому  $\Delta \rho = \rho_1 - \rho_2 = 1,72$  кг/м<sup>3</sup>. Согласно изобарическому процессу  $V_1/V_2 = T_1/T_2$ , в результате  $T_2 = V_2 T_1 / V_1 = 771$  К и  $\Delta T = T_2 - T_1 = 488$  К.

**П2.5.** Под невесомым поршнем в цилиндрическом сосуде находится газ при температуре  $T_1$ , образуя столб высотой  $H$  (рис. 2.2). Над поршнем, герметично прилегающим к гладким стенкам цилиндра, до краев сосуда налит тонкий слой ртути. Толщина этого слоя ртути  $h$ . На сколько градусов следует медленно изменить температуру газа под поршнем,

чтобы ртуть из цилиндра вылилась. Атмосферное давление  $p_0$ , плотность ртути  $\rho$ .

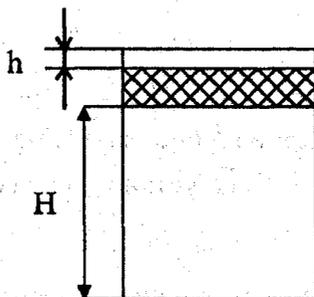


Рис.2.2.

**Решение:** Начальной ситуации, изображенной на рис.2.2, соответствует давление газа под поршнем  $p_1 = p_0 + \rho gh$ . Когда ртуть выльется в результате нагревания газа под поршнем, его давление  $p_2$  станет равным атмосферному давлению  $p_0$ , т.е.  $p_2 = p_0$ . Применяя уравнение Клапейрона  $p_1 V_1 / T_1 = p_2 V_2 / T_2$ , имеем  $p_1 H / T_1 = p_0 (H + h) / T_2$ , откуда

$$T_2 = \frac{T_1 p_0 (H + h)}{H (p_0 + \rho gh)}$$

Изменение температуры

$$\Delta T = \frac{T_1 p_0 (H + h)}{H (p_0 + \rho gh)} - T_1$$

**П2.6.** Два сосуда, заполненных воздухом при давлениях  $p_1 = 0,8 \text{ МПа}$  и  $p_2 = 0,6 \text{ МПа}$ , соединяют тонкой трубкой, объемом которой можно пренебречь по сравнению с объемами сосудов. Во сколько раз объем второго сосуда  $V_2$  больше первого  $V_1$ , если установившееся давление  $p$  в сосудах равно  $0,675 \text{ МПа}$ ? Температуру считать постоянной.

**Решение:** В результате соединения сосудов воздух из каждого сосуда распространится по объему двух сосудов. Этот процесс можно описать с помощью закона Бойля-Мариотта:

$$\left. \begin{aligned} p_1 V_1 &= p'(V_1 + V_2); \\ p_2 V_2 &= p'(V_1 + V_2); \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где  $p'_1$  и  $p'_2$  – парциальное давление газа из каждого сосуда. По закону Дальтона установившееся давление  $p = p'_1 + p'_2$ . Таким образом, объединяя уравнения (1) имеем  $p(V_1 + V_2) =$

$$p_1 V_1 + p_2 V_2. \text{ Искомое отношение объемов } \frac{V_2}{V_1} = \frac{p_1 - p}{p - p_2} = 1,67.$$

**П2.7.** В горизонтально расположенной трубке, запаянной с одного конца, находится столбик воздуха, запертый столбиком ртути высотой  $h = 16$  см. Трубку поставили вертикально, запаянным концом вниз. При этом величина столба воздуха уменьшилась на  $\kappa = 16\%$ . Какое было атмосферное давление  $p_0$ ? Плотность ртути  $\rho = 13,6 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>.

**Решение:** В этой задаче для воздуха имеет место изотермический процесс и по закону Бойля-Мариотта  $p_1 V_1 = p_2 V_2$ . В горизонтально расположенной трубке  $p_1 = p_0$ , а в вертикально расположенной трубке давление возрастает на величину давления столбика ртути, т.е.  $p_2 = p_0 + \rho gh$ . По условию  $V_2 = V_1 - V_1 \frac{16\%}{100\%} = 0,84 V_1$ .

Таким образом:  $p_0 V_1 = (p_0 + \rho gh) \cdot 0,84 V_1$ .

Отсюда  $p_0 = \frac{0,84 \rho gh}{0,16} = 1,12 \cdot 10^5$  Па.

2.16. Точки 1 и 2 на рис.2.3 *а, б* и *в* изображают состояния одинаковой массы идеального газа. Выяснить, в каком из указанных состояний (1 или 2) больше давление, объем, температура.

2.17. Точки 1 и 2 на рис.2.4 изображают состояния одинаковой массы газа. Определить графически все состояния газа, в которых давление  $p$ , температура  $T$  и объем  $V$  одновременно удовлетворяют условиям:

$$p_2 < p < p_1, V > V_1, T < T_2.$$

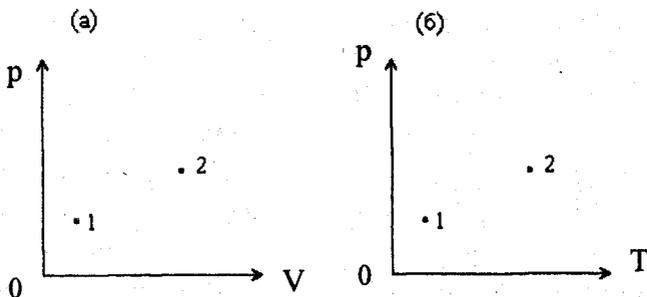


Рис.2.3.

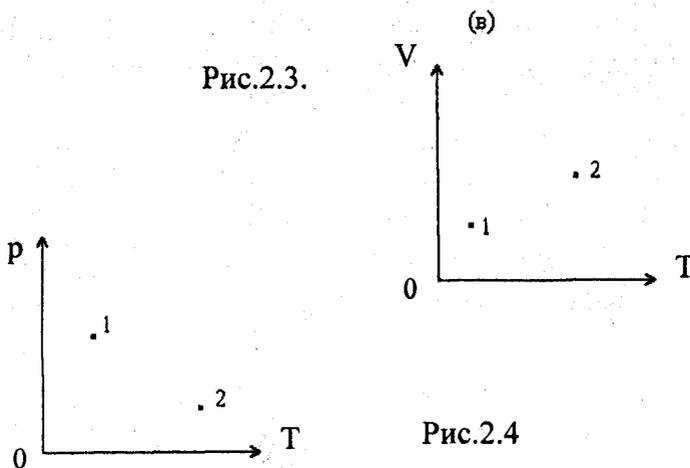


Рис.2.4

2.18. Цикл, показанный на рис.2.5 в координатах  $p$  от  $V$  для некоторой массы газа, изобразить в координатах  $V, T$  и  $p, T$ . Процесс (1-2) – изотерма.

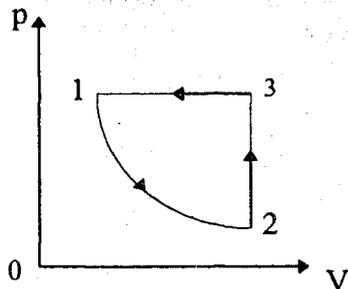


Рис.2.5

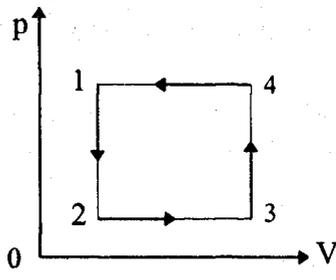


Рис.2.6

2.20. Цикл, изображенный на рис.2.7 в координатах  $V, T$ , построить в координатах  $p, T$  и  $p, V$ .

2.21. На рис.2.8 изображен график термодинамического процесса в координатах  $p, T$ . Изобразить график этого процесса в координатах  $p, V$  и  $V, T$ .

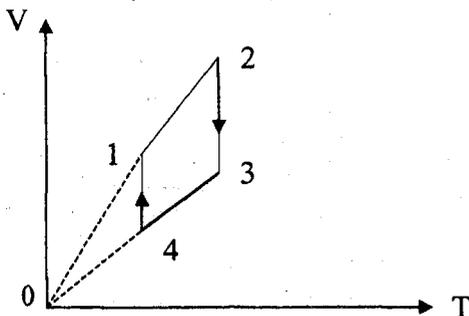


Рис. 2.7

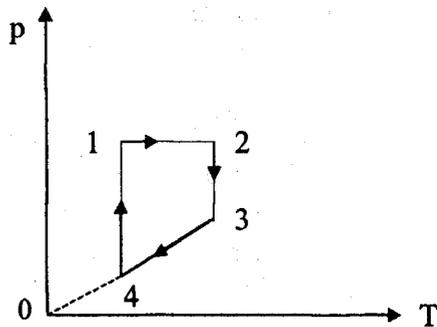


Рис. 2.8

2.22. В малом и большом сосудах поочередно нагревают одинаковую массу газа. Будут ли отличаться графики зависимости давления от температуры? Зависят ли указанные графики от типа газа? Перед нагревом газы находятся в одинаковом состоянии.

2.23. На сколько градусов  $\Delta T$  необходимо нагреть при неизменном давлении  $V_1 = 5$  л газа, находящегося при температуре  $t_1 = 27^\circ\text{C}$ , чтобы его объем стал равным  $V_2 = 6$  л?

2.24. Газ, образующийся при сгорании угля, при выходе из печной трубы имеет температуру  $T_2 = 350$  К. При этом его объем уменьшается в  $n = 2$  раза, по сравнению с объемом топки. Определить первоначальную температуру газа  $T_1$ . Считать, что давление газа не изменяется.

2.25. При какой температуре  $T_1$  находился газ, если при нагревании его на  $\Delta t = 60^\circ\text{C}$  при постоянном давлении его объем увеличился на  $a = 15\%$ ?

2.26. Открытую пробирку с воздухом при атмосферном давлении медленно нагрели до некоторой температуры  $T_1$ , затем герметически закрыли и охладили до  $t_2 = 14^\circ\text{C}$ . Давление воздуха при этом упало на  $a = 30\%$ . До какой температуры была нагрета пробирка?

2.27. Определить плотность воздуха  $\rho$  при стандартных условиях  $p_0 = 10^5$  Па и  $T = 273$  К. Молярная масса воздуха  $\mu = 0,029$  кг/моль, газовая постоянная  $R = 8,31$  Дж/моль·К.

2.28. При какой температуре кислород ( $\mu = 0,032$  кг/моль) имеет плотность  $\rho = 1,2$  кг/м<sup>3</sup>? Давление газа принять равным  $p = 0,2 \cdot 10^6$  Па.

2.29. Один моль кислорода находится в объеме  $V = 11,2$  л и имеет температуру  $t = 0^\circ\text{C}$ . Чему равно давление  $p$  газа?

2.30. Сколько молекул воздуха вылетает из помещения объемом  $V = 60$  м<sup>3</sup>, если температура в нем повысилась от  $T_1 = 288$  К до  $T_2 = 298$  К? Атмосферное давление  $p_0 = 10^5$  Па.

2.31. Горизонтально расположенный цилиндрический сосуд делится на две части подвижным поршнем. Каково отношение объемов цилиндра, разделенных поршнем, если одну часть сосуда заполнили кислородом, а другую часть такой же массой водорода (температура  $T = \text{const}$ )? При каком отношении температур кислорода  $T_1$  и водорода  $T_2$  поршень будет делить цилиндр на равные части? Молярные массы кислорода и водорода соответственно  $\mu_1 = 0,032$  кг/моль и  $\mu_2 = 0,002$  кг/моль.

2.32. Сосуд, имеющий объем  $V = 10$  дм<sup>3</sup>, закрыт поршнем. Масса поршня  $m = 0,7$  кг, его площадь  $S = 50$  см<sup>2</sup>. Какой объем  $V_1$  займет воздух в сосуде, если на поршень положить гирю массой  $M = 10$  кг? Атмосферное давление  $p_0 = 10^5$  Н/м<sup>2</sup>.

2.33. Вычислить давление  $p_2$  рабочей смеси, которое установится в цилиндрах двигателя внутреннего сгорания к концу такта сжатия. В начале процесса давление  $p_1 = 10^5$  Па, температура повысилась с  $T_1 = 330$  К до  $T_2 = 660$  К, объем уменьшился от  $V_1 = 1,5 \cdot 10^{-3}$  м<sup>3</sup> до  $V_2 = 0,25 \cdot 10^{-3}$  м<sup>3</sup>.

2.34. Металлический баллон с кислородом хранится в помещении, где температура воздуха  $t_1 = 24^\circ\text{C}$ . При этом манометр показывал давление  $p_1 = 0,23$  МПа. Когда баллон вынесли на улицу, где температура  $t_2 = -12^\circ\text{C}$ , манометр пока-

зал  $p_2 = 0,19 \text{ МПа}$ . Определить, произошла ли утечка газа за время, прошедшее между двумя измерениями давления. Атмосферное давление  $p_0 = 0,1 \text{ МПа}$ .

2.35. В сосуде при температуре  $T_1$  находится газ под давлением  $p_1 = 1,6 \cdot 10^6 \text{ Па}$ . Определить давление газа в сосуде после того, как три четверти массы газа выпущено из сосуда, а температура возросла в 2 раза ( $T_2 = 2T_1$ ).

2.36. В процессе хирургической операции дыхание больного поддерживалось с помощью кислорода, находящегося в баллоне, объем которого  $V = 50 \text{ л}$ . Первоначальное давление кислорода  $p_1 = 10^6 \text{ Па}$ , а температура  $t = 27^\circ\text{C}$ . К концу операции давление уменьшилось вдвое ( $k = 2$ ), а температура осталась прежней. На сколько  $\Delta m$  уменьшилась масса кислорода в баллоне? Молярная масса кислорода  $\mu = 0,032 \text{ кг/моль}$ .

2.37. В цилиндре, закрепленном под углом  $\alpha = 30^\circ$  к горизонту может без трения, герметично прилегая к стенкам цилиндра, передвигаться поршень массой  $m = 0,5 \text{ кг}$  и площадью  $S = 6 \text{ см}^2$ . Верхний конец цилиндра открыт, а нижний закрыт, под поршнем находится воздух. Поршень выдвигают так, чтобы объем воздуха, находящегося под ним, увеличился вдвое, и отпускают. Определить ускорение поршня в этот момент. Атмосферное давление  $p_0 = 101 \text{ кПа}$ . Температура воздуха постоянна.

2.38. Сосуд разделен перегородкой на две части, объемы которой  $V_1$  и  $V_2$ . В них находится одинаковый газ, давление и температура которого соответственно  $P_1, T_1$  и  $P_2, T_2$ . Какое давление  $P$  установится в сосуде, если перегородку убрать, а температуру газа сделать равной  $T$ .

\*2.39. Определить плотность  $\rho$  смеси, состоящей из  $m_1 = 4$  г водорода и  $m_2 = 32$  г кислорода, при температуре  $t = 27^\circ\text{C}$  и давлении  $p = 10^5$  Па. Молярные массы водорода и кислорода соответственно равны  $\mu_1 = 0,002$  кг/моль и  $\mu_2 = 0,032$  кг/моль.

\*2.40. Определить долю  $H_2$  в смеси  $H_2$  и  $N_2$ , если известно, что эта смесь при температуре  $T$  и давлении  $p$  имеет плотность  $\rho$ .

2.41. На какой глубине пузырьки воздуха имеют диаметр вдвое меньший чем у поверхности воды, если атмосферное давление на уровне воды  $p_0 = 10^5$  Па. Температуру воды на любой глубине считать постоянной.

2.42. Сосуд цилиндрической формы опускают в воду отверстием вниз на глубину  $H = 20$  м. На сколько поднимется вода в сосуде, если его высота  $h = 0,6$  м? Плотность воды  $\rho_v = 10^3$  кг/м<sup>3</sup>, атмосферное давление  $p_0 = 1,01 \cdot 10^5$  Па. Температуру воды и воздуха считать одинаковой.

2.43. Из сосуда вместимостью  $V$  откачивают воздух при помощи насоса с объемом рабочей камеры  $V_1$ . Каким будет давление  $p$  воздуха в сосуде после  $n$  качаний насоса? Начальное давление в сосуде равно  $p_0$ , изменением температуры пренебречь.

2.44. Автомобильную камеру вместимостью  $V = 20$  л, содержащую воздух при нормальном атмосферном давлении  $p_0 = 101,3$  кПа, накачивают с помощью поршневого насоса. Определить количество рабочих ходов  $n$  поршня, необходимых для создания давления в камере  $p = 1,8 \cdot 10^5$  Па, если объем цилиндра насоса  $V_1 = 0,5$  л.

2.45. Определить давление в сосуде объемом  $V_1 = 0,004$  м<sup>3</sup>, в который нагнетают воздух в результате  $n = 50$  качаний порш-

невого насоса. При каждом качании насос захватывает из атмосферы объем воздуха  $V_2 = 2 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3$ . Первоначально давление воздуха в сосуде равно атмосферному давлению  $p_0 = 10^5 \text{ Па}$ .

2.46. Стекло́нная трубка, внутренний объем которой  $V = 15 \text{ см}^3$ , была нагрета до  $T_1 = 723 \text{ К}$ , после чего ее горизонтально опустили в ртуть, имеющую температуру  $T_2 = 290 \text{ К}$  на небольшую глубину так, что воздух остается внутри трубки. Определить массу ртути  $m$ , вошедшей внутрь трубки. Плотность ртути  $\rho = 1,36 \cdot 10^4 \text{ кг/м}^3$ .

2.47. Запаянную с одного конца цилиндрическую трубку длиной  $l = 2,4 \text{ м}$  опускают в воду вертикально так, что запаянный конец трубки находится на уровне поверхности воды. Во сколько раз уменьшился объем, занимаемый воздухом в трубке? Атмосферное давление  $p_0 = 10^5 \text{ Па}$ .

\*2.48. Открытую стеклянную трубку длиной  $l = 1 \text{ м}$  наполовину вертикально погружают в ртуть. Затем верхнее отверстие закрывают и вынимают. Какой длины столбик ртути останется в трубке? Атмосферное давление  $p_0 = 10^5 \text{ Па}$ , плотность ртути  $\rho = 13,6 \cdot 10^4 \text{ кг/м}^3$ .

\*2.49. Посередине откачанной до давления  $p = 50 \text{ кПа}$  и запаянной с обеих сторон горизонтально расположенной трубки длиной  $L = 1 \text{ м}$  находится столбик ртути длиной  $h = 0,2 \text{ м}$ . Если трубку поставить вертикально, столбик ртути сместится на расстояние  $l = 0,1 \text{ м}$ . Определить плотность ртути.

\*2.50. В герметичной оболочке воздушного шара находится водород массой  $m_H$ . Определить подъемную силу шара. Считать, что оболочка сделана из неупругого материала и может свободно растягиваться. Молярная масса воздуха  $\mu_B$ , водорода  $\mu_H$ . Массой оболочки пренебречь.

\*2.51. Какая масса гелия потребуется для наполнения воздушного шара, чтобы он мог поднять груз, масса которого  $m = 100$  кг? Молярные массы воздуха и гелия равны  $\mu_{\text{в}} = 0,029$  кг/моль,  $\mu_{\text{He}} = 0,004$  кг/моль. Массой оболочки и объемом груза пренебречь. Считать, что оболочка сделана из неупругого материала и может свободно растягиваться.

### 2.3. Внутренняя энергия. Количество теплоты.

#### Работа в термодинамике. Первый закон термодинамики.

#### Тепловые двигатели

**П2.8.** При адиабатическом сжатии  $m = 5$  г гелия совершается работа  $A = 249,3$  Дж. Какой стала температура  $T_2$  гелия, если начальная температура была  $T_1 = 293\text{K}$ ? Молярная масса гелия  $\mu = 4 \cdot 10^{-3}$  кг/моль.

**Решение.** По первому закону термодинамики  $Q = \Delta U - A$  (здесь  $A$  - работа внешних сил,  $\Delta U$  - изменение внутренней энергии газа). Для адиабатического процесса  $Q = 0$ , а для одноатомного

газа  $\Delta U = \frac{3}{2} \frac{m}{\mu} R(T_2 - T_1)$ . Таким образом,  $\Delta U = A$  или

$$\frac{3}{2} \frac{m}{\mu} R(T_2 - T_1) = A. \text{ Отсюда } T_2 = \frac{2\mu A}{3mR} + T_1 = 309\text{K}.$$

**П2.9.** Кислород находится в вертикальном цилиндре под тяжелым поршнем. Какое количество теплоты  $Q$  необходимо сообщить кислороду для повышения его температуры от  $T_1 = 303\text{K}$  до  $T_2 = 313\text{K}$  (удельная теплоемкость кислорода при постоянном давлении  $c_p = 917$  Дж/кг·К). Определить работу  $A$ , совершаемую газом при расширении, увеличение его внутренней энергии  $\Delta U$  и удельную теплоемкость кислорода при постоянном объеме  $c_v$ . Поршень в любой момент времени находится в

равновесии, то есть процесс происходит при постоянном давлении. Масса кислорода  $m = 0,32$  кг.

**Решение.** Определим количество теплоты  $Q$ , сообщенное системе:

$$Q = c_p m \Delta T = 2934 \text{ Дж.}$$

Работа расширения кислорода при постоянном давлении  $p$  определяется как  $A = p(V_2 - V_1)$  (здесь  $V_1$  и  $V_2$  – начальный и конечный объем).

Используя уравнение состояния идеального газа  $pV = RT m/\mu$ , можем записать, что  $A = R\Delta T m/\mu = 831$  Дж. Согласно первому началу термодинамики

$$\Delta U = Q - A = 2103 \text{ Дж.}$$

Найдем удельную теплоемкость кислорода при постоянном объеме

$$c_v = \Delta U / (m \Delta T) = 657 \text{ Дж / кг} \cdot \text{К.}$$

Для нахождения  $c_v$  можно также воспользоваться и известным соотношением

$$c_p = c_v + R / \mu.$$

**П2.10.** Воду, имеющую температуру  $T_1 = 283$  К, помещают в холодильник. Найти отношение времени превращения воды в лед ко времени охлаждения воды до  $T_2 = 273$  К. Удельная теплоемкость воды  $c = 4,2$  кДж/кг·К, удельная теплота плавления льда  $\lambda = 3,34 \cdot 10^5$  Дж/кг.

**Решение.** Количество тепла  $Q$ , которое отбирает холодильник в единицу времени у воды в процессе ее охлаждения и замерзания одинаково, поэтому

$$Q = \frac{cm(T_1 - T_2)}{\tau_1} = \frac{\lambda m}{\tau_2},$$

где  $m$  – масса воды,  $\tau_1$  – время охлаждения воды до температуры  $T_2$ ;  $\tau_2$  – время превращения воды в лед.

Имеем

$$\frac{\tau_2}{\tau_1} = \frac{\lambda}{c(T_1 - T_2)} = 7,95.$$

**П2.11.** Кусок льда (масса  $m_1 = 5$  кг) при температуре  $t_1 = -20^\circ\text{C}$  опустили в воду (масса  $m_2 = 20$  кг). Температура воды до помещения в нее льда  $t_2 = 50^\circ\text{C}$ . Когда весь лед растает, при нормальном давлении впускается водяной пар, масса которого  $m_3 = 1$  кг, температура  $t_3 = 120^\circ\text{C}$ . Какая температура воды установится в сосуде (влиянием изменения температуры стенок сосуда пренебречь)? Удельная теплоемкость льда  $c_1 = 2,1$  кДж/кг·К, удельная теплота плавления льда  $\lambda = 0,33$  МДж/кг, удельная теплоемкость воды  $c_2 = 4,2$  кДж/кг·К, удельная теплоемкость водяного пара  $c_3 = 1,97$  кДж/кг·К, удельная теплота парообразования водяного пара  $r = 2,26$  МДж/кг.

**Решение.** Уравнение теплового баланса при помещении куска льда в воду имеет вид  $m_1 c_1 (0^\circ\text{C} - t_1) + m_1 \lambda + m_1 c_2 \theta_1 = m_2 c_2 (t_2 - \theta_1)$ , где слева от знака равенства стоят слагаемые, соответствующие количеству теплоты, полученному льдом при его нагревании до  $0^\circ\text{C}$  и при таянии льда, а также количеству теплоты, сообщенному талой воде при ее нагревании до установившейся температуры  $\theta_1$  (масса талой воды равна массе льда). Справа — количество теплоты, отданное водой, находящейся в сосуде. Находим температуру  $\theta_1$  воды после того, как лед растает

$$\theta_1 = \frac{m_1 c_1 t_1 + m_2 c_2 t_2 - m_1 \lambda}{m_1 c_2 + m_2 c_2} = 22,3^\circ\text{C}.$$

Уравнение теплового баланса после впуска пара запишется как

$$m_3 c_3 (t_3 - t_4) + m_3 r + m_3 c_2 (t_4 - \theta_2) = (m_1 + m_2) c_2 (\theta_2 - \theta_1)$$

и отражает: количество теплоты, отданной паром при его охлаждении до температуры конденсации  $t_4 = 100^\circ\text{C}$  и при конденсации, количество теплоты, отданное сконденсированной водой при ее охлаждении до температуры  $\theta_2$  и количество теплоты, полученное водой, имевшейся в сосуде, и талой водой

при ее нагревании до температуры  $\theta_2$ . Тогда находим окончательно установившуюся температуру воды

$$\theta_2 = \frac{m_3 c_3 (t_3 - t_4) + m_3 r + m_3 c_2 t_4 + (m_1 + m_2) c_2 \theta_1}{(m_1 + m_2) c_2 + m_3 c_2} = 46,3^\circ \text{C}.$$

2.52. Будет ли изменяться внутренняя энергия воздуха в комнате с открытой форточкой, если включить нагреватель?

2.53. Во сколько раз изменится внутренняя энергия одноатомного идеального газа, если при увеличении давления в  $k_1 = 3$  раза его объем уменьшается в  $k_2 = 2$  раза?

2.54. При изотермическом расширении идеальный газ совершил работу  $A = 25$  Дж. Какое количество теплоты  $Q$  сообщено газу?

2.55. При нагревании идеального газа  $k = 30\%$  теплоты ушло на увеличение внутренней энергии газа. Какое количество теплоты  $Q$  передали газу, если работа газа при данном процессе  $A = 21$  Дж?

2.56. Воздушный шарик при постоянном давлении  $p = 1,2 \cdot 10^5$  Па надули от объема  $V_1 = 1$  л до объема  $V_2 = 3$  л. Какая при этом была совершена работа?

2.57. Поршень с грузом, масса которых  $m = 50$  кг, а площадь основания  $S = 0,01$  м<sup>2</sup>, находится в цилиндре, газ в котором нагревают. Поршень медленно поднимается и объем газа возрастает на  $\Delta V = 2$  л. Рассчитать работу  $A$ , совершаемую газом.

2.58. Один моль идеального газа изохорически перевели из состояния 1 в состояние 2, при этом давление уменьшилось в  $n = 1,5$  раза. Затем газ изобарически нагрели до первоначаль-

ной температуры  $T_1 = 300 \text{ K}$ . Какую работу совершил газ в результате совершенных переходов?

2.59. Определите работу, которую совершает идеальный газ за цикл, изображенный на рис. 2.9.

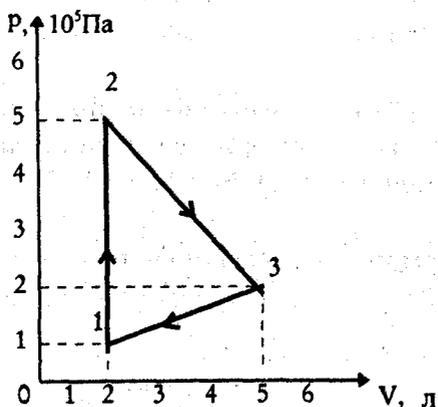
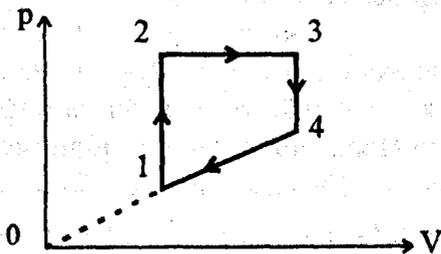


Рис. 2.9.

\*2.60. Дан цикл в координатах  $p, V$  (рис. 2.10).  $p_1 = 10^5 \text{ Па}$ ,  $p_2 = 4 \cdot 10^5 \text{ Па}$ ,  $V_1 = 5 \text{ л}$ ,  $T_2 = T_4$ . Определить работу  $A$ , совершаемую газом в данном режиме.

Рис.2.10



2.61 В цилиндре компрессора при адиабатическом сжатии одноатомного идеального газа за один ход поршня температура газа поднялась на  $\Delta T = 20 \text{ K}$ . При этом была совершена работа  $A = 750 \text{ Дж}$ . Определить количество вещества в газе.

2.62. На нагревание газа, сопровождавшееся его расширением при постоянном давлении  $p = 3 \cdot 10^4 \text{ Па}$ , затрачена энергия  $Q = 60 \text{ Дж}$ . Объем газа при нагревании увеличился на  $\Delta V = 1,5 \text{ л}$ . Как изменилась внутренняя энергия  $\Delta U$  газа?

2.63. Для изобарного нагревания  $\nu = 800$  молей газа на  $\Delta T = 500 \text{ K}$  ему сообщили количество теплоты  $Q = 9,4 \text{ МДж}$ . Определите изменение внутренней энергии  $\Delta U$  газа.

2.64. В изотермическом процессе газ совершил работу  $A_1 = 1000 \text{ Дж}$ . На какую величину  $\Delta U$  увеличится внутренняя энергия этого газа, если ему сообщить количество теплоты, вдвое большее ( $k=2$ ), чем в первом случае, а процесс проводить изохорически?

2.65. В цилиндре под поршнем массой  $M = 60 \text{ кг}$  находится кислород. Какое количество теплоты  $Q$  надо подвести, чтобы поршень приподнялся на  $h = 0,5 \text{ м}$ . Процесс происходит при постоянном давлении, теплоемкостью цилиндра и атмосферным давлением пренебрегаем. Удельная теплоемкость кислорода при постоянном давлении  $c_p = 917 \text{ Дж/кг}\cdot\text{K}$ , молярная масса кислорода  $\mu = 0,032 \text{ кг/моль}$ , газовая постоянная  $R = 8,31 \text{ Дж/моль}\cdot\text{K}$ .

2.66. Кислород массы  $m = 0,02 \text{ кг}$ , находящийся при давлении  $p = 600 \text{ кПа}$  и температуре  $T_1 = 283 \text{ K}$ , нагревается при постоянном давлении и занимает после нагревания объем  $V = 10 \text{ л}$ . Определить увеличение температуры газа, количество теплоты

$Q$ , полученное газом, изменение  $\Delta U$  его внутренней энергии и работу  $A$ , совершенную газом при расширении. Молярная масса кислорода  $\mu = 0,032$  кг/моль, удельная теплоемкость кислорода при постоянном давлении  $c_p = 917$  Дж/кг·К, газовая постоянная  $R = 8,31$  Дж/моль·К.

2.67. Какое количество теплоты  $Q$  выделится при замерзании воды массой  $m = 10$  кг при  $0^\circ\text{C}$ ? Удельная теплота плавления льда  $\lambda = 3,35 \cdot 10^5$  Дж/кг.

2.68. Какое количество теплоты  $Q$  потребуется для превращения льда массой  $m = 0,1$  кг, взятого при температуре  $t_1 = -10^\circ\text{C}$  в воду, температура которой  $t_2 = 20^\circ\text{C}$ ? Удельная теплоемкость воды  $c_v = 4200$  Дж/кг·К, льда  $c_l = 2100$  Дж/кг·К, удельная теплота плавления льда  $\lambda = 3,35 \cdot 10^5$  Дж/кг.

2.69. Определите количество теплоты  $Q$ , выделившееся при конденсации водяного пара массой  $m = 400$  г и охлаждении воды от температуры  $t_1 = 100^\circ\text{C}$  до  $t_2 = 40^\circ\text{C}$ . Удельная теплота парообразования воды  $r = 2,2$  МДж/кг, удельная теплоемкость воды  $c_v = 4,2$  кДж/кг·К.

2.70. Чтобы охладить  $m_1 = 4$  кг воды от  $t_1 = 80^\circ\text{C}$  до  $t_2 = 60^\circ\text{C}$  в нее добавляют воду при  $t_3 = 10^\circ\text{C}$ . Какое количество холодной воды  $m_2$  нужно добавить?

2.71. Кузнец охлаждает железную болванку, масса которой  $m = 400$  г, а температура  $t_1 = 500^\circ\text{C}$ , опустив ее в сосуд, содержащий воду массой  $M = 10$  кг при температуре  $t_2 = 20^\circ\text{C}$ . Определить конечную температуру воды и болванки  $t$  (пренебречь теплотой, полученной сосудом и паром). Удельная теплоемкость железа  $c_1 = 450$  Дж/кг·К, воды  $c_2 = 4200$  Дж/кг·К.

2.72. В водонагревателе нагрели  $V = 50$  л воды, имевшей температуру  $t_1 = 20^\circ\text{C}$ , до температуры  $t_2 = 80^\circ\text{C}$  и сожгли для этого  $m = 6,3$  кг дров. Найти коэффициент полезного действия водонагревателя  $\eta$ . Удельная теплота сгорания дров  $q = 10$  МДж/кг, удельная теплоемкость воды  $c = 4,2$  кДж/кг·К, ее плотность  $\rho = 10^3$  кг/м<sup>3</sup>.

2.73. Сколько алюминия  $M$  можно нагреть от  $T_0 = 273$  К до температуры плавления  $T_1 = 932$  К в плавильной печи, коэффициент полезного действия которой  $\eta = 0,2$ , если сжечь  $m = 20$  кг нефти? Удельная теплота сгорания нефти  $q = 4,6 \cdot 10^7$  Дж/кг, удельная теплоемкость алюминия  $c = 880$  Дж/кг·К.

2.74. Какое количество фреона  $M$  должно испариться для замораживания  $V = 0,5$  л воды с начальной температурой  $T_1 = 288$  К, если коэффициент полезного действия холодильной установки  $\eta = 0,8$ ? Температура кристаллизации воды  $T_2 = 273$  К, удельная теплота плавления льда  $\lambda = 3,32 \cdot 10^5$  Дж/кг, удельная теплота испарения фреона  $r = 1,68 \cdot 10^6$  Дж/кг, удельная теплоемкость воды  $c = 4,2 \cdot 10^3$  Дж/кг·К, плотность воды  $\rho = 10^3$  кг/м<sup>3</sup>.

2.75. В печи с коэффициентом полезного действия  $\eta = 0,2$ , в результате сгорания  $m_1 = 22$  кг дров, из снега (масса  $m_2 = 100$  кг, температура  $t_1 = -10^\circ\text{C}$ ), получена вода с температурой  $t_2 = 20^\circ\text{C}$ . Определить удельную теплоту сгорания дерева  $q$ . Удельная теплоемкость воды  $c_1 = 4,2$  кДж/кг·К, удельная теплоемкость льда  $c_2 = 2,1$  кДж/кг·К, удельная теплота плавления льда  $\lambda = 0,33$  МДж/кг.

2.76. Какая масса воды  $m$  окажется в смеси если лед массой  $m_1 = 150$  г и воду массой  $m_2 = 200$  г, находящиеся в состоянии

теплового равновесия, нагреть до  $t_1 = 100^\circ\text{C}$  путем пропускания пара, имеющего температуру  $100^\circ\text{C}$ ? Удельная теплота парообразования воды  $r = 2,2 \text{ МДж/кг}$ , удельная теплота плавления льда  $\lambda = 3,32 \cdot 10^5 \text{ Дж/кг}$ , удельная теплоемкость воды  $c = 4200 \text{ Дж/кг}\cdot\text{K}$ .

\*2.77. В калориметр с водой при температуре  $T_0 = 273\text{K}$  вливается расплавленный алюминий, масса которого  $m = 1 \text{ кг}$ , а температура равна температуре плавления  $T_1 = 933 \text{ K}$ . При этом температура воды в калориметре повышается до  $T_2 = 278 \text{ K}$ , а часть ее выкипает. Определить массу выкипевшей воды  $M_1$ , если вначале в калориметре находилось  $M = 10 \text{ кг}$  воды. Теплоемкостью калориметра пренебречь. Удельная теплоемкость воды  $c_1 = 4,2 \text{ кДж/кг}\cdot\text{K}$ , удельная теплоемкость алюминия  $c_2 = 0,9 \text{ кДж/кг}\cdot\text{K}$ , удельная теплота плавления алюминия  $\lambda = 0,38 \text{ МДж/кг}$ , удельная теплота парообразования воды  $r = 2,2 \text{ МДж/кг}$ , температура кипения воды  $T_3 = 373 \text{ K}$ .

2.78. В сосуде смешиваются три жидкости массами  $m_1$ ,  $m_2$  и  $m_3$ . Удельные теплоемкости жидкостей соответственно равны  $c_1$ ,  $c_2$ ,  $c_3$ . Определить удельную теплоемкость полученной смеси  $c$ .

\*2.79. Температура сосуда с водой  $t_0 = 30^\circ\text{C}$ . В сосуд наливают кружку воды при температуре  $t = 100^\circ\text{C}$ . При этом температура воды в сосуде повысилась до  $t_1 = 40^\circ\text{C}$ . Какой станет температура воды  $t_2$ , если в сосуд налить еще одну кружку воды при температуре  $100^\circ\text{C}$ ? Теплоемкостью сосуда пренебречь.

2.80. Термометр с теплоемкостью  $C = 2 \text{ Дж/К}$  показывает температуру помещения  $t_1 = 10^\circ\text{C}$ . При погружении термометра в воду массой  $m = 0,1 \text{ кг}$ , он показал температуру  $t_2 = 31^\circ\text{C}$ . Какова была температура воды  $t_3$ . Теплоемкостью сосуда пренебречь, удельная теплоемкость воды  $c_1 = 4,2 \text{ кДж/кг}\cdot\text{K}$ .

\*2.81. В сосуд с водой с общей теплоемкостью  $C = 1670$  Дж/К при температуре  $t_1 = 20^\circ\text{C}$  поместили  $m = 0,1$  кг льда при температуре  $t_2 = -8^\circ\text{C}$ . Какая температура  $t_c$  установится в сосуде? Удельная теплоемкость воды и льда соответственно составляет  $c_v = 4200$  Дж/кг·К и  $c_l = 2100$  Дж/кг·К, удельная теплота плавления льда  $\lambda = 3,35 \cdot 10^5$  Дж/кг.

2.82. Пуля, масса которой  $m_1 = 9$  г, вылетает из ствола со скоростью  $v = 915$  м/с. Определить массу  $m_2$  порохового заряда, если КПД выстрела  $\eta = 0,25$ . Удельная теплота сгорания пороха  $q = 3 \cdot 10^6$  Дж/кг.

2.83. С какой скоростью летела свинцовая пуля, если при ударе о стенку она расплавилась наполовину? Температура пули до удара  $T_1 = 400$  К, во внутреннюю энергию пули превращается  $\eta = 0,8$  ее кинетической энергии. Удельная теплоемкость свинца  $c = 130$  Дж/кг·К, удельная теплота плавления свинца  $\lambda = 2,4 \cdot 10^4$  Дж/кг, температура плавления  $T_2 = 600$  К.

2.84. С какой высоты  $h$  падает вода, если в результате падения она нагревается на  $\Delta T = 0,02$  К? Считать что только 30% ( $\eta = 0,3$ ) кинетической энергии падающей воды превращается в ее внутреннюю энергию. Удельная теплоемкость воды  $c = 4,2$  кДж/кг·К.

2.85. Паровой молот падает с высоты  $h = 3$  м на латунную болванку. Сколько раз  $n$  он должен упасть, чтобы температура болванки поднялась на  $\Delta T = 19,87$  К? На нагревание болванки расходуется 60% теплоты ( $\eta = 0,6$ ), выделенной при ударах. Удельная теплоемкость латуни  $c = 400$  Дж/кг·К. Масса молота  $M = 5$  т, масса болванки  $m = 200$  кг.

2.86. Свинцовая пуля имела скорость  $v_0 = 300$  м/с. Пробив доску, она нагрелась на  $\Delta t = 50^\circ\text{C}$ . Какова скорость пули  $v$  после вылета из доски, если считать, что все выделенное количество теплоты израсходовано на нагревание пули? Удельная теплоемкость свинца  $c = 120$  Дж/кг·К.

\*2.87. Определить вращающий момент сил  $M$ , действующий на ворот при нарезании резьбы в стальной круглой гайке с шагом  $l = 0,75$  мм, если в процессе нарезания резьбы гайка нагрелась на  $\Delta T = 25$  К. Диаметр гайки  $d = 40$  мм, диаметр резьбы  $d_1 = 12$  мм. Удельная теплоемкость стали  $c = 460$  Дж/кг·К, плотность стали  $\rho = 7,8 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>. Потери тепла не учитывать.

2.88. Определить мощность  $N$  двигателя автомобиля с КПД  $\eta = 0,3$  если при скорости  $v = 20$  м/с двигатель потребляет объем  $V = 10$  л бензина на пути  $S = 100$  км. Удельная теплота сгорания бензина  $q = 44$  МДж/кг, его плотность  $\rho = 7 \cdot 10^2$  кг/м<sup>3</sup>.

2.89. Двигатель дизельного трактора с КПД  $\eta = 60\%$  при движении со скоростью  $v = 36$  км/ч развивает силу тяги  $F = 60$  кН. Определить расход топлива за время  $t = 1$  ч работы. Удельная теплота сгорания топлива  $q = 4,2 \cdot 10^7$  Дж/кг.

2.90. Вместимость бензобака автомобиля  $V = 40$  л. Масса автомобиля  $m = 2$  т, КПД двигателя  $\eta = 0,3$ . Сколько километров сможет проехать автомобиль до следующей заправки, если коэффициент трения  $\mu = 0,05$ ? Плотность бензина  $\rho = 700$  кг/м<sup>3</sup>, удельная теплота сгорания бензина  $q = 4,6 \cdot 10^7$  Дж/кг. Движение автомобиля считать равномерным, силой сопротивления воздуха пренебречь.

2.91. На электроплите мощностью  $N = 600 \text{ Вт}$ , имеющей коэффициент полезного действия  $45\%$  ( $\eta = 0,45$ ) нагрели  $m = 1,5 \text{ кг}$  воды, взятой при  $t_1 = 10^\circ\text{C}$  до кипения и  $5\%$  ( $\eta_1 = 0,05$ ) ее обратили в пар. Удельная теплота парообразования воды  $r = 2,2 \text{ МДж/кг}$ , удельная теплоемкость воды  $c = 4,2 \text{ кДж/кг}\cdot\text{К}$ . Найти время процесса.

2.92. Вода в чайнике, поставленном на электроплитку, закипает через время  $t_1 = 5 \text{ мин}$ . За какое время  $t_2$  она затем полностью испарится, если первоначальная температура воды была  $t = 20^\circ\text{C}$ ? Удельная теплоемкость воды  $c = 4,2 \text{ кДж/кг}\cdot\text{К}$ , удельная теплота парообразования воды  $r = 2,2 \text{ МДж/кг}$ .

2.93. Идеальная тепловая машина, работающая по циклу Карно, получает за цикл от нагревателя количество теплоты  $Q_1 = 2 \text{ кДж}$ . Температура нагревателя  $T_1 = 500 \text{ К}$ , холодильника —  $T_2 = 300 \text{ К}$ . Определить работу  $A$ , совершаемую машиной за один цикл, и количество теплоты  $Q_2$ , отдаваемое холодильнику за один цикл.

2.94. В идеальной тепловой машине за счет каждой  $Q_1 = 2000 \text{ Дж}$  теплоты, получаемой от нагревателя, совершается работа  $A = 600 \text{ Дж}$ . Найти температуру нагревателя  $T_1$ , если температура холодильника  $T_2 = 280 \text{ К}$ .

2.95. В двигателе внутреннего сгорания при работе образуются газы, температура которых  $t_1 = 727^\circ\text{C}$ . Температура отработавшего газа  $t_2 = 127^\circ\text{C}$ . Двигатель расходует за  $\tau = 30 \text{ мин}$   $m = 18 \text{ кг}$  топлива, удельная теплота сгорания которого  $q = 4,2 \cdot 10^7 \text{ Дж/кг}$ . Найти полезную мощность двигателя  $N$ . Считать, что двигатель работает по идеальному циклу Карно.

2.96. Коэффициент полезного действия тепловой машины  $\eta = 0,25$ . В результате усовершенствования количество теплоты, отдаваемое за каждый цикл холодильнику, уменьшилось на  $k = 10\%$ , а количество теплоты, получаемое от нагревателя, осталось без изменения. Каким стал КПД  $\eta_1$  тепловой машины.

#### 2.4. Влажность воздуха. Поверхностное натяжение жидкостей. Капиллярные явления. Свойства твердых тел. Упругие деформации

**П2.12.** Относительная влажность воздуха в закрытом сосуде при температуре  $t_1 = 20^\circ\text{C}$  равна  $\varphi_1 = 0,3$ . Определить относительную влажность воздуха при температуре  $t_2 = 8^\circ\text{C}$ . При  $t_1$  давление насыщенных паров воды  $p_{н1} = 2,33 \text{ кПа}$ , при  $t_2$  оно равно  $p_{н2} = 1,07 \text{ кПа}$ .

**Решение.** Из выражения для относительной влажности воздуха  $\varphi_1 = p/p_{н1}$ , имеем

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{\varphi_1 p_{н1}}{\varphi_2 p_{н2}},$$

откуда, воспользовавшись законом Шарля, получаем

$$\varphi_2 = \frac{p_{н1} T_2}{p_{н2} T_1} \varphi_1 = 0,63$$

**П2.13.** Температура воздуха  $T_1 = 293 \text{ К}$ , точка росы  $T_2 = 281 \text{ К}$ . Определить абсолютную и относительную влажность воздуха  $a$  и  $\varphi$ , если давление насыщенных паров при  $T_1$  равно  $p_{н1} = 2,33 \text{ кПа}$  и при  $T_2$  оно равно  $p_{н2} = 1,07 \text{ кПа}$ .

**Решение.** Абсолютная влажность воздуха равна количеству насыщенного пара в  $1 \text{ м}^3$  при температуре точки росы. Вос-

пользовавшись уравнением Менделеева-Клапейрона, получаем

$$\rho = m/V = (p_{H_2O} \mu / RT_2) = 8,2 \cdot 10^{-3} \text{ кг/м}^3,$$

где  $\mu$  – молярная масса воды (0,018 кг/моль);

$R$  – газовая постоянная.

Давление насыщенных паров воды в точке росы равно парциальному давлению водяного пара при температуре  $T_1$ , поэтому

$$\varphi = \frac{p_{H_2O}}{p_{H_1}} 100\% = 46\%.$$

**П2.14.** На сколько градусов  $t$  нужно нагреть медную проволоку с площадью поперечного сечения  $S = 1 \text{ мм}^2$ , чтобы она приняла ту же длину, что и под действием растягивающей нагрузки  $F = 50 \text{ Н}$ ? Начальная температура проволоки  $t_0 = 0^\circ \text{C}$ , модуль Юнга  $E = 1,1 \cdot 10^{11} \text{ Н/м}^2$ , коэффициент линейного расширения  $\alpha = 16,7 \cdot 10^{-6} \text{ 1/град}$ .

**Решение.** По закону Гука для деформации растяжения

$$\frac{F}{S} = E \frac{\Delta l}{l_0},$$
 где  $E$  – модуль Юнга,  $l_0$  – первоначальная длина

проволоки,  $\Delta l$  – удлинение. С другой стороны, длина твердого тела  $l$  при температуре  $t$  определяется его длиной при  $0^\circ \text{C}$   $l_0$ , температурой  $t$  и коэффициентом линейного расширения  $\alpha$ :  $l = l_0(1 + \alpha t)$ . Таким образом, удлинение  $\Delta l = l - l_0 = l_0 \alpha t$ . Тогда из

$$\text{закона Гука } \frac{F}{S} = E \frac{l_0 \alpha t}{l_0}, \text{ или } t = \frac{F}{SE \alpha} = 27,2^\circ \text{C}.$$

2.97. В комнате объемом  $V = 40 \text{ м}^3$  относительная влажность воздуха  $\varphi_1 = 0,4$ . Если испарить дополнительную воду массой  $m = 50 \text{ г}$ , относительная влажность станет равной  $\varphi_2 = 0,5$ . Какой при этом будет абсолютная влажность воздуха  $a$ ?

2.98. В запаянном сосуде объемом  $V = 0,6$  л находится водяной пар под давлением  $p_1 = 2$  кПа и при температуре  $T_1 = 293$  К. Сколько водяного пара конденсируется на стенках сосуда при охлаждении воды до температуры  $T_2 = 275$  К? Давление насыщенных паров воды при  $T_2 = 275$  К равно  $p_{н2} = 0,704$  кПа, молярная масса воды  $\mu = 0,018$  кг/моль.

2.99. Воздух при температуре  $T_1 = 293$  К имел относительную влажность  $\varphi_1 = 0,6$ . Сколько воды  $m$  в виде росы выделится из каждого кубического метра воздуха, если температура понизится до  $T_2 = 275$  К? Давление насыщенных паров воды при  $T_1$  равно  $p_{н1} = 2,33$  кПа, при  $T_2$  равно  $p_{н2} = 0,704$  кПа. Молярная масса воды  $\mu = 0,018$  кг/моль.

2.100. В закрытом помещении объемом  $V = 4$  м<sup>3</sup> находится воздух при температуре  $T_1 = 293$  К с относительной влажностью  $\varphi_1 = 0,55$ . Сколько воды  $m$  надо дополнительно испарить в помещении, чтобы относительная влажность стала  $\varphi_2 = 0,8$ . Появится ли роса, если воздух в помещении охладить до  $T_2 = 283$  К? Плотность насыщенных паров воды при  $T_1$  равна  $\rho_{н1} = 17,3 \cdot 10^{-3}$  кг/м<sup>3</sup>, при  $T_2$  равна  $\rho_{н2} = 9,4 \cdot 10^{-3}$  кг/м<sup>3</sup>.

2.101. Соломинка длиной  $l = 10$  см плавает на поверхности воды. По одну сторону от соломинки наливают мыльный раствор, и соломинка приходит в движение. В какую сторону? Какова сила  $F$ , движущая соломинку? Коэффициент поверхностного натяжения воды  $\sigma_1 = 0,072$  Н/м, мыльного раствора  $\sigma_2 = 0,04$  Н/м.

2.102. Определить массу воды  $m$ , поднявшейся по капиллярной трубке с внутренним диаметром  $d = 0,4$  мм. Коэффици-

ент поверхностного натяжения воды принять равным  $\sigma = 7,2 \cdot 10^{-2} \text{ Н/м}$ .

2.103. В дне бака с водой, изготовленного из несмачивающегося материала, имеется отверстие. Каким должен быть наибольший радиус  $R$  отверстия при высоте столба воды  $h = 14,6 \text{ см}$ , чтобы вода не выливалась из бака? Плотность воды  $\rho = 10^3 \text{ кг/м}^3$ , ее коэффициент поверхностного натяжения  $\sigma = 7,2 \cdot 10^{-2} \text{ Н/м}$ .

2.104. Две одинаковые химические пипетки заполнены до одного уровня водой: одна холодной, другая – горячей. Пипетки опорожняют, считая при этом капли. Из какой пипетки упадет больше капель за одинаковое время?

2.105. Платиновая проволока длиной  $l = 1,6 \text{ м}$  находится при температуре  $t_0 = 0 \text{ }^\circ\text{C}$ . При пропускании тока она раскалилась и удлинилась на  $\Delta l = 9 \text{ мм}$ . До какой температуры  $t$  была нагрета проволока? Коэффициент линейного расширения  $\alpha = 9 \cdot 10^{-6} \text{ К}^{-1}$ .

2.106. Какой должен быть оставлен зазор  $\Delta l$  между рельсами, уложенными при температуре  $t_1 = -30 \text{ }^\circ\text{C}$ , если максимальная летняя температура  $t_2 = 40 \text{ }^\circ\text{C}$ ? Длина рельса при  $0^\circ\text{C}$  определяется как  $l = 25 \text{ м}$ , коэффициент линейного расширения  $\alpha = 1,1 \cdot 10^{-5} \text{ К}^{-1}$ .

2.107. В железнодорожную цистерну погрузили нефть объемом  $V_1 = 50 \text{ м}^3$  при температуре  $t_1 = 40 \text{ }^\circ\text{C}$ . Какой объем нефти  $V_2$  выгрузили, если на станции назначения температура воздуха была  $t_2 = -40^\circ\text{C}$ ? Коэффициент объемного расширения нефти  $\beta = 9,2 \cdot 10^{-4} \text{ К}^{-1}$ .

2.108. Диаметр стеклянной пробки, застрявшей в горлышке пузырька при  $t_0 = 0^\circ\text{C}$  составляет  $d = 60$  мм. Чтобы вынуть пробку, горлышко нагрели на  $\Delta t_1 = 120^\circ\text{C}$ . При этом сама пробка нагрелась на  $\Delta t_2 = 20^\circ\text{C}$ . Определить размеры зазора между пробкой и горлышком  $\Delta$ . Коэффициент линейного расширения стекла  $\alpha = 9 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ .

2.109. Колесо электровоза имеет радиус  $R = 0,5$  м при  $t_0 = 0^\circ\text{C}$ . Определить разницу в числе оборотов колеса  $\Delta N$  летом при температуре  $t_1 = 25^\circ\text{C}$  и зимой при температуре  $t_2 = -25^\circ\text{C}$  на пути пробега электровоза в  $S = 100$  км. Коэффициент линейного расширения материала колеса  $\alpha = 1,2 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$ .

\*2.110 Две линейки из меди и железа соединены последовательно. Определить коэффициент линейного растяжения  $\alpha$  полученной линейки, если известно, что при температуре  $0^\circ\text{C}$  медная линейка в  $k = 2$  раза длиннее железной. Коэффициенты линейного расширения меди и стали соответственно составляют  $\alpha_m = 18 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ ,  $\alpha_{жс} = 12 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ .

2.111. Абсолютное и относительное удлинение стержня  $\Delta l = 1$  мм и  $\varepsilon = 10^{-3}$  соответственно. Какой была длина недеформированного стержня  $l_0$ ?

2.112. К проволоке был подвешен груз. Затем проволоку сложили втрое ( $k = 3$ ) и подвесили тот же груз. Во сколько раз изменилось абсолютное  $\frac{\Delta l}{(\Delta l)_0}$  и относительное  $\frac{\varepsilon}{\varepsilon_0}$  удлинение проволоки?

2.113. Найти радиус  $R$  алюминиевой проволоки, если она, имея длину  $l = 4$  м, под действием силы  $F = 20$  Н удлинится на  $\Delta l = 2$  мм. Модуль Юнга для алюминия  $E = 7 \cdot 10^{10}$  Па.

2.114. Концы стального перекрытия площадью поперечного сечения  $S = 150 \text{ см}^2$  наглухо закреплены при  $0^\circ\text{C}$  в двух опорах, препятствующих удлинению балки. На сколько должна повыситься температура балки, чтобы сила давления на опору не превысила  $F = 1,6 \cdot 10^6 \text{ Н}$ ? Модуль Юнга стали  $E = 2,2 \cdot 10^{11} \text{ Па}$ , коэффициент линейного расширения стали  $\alpha = 1,2 \cdot 10^{-5} \text{ К}^{-1}$ .

### 3. Электричество и магнетизм

#### 3.1. Электростатика

**П.3.1.** В вершинах квадрата расположены одинаковые положительные точечные заряды  $q = 10$  нКл. Какой заряд  $Q$  противоположного знака надо поместить в центр квадрата, чтобы вся система зарядов находилась в равновесии?

**Решение:** Рассмотрим все кулоновские силы, действующие на один из зарядов  $q$ , помещенный в вершине квадрата (рис.3.1).

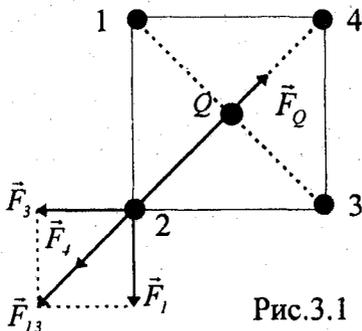


Рис.3.1

В равновесной ситуации:  $\vec{F}_1 + \vec{F}_Q + \vec{F}_3 + \vec{F}_4 = 0$ , где  $\vec{F}_1, \vec{F}_3, \vec{F}_4, \vec{F}_Q$  — силы взаимодействия рассматриваемого заряда (2) с зарядами, обозначенными на рисунке как 1, 3, 4,  $Q$ . Рассмотренное условие равновесия перепишем в виде проекции на направление диагонали квадрата.

$$F_1\sqrt{2} + F_4 = F_Q, \text{ где } F_{13} = F_1\sqrt{2} = \sqrt{F_1^2 + F_3^2}.$$

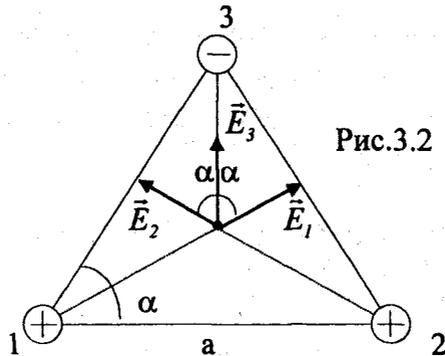
Обозначим сторону квадрата через  $a$ , тогда предыдущее равенство приобретет вид

$$k\sqrt{2}q^2/a^2 + kq^2/(2a^2) = kq|Q|2/a^2,$$

откуда  $|Q| = (q/4)(2\sqrt{2} + 1) = 9,6$  нКл или с учетом знака  $Q = -9,6$  нКл.

**П.3.2.** Заряды, равные по абсолютной величине  $|q| = 10$  нКл, расположены в вершинах правильного треугольника со стороной  $a = 20$  см. Найти напряженность и потенциал электрического поля в центре треугольника, если  $q_1 = q_2 = -q_3$ .

**Решение:** Напряженность поля в центре треугольника (рис.3.2) является векторной суммой напряженностей, создаваемых каждым зарядом в отдельности:



$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3,$$

где  $E_1 = E_2 = E_3 = k|q|/r^2 = 3k|q|/a^2$  ( $k = 9 \cdot 10^9$  Н·м<sup>2</sup>/Кл<sup>2</sup>; расстояние от заряда до центра треугольника  $r = a/\sqrt{3}$ , так как треугольник равносторонний, то есть  $\alpha = 60^\circ$ ).

Результирующая напряженность  $\vec{E}$  направлена по биссектрисе угла между сторонами треугольника и составляет с этими сторонами  $\alpha/2 = 30^\circ$ . Ее модуль  $E = 2E_1 = 6k|q|/a^2 = 13,5$  кВ/м. Потенциал в центре треугольника равен алгебраической сумме потенциалов, создаваемых всеми зарядами системы в рассматриваемой точке:

$$\begin{aligned} \varphi &= \varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3 = (q_1 + q_2 + q_3)k/r = \\ &= (q_1 + q_2 + q_3)\sqrt{3}k/a = 779 \text{ В}. \end{aligned}$$

**П.3.3.** Определить минимальное расстояние  $R$ , на которое приблизится к первоначально покоившемуся ядру кислорода  $\alpha$ -частица, имеющая кинетическую энергию  $W_{k1} = 1,15 \cdot 10^{-15}$  Дж. Относительные атомные массы гелия и кислорода:  $A_1$ (гелий) = 4,  $A_2$ (кислород) = 16; порядковые номера  $Z_\alpha = 2$ ,  $Z_0 = 8$ . Взаимодействием  $\alpha$ -частицы с электронами атома кислорода пренебречь. Считать, что в момент наибольшего сближения ядра и  $\alpha$ -частицы их скорости будут одинаковыми и равными  $v$ .

**Решение:** Запишем закон сохранения импульса для нашей системы:  $m_\alpha v_\alpha = (m_\alpha + m_0)v$ . (1)

С другой стороны выполняется и закон сохранения энергии, который с учетом энергии электростатического взаимодействия имеет вид:

$$W_{k1} = m_\alpha v_\alpha^2 / 2 = (m_\alpha + m_0)v^2 / 2 + kq_\alpha q_0 / R, \quad (2)$$

где  $m_\alpha = A_1 m'$  ( $m'$  – атомная единица массы);  $m_0 = A_2 m'$ ;  $q_\alpha = Z_\alpha |e|$ ;  $q_0 = Z_0 |e|$  ( $e$  – заряд электрона);  $k = 9 \cdot 10^9 \text{ Н} \cdot \text{м}^2 / \text{Кл}^2$ .

Из соотношений (1) и (2) находим:

$$R = (k Z_\alpha Z_0 e^2 (A_1 + A_2)) / A_2 W_{k1} = 4 \cdot 10^{-12} \text{ м}.$$

**П.3.4.** Точечный заряд  $q = 2 \text{ нКл}$  находится на расстоянии  $r_1 = 45 \text{ см}$  от поверхности шара радиусом  $R = 5 \text{ см}$ , заряженного до потенциала  $\varphi = 2400 \text{ В}$ . Какую работу надо совершить, чтобы заряд  $q$  располагался от поверхности шара на расстоянии  $r_2 = 25 \text{ см}$ .

**Решение:** Работа по перемещению заряда  $q$  в электрическом поле шара.

$$A = q (\varphi_1 - \varphi_2).$$

Потенциал поля, созданного заряженным шаром определяется таким же образом как и потенциал поля точечного заряда, расположенного в центре шара и численно равного заряду шара  $Q$ :

$$\varphi_1 = Q / (4\pi\epsilon_0 (R + r_1)); \quad \varphi_2 = Q / (4\pi\epsilon_0 (R + r_2));$$

где  $Q = \varphi C_{\text{ш}} = 4\varphi\pi\varepsilon_0 R$  ( $C_{\text{ш}}$  – емкость шара).

Тогда имеем

$$A = q\varphi R[1/(R+r_1) - 1/(R+r_2)] = -0,32 \text{ мкДж.}$$

Знак минус указывает, что электрическая сила препятствует перемещению заряда.

**П.3.5.** Сколько ( $n$ ) одинаковых заряженных капель воды радиусом  $r = 1 \text{ мм}$  и зарядом  $q = 2 \cdot 10^{-10} \text{ Кл}$  смогут образовать одну большую каплю с потенциалом  $\varphi = 3,74 \text{ кВ}$ ?

Найти потенциал малых капель.

**Решение:** Выражение для потенциала большой капли имеет вид

$$\varphi = Q / (4\pi\varepsilon_0 R), \quad (1)$$

где  $Q = nq$ ;  $R$  – радиус большой капли.  $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$ .

Из закона сохранения массы  $M = nm$  запишем:

$4\pi\rho R^3/3 = 4\pi\rho r^3 n/3$ , откуда  $R = r^3 \sqrt{n}$  ( $\rho$  – плотность воды). В результате уравнение (1) примет вид  $\varphi^3 = n^2 q^3 / (4\pi\varepsilon_0 r)^3$  и можно рассчитать число капель

$$n = \sqrt{\frac{\varphi^3 (4\pi\varepsilon_0 r)^3}{q^3}} = 3.$$

Потенциалы малых капель равны

$$\varphi_0 = q / (4\pi\varepsilon_0 r) = 1,8 \text{ кВ.}$$

**П.3.6.** К пластинам плоского конденсатора, расположенным на расстоянии  $d = 6 \text{ мм}$  друг от друга, приложена разность потенциалов  $\Delta\varphi = 120 \text{ В}$ . К одной из пластин прилежит плоскопараллельная пластинка стекла ( $\varepsilon_1 = 7$ ), толщиной  $d_1 = 2 \text{ мм}$ . Определить напряженности  $E_1$  и  $E_2$ , электрического поля в воздухе и стекле. Линейный размер пластин намного превышает зазор между ними.

**Решение:** Поле двух параллельных бесконечных плоскостей, образующих конденсатор и заряженных разноименно

с одинаковой по величине постоянной поверхностной плотностью  $\sigma$ , можно найти как суперпозицию полей, создаваемых каждой из плоскостей в отдельности. Поэтому результирующая напряженность в стеклянном и воздушном зазоре равна соответственно

$$E_1 = \sigma/(\varepsilon_1 \varepsilon_0), E_2 = \sigma/(\varepsilon_2 \varepsilon_0), \text{ откуда } \varepsilon_1 E_1 = \varepsilon_2 E_2, \varepsilon_2 = 1.$$

С другой стороны разность потенциалов между обкладками

$$\Delta \varphi = E_1 d_1 + E_2 (d - d_1).$$

Объединяя записанные выражения имеем

$$E_1 = \frac{\Delta \varphi}{\varepsilon_1 d + (1 - \varepsilon_1) d_1} = 4 \text{ кВ / м} \quad \text{и}$$

$$E_2 = \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} E_1 = 28 \text{ кВ / м}.$$

**П.3.7.** Плоский конденсатор с диэлектриком, емкость которого  $C_0 = 6 \text{ мкФ}$ , заряжен до напряжения  $U_0 = 200 \text{ В}$  и отключен от источника. Какую работу  $A$  надо совершить, чтобы вытащить из конденсатора диэлектрик? Диэлектрическая проницаемость  $\varepsilon = 3$ , силой трения пренебречь.

**Решение:** Работа внешней силы  $A$  равна разности энергий конденсатора:  $A = W_{\text{к}} - W_{\text{н}}$ , где  $W_{\text{н}} = C_0 U_0^2 / 2$  – начальная энергия конденсатора,  $W_{\text{к}} = C U^2 / 2$  – конечная энергия конденсатора, а  $C = C_0 / \varepsilon$  – емкость конденсатора без диэлектрика. Так как конденсатор отключен от источника, заряд на его обкладках сохраняется. Следовательно

$$C_0 U_0 = C U \text{ и } U = C_0 U_0 / C = \varepsilon U_0.$$

Таким образом

$$A = \varepsilon C_0 U_0^2 / 2 - C_0 U_0^2 / 2 = C_0 U_0^2 (\varepsilon - 1) / 2 = 0,24 \text{ Дж}.$$

3.1. Определить силы взаимодействия двух точечных зарядов  $q_1 = 4 \text{ нКл}$  и  $q_2 = 8 \text{ нКл}$  в вакууме  $F_1$  и в керосине  $F_2$

(диэлектрическая проницаемость керосина  $\varepsilon = 2$ ) на расстоянии  $r = 20$  см.

3.2. Два одинаковых шарика, массой  $m = 10$  г, расположены в вакууме на расстоянии значительно превышающем их размеры. Какие равные заряды  $q$  необходимо поместить на шариках, чтобы сила их кулоновского отталкивания уравновесила силу гравитационного притяжения?

3.3. Два заряженных шарика, находящихся в вакууме, на расстоянии  $r_1 = 4$  см, отталкиваются друг от друга с некоторой силой. На каком расстоянии  $r_2$  сила взаимодействия уменьшится в  $k = 8$  раз, если их поместить в керосин. Диэлектрическая проницаемость керосина  $\varepsilon = 2$ .

3.4. Два одинаковых проводящих шарика с зарядами  $q_1 = 20$  нКл и  $q_2 = -4$  нКл соприкоснулись и разошлись на расстоянии  $r = 2$  см. Найти заряд каждого шарика после соприкосновения и силу взаимодействия между ними в вакууме.

3.5. Три одинаковых точечных заряда  $q$  находятся в вершинах равностороннего треугольника, при этом на каждый заряд действует сила  $F$ . Найти длину  $a$  стороны треугольника.

3.6. В вершинах правильного треугольника помещены положительные точечные заряды  $q_1 = q_2 = q_3 = q$ . Какой отрицательный заряд  $Q$  надо поместить в центре треугольника, чтобы вся система находилась в равновесии?

3.7. На расстоянии  $r = 30$  см от поверхности Земли находится точечный заряд  $q = 1 \cdot 10^{-3}$  Кл, который индуцирует в ней заряды противоположного знака. Определить силу электрического притяжения заряда к Земле.

3.8. Электрон вращается в вакууме по круговой орбите радиуса  $r$  вокруг частицы с положительным зарядом  $q$ . Определить скорость и период вращения электрона. Силой гравитационного притяжения частиц пренебречь.

3.9. Два одинаковых маленьких шарика с зарядом  $q$  каждый подвешены в вакууме на непроводящих нитях длиной  $l$  в одной точке. Под действием электрического отталкивания они разошлись на расстояние  $r$ . Определить массы шариков, если угол отклонения нити можно считать малым.

\*3.10. Два шарика с плотностью материала  $\rho = 1,6 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>, имеющие одинаковые массы, радиусы и заряды, подвешены в одной точке на нитях одинаковой длины и опущены в керосин ( $\rho_k = 0,8 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>). Определить диэлектрическую проницаемость керосина, если угол расхождения нитей в воздухе и керосине одинаков.

3.11. В некоторой точке электростатического поля на заряд  $q = 5$  нКл действует сила  $F = 4 \cdot 10^{-7}$  Н. Найти напряженность поля  $E$  в данной точке.

3.12. Какая напряженность электрического поля создается зарядом ядра неона (Ne)  $q = 1,6 \cdot 10^{-18}$  Кл на расстоянии  $r = 10^{-10}$  м от центра ядра?

3.13. Полый металлический шар, радиус которого  $R = 20$  см, несет заряд  $q = 6$  нКл. Определить напряженность электрического поля в центре шара  $E_0$ , на расстоянии от центра, равном половине радиуса  $E_1 (k_1 = 1/2)$ , и на расстоянии  $2R$  ( $k=2$ ) от центра шара  $E_2$ .

3.14. В одну из вершин квадрата помещен точечный заряд. Напряженность его поля в центре квадрата  $E_0 = 8$

*В/м.* Определить напряженность поля в трех остальных вершинах квадрата.

3.15. На расстоянии  $r = 5$  см друг от друга в вакууме расположены противоположные по знаку заряды величиной  $|q| = 7$  нКл. Найти напряженность электрического поля в точке, находящейся на расстоянии  $a = 3$  см от положительного заряда и в  $b = 4$  см от отрицательного заряда.

3.16. На расстоянии  $r$  от точечного заряда напряженность поля  $E = 9$  В/м, а на расстоянии  $3r$  ( $k=3$ ) потенциал  $\varphi = 6$  В. Чему равна величина заряда  $q$ ?

3.17. Найти напряженность электрического поля  $E$  и потенциал  $\varphi$  в середине отрезка между двумя одинаковыми положительными точечными зарядами величиной  $q = 10$  нКл, находящимися на расстоянии  $l = 0,6$  м.

3.18. Электрическое поле в вакууме образовано точечным зарядом  $q = 1,5$  нКл. На каком расстоянии  $l$  друг от друга расположены две эквипотенциальные поверхности с потенциалами  $\varphi_1 = 45$  В и  $\varphi_2 = 30$  В?

3.19. Определить потенциал поверхности заряженного металлического шара, если в точках, удаленных от его поверхности в вакууме на расстояние  $r_1 = 2$  см и  $r_2 = 4$  см потенциал электрического поля равен  $\varphi_1 = 200$  В и  $\varphi_2 = 150$  В соответственно.

3.20. Расстояние между зарядами  $q_1 = 10$  нКл и  $q_2 = -1$  нКл  $r = 1,1$  м. Определить напряженность поля  $E$  в такой точке на прямой, соединяющей заряды, в которой потенциал равен нулю.

3.21. В однородном электрическом поле расстояние между двумя точками вдоль силовой линии  $r = 0,5$  м, а разность потенциалов между ними  $\Delta \varphi = 100$  В. Определите напряженность поля  $E$ .

3.22. Напряженность однородного электрического поля  $E = 200$  В/м. Какую работу  $A$  совершает поле при перемещении пылинки, имеющей заряд  $q = 3 \cdot 10^{-8}$  Кл, на расстояние  $r = 10$  см вдоль силовой линии?

3.23. Электрон движется со скоростью  $v_0 = 1,5 \cdot 10^6$  м/с. Как изменится скорость электрона, если он в направлении первоначального движения ускорится разностью потенциалов  $\Delta \varphi = 100$  В?

3.24. Электрон, двигавшийся с начальной скоростью  $v_0 = 5 \cdot 10^5$  м/с, попадает в электрическое поле напряженностью  $E = 10$  В/м ( $\vec{E} \perp \vec{v}_0$ ) и двигается в этом поле в течение  $\Delta t = 2,84 \cdot 10^{-7}$  с. Найти величину скорости электрона  $v$  и ее направление в конце заданного промежутка времени.

3.25. Электрическое поле создается зарядом  $q$ , находящимся на проводящем шаре радиуса  $R$  в воздухе. Построить график зависимости напряженности  $E$  и потенциала  $\varphi$  электрического поля от расстояния  $r$  от центра шара.

\*3.26. Два противоположно заряженных точечных заряда величиной  $q$  расположены на оси  $x$  на расстоянии  $2a$  друг от друга в воздухе. Получить выражение для расчета величины напряженности  $E$  электрического поля вдоль оси  $x$  и построить график зависимости  $E(x)$ .

\*3.27. Металлическое кольцо радиусом  $R = 1$  см в воздухе имеет заряд  $q = 10$  нКл. Определить напряженность  $E$  и потенциал  $\varphi$  электрического поля в центре кольца и на расстоянии  $x = 1$  см от центра вдоль оси, перпендикулярной к плоскости кольца.

3.28. В воздухе около заряженной вертикальной бесконечной плоскости с поверхностной плотностью заряда  $\sigma = 10$  мкКл/м<sup>2</sup> находится шарик с массой  $m = 0,4$  г и зарядом  $q = 7$  нКл. Определить угол  $\alpha$ , который образует с плоскостью нить, на которой висит шарик.

\*3.29. Шарик массой  $m = 5$  г и зарядом  $q = 10^{-5}$  Кл бросили под углом  $\alpha$  к горизонту. Напряженность горизонтально направленного электрического поля  $E = 5 \cdot 10^3$  В/м. Найти  $\alpha$ , если в верхней точке траектории кинетическая энергия шарика равна нулю. ( $g = 10$  м/с<sup>2</sup>)

\*3.30. Шарик массой  $m$  с зарядом  $+q$ , подвешенный на нити длиной  $l$ , равномерно вращается в однородном электростатическом поле напряженностью  $E$ , линии напряженности которого направлены вертикально вниз. Угол отклонения нити от вертикали равен  $\alpha$ . Определить силу натяжения нити и скорость вращения шарика.

\*3.31. Определить зависимость вращательного момента сил  $M$ , действующих на диполь, помещенный в однородное электрическое поле от величины вектора напряженности поля  $E$ , зарядов образующих диполь  $q$ , расстояния между зарядами  $l$  и угла  $\alpha$  между направлением  $\vec{E}$  и осью диполя.

3.32. Вычислить отклонение луча на экране электронного осциллографа  $S$  в случае, если ускоряющее анодное напряжение  $U_a = 900$  В, напряжение на отклоняющих пласти-

нах  $U = 100 \text{ В}$ , их длина  $l = 5 \text{ см}$ , расстояние между пластинами  $d = 1 \text{ см}$ , расстояние от рассмотренных пластин до экрана  $L = 10 \text{ см}$ .

3.33. Поток электронов, получивших скорость в результате прохождения разности потенциалов  $U_0 = 5 \text{ кВ}$ , влетает в середину между пластинами плоского конденсатора параллельно им. Длина пластин конденсатора  $l = 5 \text{ см}$ , напряжение на нем  $U = 400 \text{ В}$ . Каково должно быть расстояние между пластинами конденсатора  $d$ , чтобы электроны не вылетали из него.

\*3.34. Металлический шарик массой  $m = 10 \text{ г}$  и с зарядом  $q = 10^{-4} \text{ Кл}$  подвешен на нити в электрическом поле с напряженностью  $E = 500 \text{ В/м}$ , направленной вертикально вниз. Шарик отводят в сторону до горизонтального уровня и отпускают. Определить натяжение нити  $T$  в нижней точке траектории шарика. ( $g = 10 \text{ м/с}^2$ )

3.35. Протон, ускоренный разностью потенциалов  $U = 27 \text{ кВ}$  движется в вакууме навстречу неподвижному точечному заряду  $q = 3 \cdot 10^{-9} \text{ Кл}$ . Определить минимальное расстояние  $r$ , на которое протон сможет приблизиться к заряду.

\*3.36. Два одинаковых заряженных тела находятся в воздухе на горизонтальной поверхности. Под действием электрических сил они движутся в противоположные стороны. На каком расстоянии  $r$  между ними их скорости максимальны? Массы тел  $m$ , заряды  $q$ . Коэффициент трения между телами и поверхностью  $\mu$ .

3.37. Рассчитать электрическую емкость  $C$  воздушного плоского конденсатора, площадь пластин которого  $S = 0,1 \text{ м}^2$ , а расстояние между ними  $d = 1 \text{ мм}$ .

3.38. Вывести формулу для расчета емкости  $C$  сферического конденсатора в зависимости от радиусов внутренней  $R_1$  и внешней  $R_2$  сферы, а также площади пластин  $S$  и расстояния между обкладками  $d$  при условии  $d \ll R_1, R_2$ .

3.39. Источник постоянного напряжения подсоединен к плоскому конденсатору, имеющему небольшое расстояние между протяженными пластинами. Будет ли меняться напряженность электрического поля внутри конденсатора, если заполнить пространство между обкладками диэлектриком?

3.40. Площадь пластин заряженного плоского конденсатора увеличили в 3 раза. Во сколько раз изменится заряд на обкладках  $q$ , разность потенциалов  $U$ , напряженность электрического поля  $E$  и запасенная энергия  $W$ ? Рассмотреть случаи, когда конденсатор: а) отключен от источника постоянного напряжения; б) присоединен к источнику постоянного напряжения.

3.41. Вычислить энергию  $W$ , которой обладает плоский заряженный конденсатор, заполненный диэлектриком с объемом  $V=0,005 \text{ м}^3$  и диэлектрической проницаемостью  $\epsilon=5$ . Напряженность электрического поля в диэлектрике  $E=10^5 \text{ В/м}$ .

3.42. Определить количество теплоты  $Q$ , выделяющейся при заземлении шара радиусом  $R=10 \text{ см}$ , обладающего зарядом  $q=26 \text{ нКл}$ , если вся запасенная в заряженном шаре энергия расходуется на нагревание.

3.43. Пространство между пластинами плоского конденсатора с зарядом  $q=10 \text{ нКл}$  и площадью  $S=0,04 \text{ м}^2$  заполнено диэлектриком с диэлектрической проницаемостью  $\epsilon=8$ . Определить работу  $A$ , затраченную на удаление диэлектрика

из конденсатора, если расстояние между пластинами равно  $d = 0,004$  м. Силой трения диэлектрика о пластины конденсатора пренебречь.

3.44. Плоский воздушный конденсатор емкостью  $C = 6$  мкФ заряжен до разности потенциалов  $U = 100$  В и отключен от источника напряжения. Какую работу  $A$  надо совершить, чтобы втрое ( $k = 3$ ) увеличить расстояние между обкладками?

3.45. Имеются три различных конденсатора. Когда конденсаторы соединены последовательно, электроемкость соединения  $C_0 = 1$  мкФ, а когда параллельно,  $C_a = 11$  мкФ. Электроемкость одного из конденсаторов  $C_1 = 2$  мкФ. Определить электроемкость  $C_2$  и  $C_3$  двух неизвестных конденсаторов.

3.46. Во сколько раз по отношению к первоначальной изменится емкость плоского воздушного конденсатора, если в него вставить металлическую пластину толщиной в  $1/5$  ( $k = 1/5$ ) расстояния между обкладками?

3.47. Решите предыдущую задачу в случае, если пластина из диэлектрика (диэлектрическая проницаемость  $\epsilon = 6$ ).

3.48. Два последовательно соединенных конденсатора с емкостями  $C_1 = 0,1$  мкФ,  $C_2 = 0,2$  мкФ и расстоянием между обкладками  $d = 1$  мм подключены к аккумулятору с напряжением  $U = 20$  В. Найти напряжение ( $U_1, U_2$ ) и напряженность ( $E_1, E_2$ ) электрического поля в конденсаторах.

3.49. На двух конденсаторах, емкости которых  $C_1 = 2$  мкФ и  $C_2 = 3$  мкФ, находятся электрические заряды  $q_1 = 4 \cdot 10^{-6}$  Кл и  $q_2 = 9 \cdot 10^{-6}$  Кл соответственно. Определить заряд каждого конденсатора  $q_1^*$  и  $q_2^*$  после их параллельного соединения разноименно заряженными обкладками.

3.50. Два конденсатора емкостью  $C_1 = 1 \text{ мкФ}$  и  $C_2 = 2 \text{ мкФ}$  соединены последовательно. При этом суммарная разность потенциалов  $\Delta \varphi = 90 \text{ В}$ . Чему будет равна разность потенциалов  $\Delta \varphi_1$  после параллельного соединения конденсаторов одноименно заряженными пластинами? От внешнего источника напряжения конденсаторы отключены.

3.51. Конденсатор емкостью  $C_1 = 6 \text{ мкФ}$ , заряженный до разности потенциалов  $U_1 = 200 \text{ В}$ , соединяют параллельно одноименно заряженными пластинами с конденсатором емкостью  $C_2 = 4 \text{ мкФ}$ , разность потенциалов между обкладками которого  $U_2 = 400 \text{ В}$ . Определить емкость соединенных конденсаторов, разность потенциалов на их зажимах и запасенную в них энергию.

3.52. Имеются два конденсатора емкостью  $C$ . Один из них заряжен до разности потенциалов  $U$ , другой не заряжен. Определить изменение энергии системы после параллельного соединения конденсаторов.

3.53. Два одинаковых конденсатора, соединенные параллельно, зарядили до напряжения  $U_0 = 100 \text{ В}$  и отключили от источника. Каким окажется напряжение  $U$  на конденсаторах, если в один из них ввести диэлектрик с диэлектрической проницаемостью  $\varepsilon = 7$ ?

3.54. Два одинаковых конденсатора, соединенных последовательно, подключены к источнику напряжения. Во сколько раз изменится разность потенциалов на одном из конденсаторов ( $U_1/U_{10}$ ), если другой погрузить в жидкость с диэлектрической проницаемостью  $\varepsilon = 3$ ?

3.55. Определить заряд, который необходимо сообщить двум параллельно соединенным конденсаторам с емкостями

ми  $C_1 = 2 \text{ мкФ}$  и  $C_2 = 3 \text{ мкФ}$ , чтобы зарядить их до разности потенциалов  $U = 30 \text{ В}$ . Какой будет разность потенциалов  $U'$  на конденсаторах, если отключить источник постоянного напряжения и пространство между пластинами второго конденсатора заполнить парафином (диэлектрическая проницаемость  $\epsilon = 2$ )?

3.56. Два шарика радиусом  $R_1 = 5 \text{ см}$  и  $R_2 = 10 \text{ см}$ , имеющие каждый заряд, равный  $q = 20 \text{ нКл}$ , соединяют проволокой. В каком направлении перемещаются заряды? Каков общий потенциал  $\phi$  и заряды шаров  $q_1$  и  $q_2$  после соединения? Шары расположены далеко друг от друга в воздухе.

\*3.57. Металлический шар радиусом  $R_1 = 5 \text{ см}$ , поверхность которого имеет потенциал  $\phi = 2400 \text{ В}$ , окружают concentрической сферической проводящей оболочкой радиусом  $R_2 = 10 \text{ см}$ . Каким станет потенциал  $\phi_1$  поверхности шара после того, как он будет соединен проводником с оболочкой?

\*3.58. Два удаленных изолированных сферических проводника емкостью  $C_1$  и  $C_2$  заряжены до потенциалов  $\phi_1$  и  $\phi_2$  соответственно. Чему равно изменение энергии  $\Delta W$  системы после их соединения тонким проводником?

\*3.59. На обкладках плоского конденсатора поддерживается постоянное напряжение  $U = 10 \text{ кВ}$ . Каждая обкладка представляет собой квадрат с длиной стороны  $l = 0,1 \text{ м}$ , расстояние между обкладками  $d = 1 \text{ см}$ . Диэлектрическую пластину с диэлектрической проницаемостью  $\epsilon = 7$  частично выдвигают из зазора между обкладками. С какой силой  $F$  она будет втягиваться обратно? Воздушным зазором между обкладками и пластиной, а также и трением пренебречь.

### 3.2. Постоянный электрический ток

**ПЗ.8.** Вычислить силу тока, создаваемого вращением электрона вокруг ядра в атоме водорода, если радиус его основной орбиты равен  $r = 0,053$  нм.

**Решение.** Сила тока определяется выражением  $I = ev = e\nu/(2\pi r)$  (здесь  $\nu$  – частота вращения,  $e$  – заряд электрона,  $\nu$  – его скорость). Скорость находим из второго закона Ньютона, в котором роль центростремительной силы играет кулоновская сила взаимодействия электрона с ядром  $m\nu^2/r = e^2/(4\pi\epsilon_0 r^2)$ . В результате  $I = e^2/(4\pi\sqrt{\pi\epsilon_0 r m}) = 1,1$  мА.

**ПЗ.9.** На два последовательно соединенных плоских слюдяных (диэлектрическая проницаемость  $\epsilon = 6$ , удельное сопротивление  $\rho = 10^{11}$  Ом·м) конденсатора общей емкостью  $C = 0,02$  мкФ подают постоянное напряжение  $U = 100$  В. Определить силу тока утечки через конденсаторы при подключенном источнике постоянного напряжения.

**Решение.** Емкость  $C$  и сопротивление  $R$  двух последовательно соединенных конденсаторов определяется как

$$C = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} = \frac{\epsilon_0 \epsilon S_1 S_2}{S_1 d_2 + S_2 d_1}, \quad (1)$$

$$R = R_1 + R_2 = \rho \frac{S_1 d_2 + S_2 d_1}{S_1 S_2}, \quad (2)$$

где  $C_1, C_2$ ;  $R_1, R_2$ ;  $d_1, d_2$ ;  $S_1, S_2$  – соответственно емкости, сопротивления, расстояния между обкладками и площади пластин первого и второго конденсаторов.

Умножая (1) на (2), получим:

$$R = \frac{\epsilon_0 \epsilon \rho}{C},$$

откуда ток утечки  $I = U / R = \frac{UC}{\epsilon_0 \epsilon \rho} = 0,4 \text{ мкА}$ .

**ПЗ.10.** Параллельно амперметру, имеющему сопротивление  $R_A = 1 \text{ Ом}$ , включен медный провод (шунт) длиной  $l = 20 \text{ см}$  и диаметром  $d = 1 \text{ мм}$ . Определить величину тока в цепи, если амперметр показывает силу тока  $I_A = 0,2 \text{ А}$ . Удельное сопротивление меди  $\rho = 0,017 \text{ мкОм}\cdot\text{м}$ .

**Решение.** Падения напряжения на шунте и амперметре равны, т.е.

$$I_A R_A = I_1 \rho l / S.$$

Ток шунта  $I_1 = I_A R_A \pi d^2 / (4 \rho l)$  и ток в цепи  $I = I_A + I_1 = I_A + I_A R_A \pi d^2 / (4 \rho l) = 46,4 \text{ А}$ .

**ПЗ.11.** Сколько времени  $\tau$  необходимо для нагревания  $V = 4 \text{ л}$  воды в электрическом чайнике до температуры кипения ( $t_k = 100^\circ\text{C}$ ), если его мощность  $P = 2500 \text{ Вт}$ , а КПД  $\eta = 0,85$ ? Начальная температура воды  $t_0 = 15^\circ\text{C}$ . Удельная теплоемкость воды  $c = 4,2 \cdot 10^3 \text{ Дж/кг}\cdot\text{K}$ , плотность воды  $\rho = 10^3 \text{ кг/м}^3$ .

**Решение.** Теплота, необходимая для нагревания воды  $Q_1 = cm(t_k - t_0)$ . Масса воды  $m = \rho V$ . Энергия, выделяемая кипятивником за время  $\tau$ ,  $Q_2 = P \tau$ . По определению КПД  $\eta = Q_1 / Q_2$ , отсюда  $\eta Q_2 = Q_1$  или  $\eta P \tau = c \rho V (t_k - t_0)$ .

Следовательно,  $\tau = \frac{c \rho V (t_k - t_0)}{\eta P} = 672 \text{ с}$ .

**ПЗ.12.** За какое время  $t$  израсходуется полностью медный анод размером  $100 \cdot 25 \cdot 4 \text{ мм}^3$ , если сила тока в электролитической ванне равна  $I = 3 \text{ А}$ ? Электрохимический эквивалент меди  $k = 3,294 \cdot 10^{-7} \text{ кг/Кл}$ , плотность меди  $\rho = 8,9 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ .

**Решение.** По условию задачи объем медного анода  $V = 100 \cdot 25 \cdot 4 \text{ мм}^3 = 10^4 \text{ мм}^3 = 10^{-5} \text{ м}^3$ , а его масса  $m = \rho V$ . По зако-

ну Фарадея для электролиза масса выделившегося вещества  $m = kIt$ . Следовательно,  $\rho V = kIt$  и  $t = \frac{\rho V}{kI} = 0,9 \cdot 10^5 \text{ с} \approx 25 \text{ часов}$ .

3.60. Через электронную лампу протекает ток  $I = 16 \text{ мА}$ . Сколько электронов  $N$  попадет на анод лампы за время  $t = 1 \text{ мин}$ ?

3.61. Концентрация свободных электронов в проводнике  $n = 10^{28} \text{ м}^{-3}$ , поперечное сечение проводника  $S = 1 \text{ мм}^2$ , сила тока в нем  $I = 1 \text{ А}$ . Чему равна скорость направленного движения электронов?

3.62. По медному проводу с площадью поперечного сечения  $S = 20 \text{ мм}^2$  течет ток  $I = 5 \text{ А}$ . Найти среднюю скорость упорядоченного движения электронов, полагая, что на каждый атом меди приходится один электрон проводимости. Плотность и молекулярную массу меди принять равными  $\rho = 8,9 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ ,  $\mu = 63,5 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$ .

3.63. По проводнику длиной  $l = 1 \text{ м}$  течет ток силой  $I = 2 \text{ А}$ . Чему равен суммарный импульс  $p$  электронов в проводнике?

3.64. В электронно-лучевой трубке сила тока в электронном пучке  $I = 600 \text{ мкА}$ , ускоряющее напряжение  $U = 10 \text{ кВ}$ . Определить силу давления  $F$  электронного пучка на экран трубки, считая, что электроны поглощаются экраном.

3.65. Во сколько раз отличаются сопротивления двух проволочных проводников из одинакового материала одинаковой массы, если диаметр одного из них вдвое больше ( $k = 2$ ), чем у второго?

3.66. Предположим, что при прокатке проволоки ее длина удвоилась ( $k = 2$ ). Как при этом изменяется сопротивление?

3.67. Найти общее сопротивление  $R$  цепи, изображенной на рис. 3.3.  $R_1 = 10 \text{ Ом}$ ,  $R_2 = 20 \text{ Ом}$ ,  $R_3 = 30 \text{ Ом}$ .

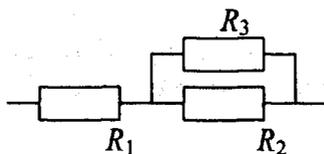


Рис. 3.3

3.68. Общее сопротивление двух проводников при последовательном соединении равно  $R_0 = 50 \text{ Ом}$ , а при параллельном соединении  $R_a = 12 \text{ Ом}$ . Найти эти сопротивления  $R_1$  и  $R_2$ .

3.69. Провод, имеющий сопротивление  $R_1 = 49 \text{ Ом}$ , разрезали на несколько одинаковых частей, которые соединили параллельно. Общее сопротивление параллельного соединения проводов  $R_2 = 1 \text{ Ом}$ . На сколько частей разрезали провод?

3.70. Найти общее сопротивление  $R$  проводников, соединенных по схеме, приведенной на рисунке 3.4. ( $R_1 = R_2 = 4 \text{ Ом}$ ,  $R_3 = 5 \text{ Ом}$ ,  $R_4 = 3 \text{ Ом}$ ,  $R_5 = 1,5 \text{ Ом}$ ,  $R_6 = 2 \text{ Ом}$ ).

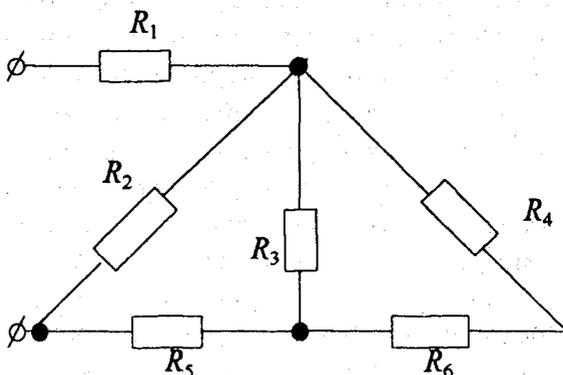


Рис. 3.4

3.71. Найти общее сопротивление цепи  $R_{об}$ , изображенной на рис. 3.5.

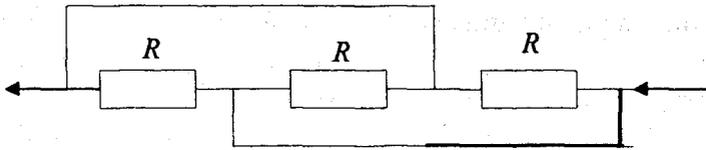


Рис 3.5

3.72. Найти общее сопротивление  $R_{об}$  цепи, изображенной на рис. 3.6.

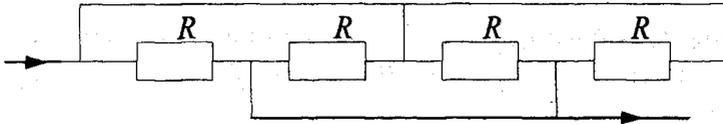


Рис.3.6

\*3.73. Определить сопротивление  $R$  проволочной сетки относительно точек  $AB$  (рис.3.7), если каждый ее элемент имеет сопротивление  $r$ .

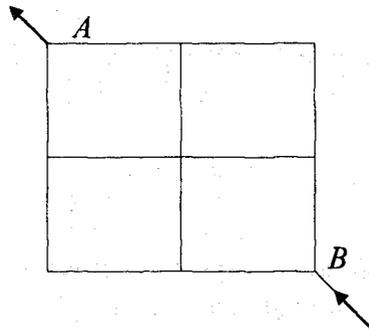


Рис.3.7

- 3.74. Определить напряжение  $U$  на проводнике сопротивлением  $R = 20 \text{ Ом}$ , если по проводнику за время  $t = 1 \text{ мин}$  прошел заряд  $q = 180 \text{ Кл}$ .
- 3.75. Три сопротивления  $R_1 = 2 \text{ Ом}$ ,  $R_2 = 5 \text{ Ом}$  и  $R_3 = 10 \text{ Ом}$  соединены параллельно. Определите общий ток в цепи  $I$ , если через второе сопротивление проходит ток  $I_2 = 0,2 \text{ А}$ .
- 3.76. К аккумулятору, напряжение на клеммах которого  $U$ , через сопротивление  $r$  подсоединены десять лампочек, соединенных параллельно. Найти напряжение на каждой лампочке, если сопротивление каждой из них равно  $R$ .
- 3.77. Какое количество теплоты  $Q$  выделилось в реостате, сопротивление которого  $R = 6,0 \text{ Ом}$ , если за время  $t = 10 \text{ мин}$  через него прошел электрический заряд  $q = 600 \text{ Кл}$ ?
- 3.78. Найти сопротивление лампы  $R$  с маркировкой: напряжение  $U = 220 \text{ В}$ , мощность  $P = 100 \text{ Вт}$ .
- 3.79. Вместо ламп, предназначенных для использования в сети напряжением  $U_0 = 240 \text{ В}$ , были куплены две лампы с маркировкой  $U = 120 \text{ В}$ . Можно ли использовать эти лампы для освещения и как это сделать?
- 3.80. Что должен сделать человек, имеющий лампу с маркировкой  $U = 120 \text{ В}$ ,  $P = 100 \text{ Вт}$ , чтобы включить ее в сеть с напряжением  $U_0 = 240 \text{ В}$ ?
- 3.81. Какая мощность  $P$  потребляется дуговой сталеплавильной печью, работающей от источника с напряжением  $U = 220 \text{ В}$  при силе тока  $I = 30 \text{ кА}$ ? Сколько энергии  $W$  будет израсходовано за  $t = 8$  часов работы? Ответ выразить в кВт-ч.

3.82. Участок электрической цепи состоит из трех сопротивлений:  $R_1 = 10 \text{ Ом}$ ,  $R_2 = 20 \text{ Ом}$ ,  $R_3 = 30 \text{ Ом}$ . Первое сопротивление соединено последовательно с параллельно соединенными вторым и третьим. Определить мощность  $P_3$ , которая выделяется на третьем сопротивлении, если на первом выделяется мощность  $P_1 = 25 \text{ Вт}$ .

3.83. Электрический нагреватель имеет две обмотки. При включении одной из них в сеть вода в чайнике закипает через  $t_1 = 30 \text{ мин}$ , а при включении другой – через  $t_2 = 10 \text{ мин}$ . Через какое время закипит вода при включении этих обмоток последовательно и параллельно? Считать, что все тепло, выделенное в обмотках, расходуется на нагрев воды.

3.84. Электродвигатель токарного станка, сопротивление обмотки которого  $R = 0,6 \text{ Ом}$ , работает от сети с напряжением  $U = 220 \text{ В}$ . Определить энергию  $W$ , израсходованную за  $t = 6$  часов работы станка, количество теплоты  $Q$ , выделившееся в обмотке двигателя, выполненную механическую работу  $A$ , КПД электродвигателя  $\eta$ . Сила тока  $I = 50 \text{ А}$ .

3.85. Сила сопротивления движению автомобиля при скорости  $v = 30 \text{ км/час}$  равна  $F = 1200 \text{ Н}$ , при этом двигатель потребляет ток  $I = 140 \text{ А}$  от аккумуляторной батареи с напряжением  $U = 120 \text{ В}$ . Определить КПД двигателя  $\eta$ .

3.86. Электродвигатель автопогрузчика работает при силе тока  $I = 120 \text{ А}$  и напряжении на зажимах аккумуляторной батареи  $U = 12,5 \text{ В}$ . С какой скоростью движется автопогрузчик, если двигатель создает силу тяги  $F = 3600 \text{ Н}$ , а его КПД  $\eta = 0,6$ ?

3.87. Какова сила тяги тепловоза при скорости движения  $v = 36 \text{ км/час}$ , если его двигатель, имеющий КПД  $\eta = 0,6$ , работает при напряжении  $U = 1 \text{ кВ}$  и силе тока  $I = 500 \text{ А}$ .

3.88. На электровозе установлено  $n = 8$  тяговых двигателей, обмотки которых включены по схеме, представленной на рис. 3.8. КПД двигателя  $\eta = 0,95$ . Напряжение контактной сети  $U = 3 \text{ кВ}$ , сила тока в обмотке двигателя  $I = 400 \text{ А}$ . Определить скорость движения электровоза  $v$ , если среднее тяговое усилие на валу каждого двигателя  $F = 50 \text{ кН}$ .

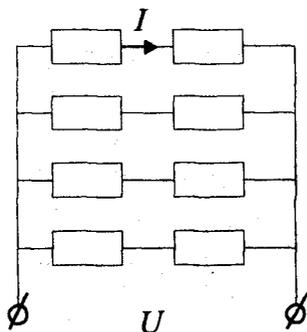


Рис. 3.8

3.89. Кабина лифта, масса которой вместе с пассажирами  $m = 2,5 \text{ т}$ , поднимается равномерно на высоту  $h = 50 \text{ м}$  за  $t = 3 \text{ мин}$ . КПД электродвигателя, приводящего в движение лифт,  $\eta = 0,9$ , напряжение на его зажимах  $U = 220 \text{ В}$ . Определить силу тока  $I$  в двигателе, потребляемую им мощность  $P$  и израсходованную энергию  $W$  за время подъема. ( $g = 10 \text{ м/с}^2$ ).

3.90. Электрический нагреватель работает от сети с напряжением  $U = 220 \text{ В}$  при силе тока  $I = 5 \text{ А}$  и за  $t = 20 \text{ мин}$  нагревает  $V = 1,5 \text{ л}$  воды от  $T_1 = 10^\circ\text{C}$  до  $T_2 = 100^\circ\text{C}$ . Определить КПД нагревателя. Удельная теплоемкость воды  $c = 4,2 \cdot 10^3 \text{ Дж/кг}\cdot\text{K}$ , плотность воды  $\rho = 10^3 \text{ кг/м}^3$ .

3.91. Металлическая кастрюля содержит  $m = 0,6 \text{ кг}$  воды. В нее опускают электрический нагреватель, сопротивление которого  $R = 3 \text{ Ом}$ . В течение какого времени  $t$  следует нагревать воду,

чтобы температура повысилась на  $\Delta T = 2,5 \text{ K}$ ? Теплоемкость кастрюли  $C = 491,4 \text{ Дж/К}$ , удельная теплоемкость воды  $c = 4,2 \cdot 10^3 \text{ Дж/кг}\cdot\text{К}$ . Сила тока в цепи равна  $I = 2 \text{ А}$ . Потерями тепла пренебречь.

3.92. Вода массой  $m_1 = 200 \text{ г}$ , находящаяся в алюминиевой кастрюле массой  $m_2 = 300 \text{ г}$ , нагревается с помощью электронагревателя, подключенного к сети с напряжением  $U = 220 \text{ В}$  и имеющего сопротивление  $R = 180 \text{ Ом}$ . На сколько градусов  $\Delta T$  нагреется вода за  $t = 3 \text{ мин}$ , если КПД электронагревателя  $\eta = 0,7$ . Удельная теплоемкость воды  $c_1 = 4200 \text{ Дж/кг}\cdot\text{К}$ , алюминия  $c_2 = 880 \text{ Дж/кг}\cdot\text{К}$ .

\*3.93. Источник с напряжением на зажимах  $U = 220 \text{ В}$  передает во внешнюю цепь мощность  $N = 15 \text{ кВт}$ . Какое минимальное сечение  $S$  должны иметь медные провода линии передачи, чтобы потери напряжения в ней не превышали бы  $\eta = 2\%$  от исходного уровня? Длина проводов  $l = 50 \text{ м}$ . Удельное сопротивление меди  $\rho = 1,7 \cdot 10^{-8} \text{ Ом}\cdot\text{м}$ .

\*3.94. Сопротивление линии  $R_{\text{л}}$ . Какое постоянное напряжение  $U$  следует приложить к концам линии, чтобы при передаче по этой линии к потребителю мощности  $P$  потери в линии составили  $\eta$  переданной потребителю мощности?

3.95. Замкнутая электрическая цепь содержит батарейку с ЭДС  $\varepsilon = 10 \text{ В}$  и внутренним сопротивлением  $r = 1 \text{ Ом}$ . Найти напряжение на батарейке  $U$ , если величина внешнего сопротивления  $R = 9 \text{ Ом}$ .

3.96. Замкнутая электрическая цепь содержит батарейку с ЭДС  $\varepsilon = 10 \text{ В}$  и внутренним сопротивлением  $r = 1 \text{ Ом}$ . Найти напряжение  $U$  на батарейке, если сила тока в цепи  $I = 1 \text{ А}$ .

3.97. Источником ЭДС, замкнутым на сопротивление  $R_1 = 20 \text{ Ом}$ , во внешней цепи создается ток силой  $I_1 = 3 \text{ А}$ . Если же он замкнут на сопротивление  $R_2 = 34 \text{ Ом}$ , сила тока  $I_2 = 1,8 \text{ А}$ . Определить внутреннее сопротивление  $r$  источника ЭДС.

3.98. Два сопротивления  $R_1 = 10 \text{ Ом}$  и  $R_2 = 40 \text{ Ом}$  соединены параллельно и подключены к источнику с ЭДС  $\varepsilon = 10 \text{ В}$ . Найти внутреннее сопротивление источника  $r$ , если сила тока, протекающего через второе сопротивление  $I_2 = 0,2 \text{ А}$ .

3.99. Проводник подключен к источнику с ЭДС  $\varepsilon = 120 \text{ В}$ . Сила тока в проводнике при этом равна  $I_1 = 1,5 \text{ А}$ . Последовательно с проводником включают дополнительный резистор. Сила тока в цепи стала  $I_2 = 1,2 \text{ А}$ . Найти сопротивление  $R_2$  дополнительного резистора. Внутренним сопротивлением источника пренебречь.

3.100. Напряжение на зажимах гальванического элемента составляет  $U_1 = 1,5 \text{ В}$  при силе тока  $I_1 = 0,5 \text{ А}$ . Когда сила тока изменилась до  $I_2 = 1 \text{ А}$  напряжение на зажимах стало равным  $U_2 = 1 \text{ В}$ . Определить ЭДС элемента  $\varepsilon$ , его внутреннее сопротивление  $r$  и величину тока короткого замыкания  $I_{к.з.}$

3.101. Участок цепи состоит из батарейки с ЭДС  $\varepsilon = 4 \text{ В}$  (рис.3.9) с внутренним сопротивлением  $r = 0,3 \text{ Ом}$ , а также двух резисторов  $R_1 = 10 \text{ Ом}$  и  $R_2 = 20 \text{ Ом}$ . Разность потенциалов между точками 1 и 2  $\Delta\varphi = 1 \text{ В}$ . Найти силу тока  $I$ .

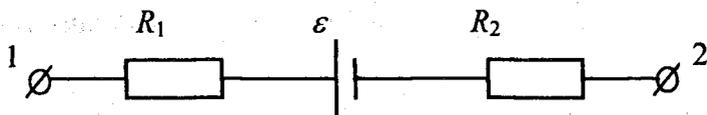


Рис 3.9

3.102. Электрическая лампочка мощностью  $P = 60 \text{ Вт}$ , рассчитанная на напряжение  $U = 110 \text{ В}$ , подключена к источнику с ЭДС  $\varepsilon = 120 \text{ В}$  и внутренним сопротивлением  $r = 60 \text{ Ом}$ . Рассчитать сопротивление лампочки и выяснить будет ли она гореть полным накалом при таком включении.

3.103. В электрическую цепь включена лампочка, сопротивление которой  $R_{\text{л}} = 100 \text{ Ом}$  (рис. 3.10). Найти мощность лампочки, если ЭДС источника тока  $\varepsilon = 120 \text{ В}$ , его внутреннее сопротивление  $r = 2 \text{ Ом}$ . Внешнее сопротивление  $R_1 = 50 \text{ Ом}$ .

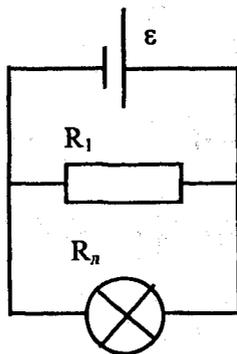


Рис.3.10

3.104 Чему равно внутреннее сопротивление источника ЭДС, если при замыкании его поочередно на внешние сопротивления  $R_1$  и  $R_2$  количество теплоты, выделяющееся в них в единицу времени оказывается одинаковым?

\*3.105. Два резистора сопротивлениями  $R = 100 \text{ Ом}$  каждый подключаются к источнику ЭДС сначала последовательно, а затем параллельно. В обоих случаях тепловая мощность, выделяемая на каждом резисторе, оказывается одинаковой. Найти ЭДС источника  $\varepsilon$ , его внутреннее сопротивление  $r$ , если сила тока, протекающего в цепи при последовательном включении резисторов  $I_1 = 1 \text{ А}$ .

3.106. Несколько одинаковых резисторов соединены в комбинацию, показанную на рис. 3.11. ЭДС источника  $\varepsilon = 100$  В, внутреннее сопротивление  $r = 36$  Ом, КПД  $\eta = 0,5$ . Найти величину сопротивления  $R$  и полезную мощность  $P$ .

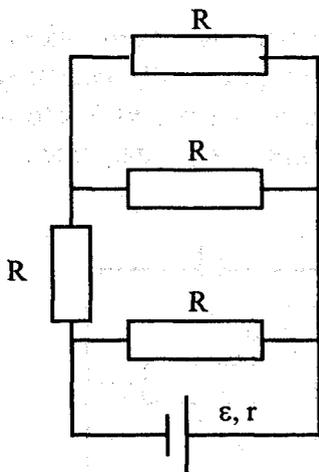


Рис. 3.11

3.107. Электрическая плитка с КПД  $\eta = 0,86$  включена в цепь генератора с ЭДС  $\varepsilon = 120$  В и внутренним сопротивлением  $r = 60$  Ом. Амперметр, включенный последовательно с плиткой, показывает силу тока  $I = 0,2$  А. За какое время  $\tau$  на этой плитке можно вскипятить воду с массой  $m = 0,2$  кг и начальной температурой  $t_0 = 20^\circ\text{C}$ . Удельная теплоемкость воды  $c = 4,2 \cdot 10^3$  Дж/кг·К. Сопротивлением амперметра пренебречь.

3.108. В представленной на рис.3.12 схеме известны: ЭДС источника  $\varepsilon$ , его внутреннее сопротивление  $r$ , внешние сопротивления  $R_1, R_2, R_3$  и емкости конденсаторов  $C_1$  и  $C_2$ . Найти заряды на обкладках конденсаторов.

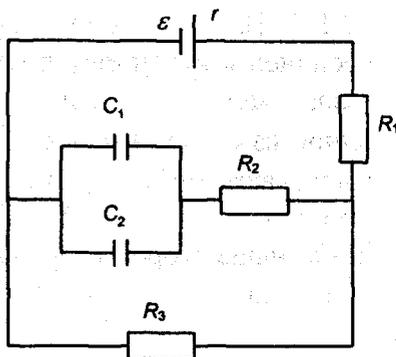


Рис.3.12

3.109. На рис.3.13 изображена электрическая цепь, состоящая из источника с ЭДС  $\varepsilon = 5 \text{ В}$  и внутренним сопротивлением  $r = 1 \text{ Ом}$ , резистора сопротивлением  $R = 4 \text{ Ом}$  и четырех одинаковых конденсаторов емкостью  $C = 3 \text{ мкФ}$ . Определять заряд  $q$  на обкладках каждого конденсатора.

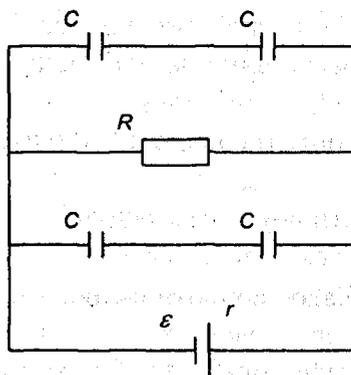


Рис.3.13

3.110 В электрической цепи  $\varepsilon = 12 \text{ В}$ ,  $R_1 = 5 \text{ Ом}$ ,  $R_2 = 15 \text{ Ом}$ ,  $R_3 = 5 \text{ Ом}$ ,  $C_1 = 1 \text{ мкФ}$ ,  $C_2 = 4 \text{ мкФ}$ . Определить напряжение  $U_1, U_2$  на обкладках конденсаторов  $C_1, C_2$  (рис.3.14). Внутренним сопротивлением источника тока пренебречь.

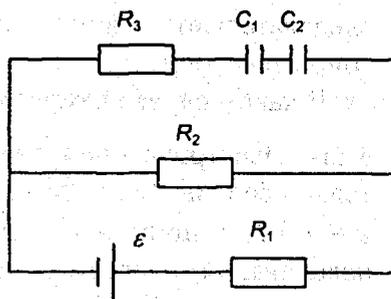


Рис.3.14

\*3.111. Плоский конденсатор с квадратными обкладками подсоединен к источнику постоянного напряжения  $U = 100 \text{ В}$ . Из зазора между обкладками в направлении перпендикулярном одной из сторон квадрата с постоянной скоростью  $v = 0,03 \text{ м/с}$  выдвигают пластину диэлектрика с проницаемостью  $\varepsilon = 6$ . Толщина пластины равна зазору между обкладками и в  $n = 100$  раз меньше стороны квадрата. Определить силу тока, текущего по соединительным проводам.

\*3.112. Плоский конденсатор включен в цепь постоянного тока, как показано на рис.3.15. Длина пластин конденсатора  $l$ , расстояние между пластинами  $d$ , ЭДС источника  $\varepsilon$ , внутреннее сопротивление источника  $r$ . В конденсатор параллельно пластинам посередине влетает электрон со скоростью  $v_0$ .

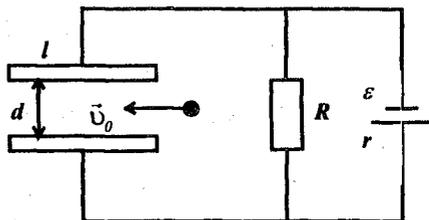


Рис.3.15

Какое сопротивление должен иметь резистор  $R$  подключенный параллельно конденсатору, чтобы электрон не вылетел из конденсатора? Силой тяжести пренебречь.

3.113. Две батарейки, ЭДС каждой из которых равна  $\varepsilon = 1,5 \text{ В}$ , а внутреннее сопротивление  $r = 0,5 \text{ Ом}$  соединяют сначала последовательно, а затем параллельно и подключают к лампочке сопротивлением  $R = 1 \text{ Ом}$ . Определите силу тока в обоих случаях. В каком случае лампочка будет светиться более ярко?

3.114. Электрический фонарь состоит из трех ( $n = 3$ ) последовательно соединенных элементов (каждый из которых имеет ЭДС  $\varepsilon = 1,5 \text{ В}$  и внутреннее сопротивление  $r = 0,2 \text{ Ом}$ ) и лампочки накаливания, сопротивление которой  $R = 10 \text{ Ом}$ . Определить силу тока в цепи  $I$  и напряжение  $U$  на лампе.

3.115. Два источника с ЭДС  $\varepsilon_1 = \varepsilon_2$  и внутренним сопротивлением  $r_1 = 5 \text{ Ом}$  и  $r_2 = 4 \text{ Ом}$  соединяют последовательно и замыкают на внешнее сопротивление. Определить величину внешнего сопротивления  $R$ , при котором разность потенциалов на зажимах первого источника будет равна нулю.

3.116. Два элемента с ЭДС  $\varepsilon_1 = 2 \text{ В}$  и  $\varepsilon_2 = 3 \text{ В}$  с внутренними сопротивлениями  $r_1 = 1,0 \text{ Ом}$  и  $r_2 = 1,5 \text{ Ом}$  соединены согласно рис.3.16. Чему равно напряжение  $U_{AB}$ .

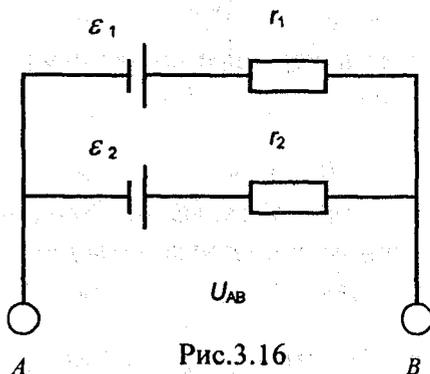


Рис.3.16

3.117. Два элемента с ЭДС  $\varepsilon_1 = 1,5 \text{ В}$  и  $\varepsilon_2 = 2 \text{ В}$ , с внутренними сопротивлениями  $r_1 = 1 \text{ Ом}$   $r_2 = 1,5 \text{ Ом}$  соединены как показано на рис.3.17. и подключены к внешнему сопротивлению  $R = 1 \text{ Ом}$ . Определить силу тока во внешней цепи и тепловую мощность, выделяемую на резисторе  $R$ .

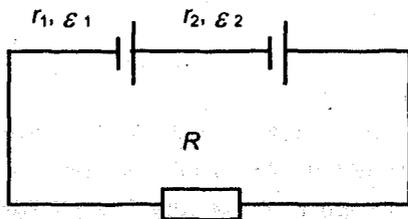


Рис.3.17

3.118. Пять одинаковых источников с ЭДС  $\varepsilon$  и внутренним сопротивлением  $r$  включены в батарею как показано на рис.3.18.

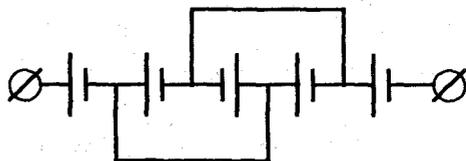


Рис.3.18

Определить ЭДС батареи  $\varepsilon_6$  и ее внутреннее сопротивление  $r_6$ .

3.119. Как нужно соединить (последовательно или параллельно) пять ( $n = 5$ ) гальванических элементов с ЭДС  $\varepsilon = 1,5 \text{ В}$  и внутренним сопротивлением  $r = 0,15 \text{ Ом}$ , чтобы при сопротивлении нагрузки  $R = 0,5 \text{ Ом}$  сила тока в ней была наибольшей?

3.120. Шесть элементов с ЭДС  $\varepsilon = 1,25 \text{ В}$  и внутренним сопротивлением  $r = 0,15 \text{ Ом}$  каждый включены в батарею как показано на рис.3.19. Определить силу тока во внешней цепи, если ее сопротивление  $R = 2,4 \text{ Ом}$ .

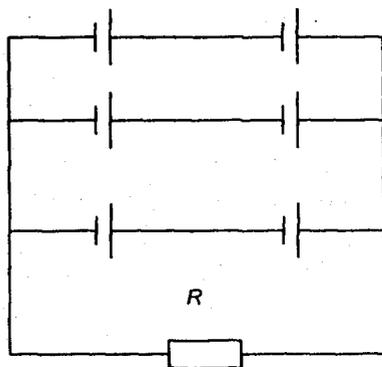


Рис.3.19

3.121. Электрический заряд аккумуляторной батареи равен  $q = 6 \text{ Кл}$ . Напряжение на зажимах батареи  $U = 12 \text{ В}$ . Определить КПД аккумулятора  $\eta$ , если для его зарядки потребовалась энергия, равная  $W = 0,1 \text{ МДж}$ .

3.122. Гальванический элемент, ЭДС которого  $\varepsilon = 12 \text{ В}$  и внутреннее сопротивление  $r = 0,2 \text{ Ом}$  подсоединен к зарядному уст-

ройству. Ток зарядки  $I = 5 \text{ А}$ . Каково показание вольтметра  $U$ , подключенного к полюсам источника? Сопротивление вольтметра считать бесконечно большим.

3.123. Аккумулятор заряжается от сети с напряжением  $U = 24 \text{ В}$ . Внутреннее сопротивление аккумулятора  $r = 1 \text{ Ом}$ . Какова ЭДС этого аккумулятора, если при зарядке через него проходит ток силой  $I = 1 \text{ А}$ ?

3.124. Аккумуляторная батарея с ЭДС  $\varepsilon = 10,2 \text{ В}$  и внутренним сопротивлением  $r = 0,9 \text{ Ом}$  подключена для зарядки к источнику тока с напряжением  $U = 14 \text{ В}$ . Какое дополнительное сопротивление  $R$  нужно включить последовательно с батареей, чтобы сила зарядного тока не превышала  $I = 2 \text{ А}$ ? Определить количество теплоты  $Q$ , выделенной в батарее за  $t = 40 \text{ мин}$ .

3.125. Электролизом получено  $m_1 = 2 \text{ кг}$  серебра. Какую массу меди  $m_2$  можно получить, если количество электричества, пропущенное через электролит не изменилось? Электрохимический эквивалент серебра  $k_c = 1,118 \cdot 10^{-6} \text{ кг/Кл}$ , электрохимический эквивалент меди  $k_m = 3,3 \cdot 10^{-7} \text{ кг/Кл}$ .

3.126. Для получения электрохимическим способом  $m = 200 \text{ кг}$  серебра используется источник тока, напряжение на клеммах которого  $U = 4,5 \text{ В}$ . Определить стоимость израсходованной энергии  $C$  при тарифе  $T = 18 \text{ коп/кВт}\cdot\text{час}$ . Электрохимический эквивалент серебра  $k = 1,118 \cdot 10^{-6} \text{ кг/Кл}$ .

3.127. Систематическая ошибка в показании амперметра, включенного последовательно с электролитической ванной, составляет  $\Delta I = 0,2 \text{ А}$ . Какой ток покажет амперметр, если за время  $t = 20 \text{ мин}$  на катоде выделилось  $m = 0,6 \text{ г}$  меди? Электрохимический эквивалент меди  $k = 3,3 \cdot 10^{-7} \text{ кг/Кл}$ .

3.128. Показания амперметра, включенного в цепь электролитической ванны,  $I_A = 170 \text{ мА}$ . Соответствует ли сила тока  $I_0$  в цепи показаниям амперметра, если за  $t = 30 \text{ мин}$  в процессе электролиза выделилось  $m = 0,1 \text{ г}$  меди? Электрохимический эквивалент меди  $k = 3,3 \cdot 10^{-7} \text{ кг/Кл}$ . Относительная погрешность амперметра  $\Delta I/I = 1,5\%$ .

3.129. В электролитической ванне с раствором нитрата серебра течет ток  $I = 4 \text{ мА}$ . Сколько атомов выделится на катоде за  $t = 1 \text{ с}$ ?

3.130. Аэростат вместимостью  $V = 300 \text{ м}^3$  нужно заполнить водородом при  $t = 27^\circ \text{C}$  и давлении  $p = 0,2 \text{ МПа}$ . Какое количество электричества нужно пропустить через раствор серной кислоты, чтобы получить требуемую массу водорода? Электрохимический эквивалент водорода  $k = 1,044 \cdot 10^{-8} \text{ кг/Кл}$ .

3.131. Вычислить наименьшую скорость электрона, необходимую для ионизации атомов гелия. Потенциал ионизации атома гелия  $\varphi = 24,5 \text{ В}$ .

3.132. Плотность тока насыщения в газоразрядной трубке  $j_n = 0,64 \text{ пА/м}^2$ , расстояние между электродами  $l = 10 \text{ см}$ . Какова концентрация  $n$  одновалентных ионов, возникающих ежесекундно для поддержания заданной плотности тока?

### 3.3. Магнетизм

**ПЗ.13.** На прямой проводник длиной  $l = 0,5 \text{ м}$ , расположенный перпендикулярно индукции  $\vec{B}$  однородного магнитного поля, при протекании по нему электрического тока действует сила  $F = 0,15 \text{ Н}$ . Найти величину максимального момента сил  $M$ , действующего на круговой контур, изготовленный из рассмот-

ренного провода, при протекании по нему аналогичного тока.

**Решение.** Исходя из определения магнитной индукции имеем:

$$B = M_{\max} / (IS) = F / (Il)$$

(здесь  $S = \pi(l/2\pi)^2$  – площадь контура).

$$\text{Откуда } M_{\max} = \frac{FS}{l} = \frac{Fl}{4\pi} = 6 \cdot 10^{-3} \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

**ПЗ.14.** Проводящий стержень массой  $m = 200$  г находится на горизонтальных рельсах, расстояние между которыми  $l = 1$  м. Вся система расположена в магнитном поле с индукцией  $\vec{B}$ , направленной вертикально ( $B = 0,5$  Тл), стержень перпендикулярен рельсам. При пропусканию по стержню тока  $I = 4$  А, он движется поступательно с ускорением  $a = 6$  м/с<sup>2</sup>. Определить коэффициент трения  $\mu$  между стержнем и рельсами.

**Решение.** Используя второй закон Ньютона при движении тела в горизонтальном направлении, закон сухого трения и закон Ампера имеем:  $F_A - F_{\text{тр}} = ma$ ,  $F_{\text{тр}} = \mu mg$  (так как нормальная реакция со стороны рельс  $N = mg$ ),  $F_A = BIl$ .

В результате:

$$\mu = \frac{BIl - ma}{mg} = 0,4.$$

**ПЗ.15.** Квадратная рамка помещена в однородное магнитное поле с магнитной индукцией  $B = 0,08$  Тл. Нормаль к плоскости рамки составляет с линиями индукции магнитного поля угол  $\alpha = 60^\circ$ . Определить длину стороны  $a$  рамки, если в рамке индуцируется ЭДС  $\varepsilon = 6$  мВ при исчезновении поля в течение времени  $\Delta t = 0,02$  с. Магнитным полем индукционного тока пренебречь.

**Решение.** Начальный поток через рамку  $\Phi_1 = BS \cos \alpha$  (здесь  $S = a^2$  – площадь рамки). Конечный поток  $\Phi_2 = 0$ . Изменение магнитного потока  $\Delta \Phi = \Phi_2 - \Phi_1 = -BS \cos \alpha$ . Тогда

$$\varepsilon = -\Delta \Phi / (\Delta t) = Ba^2 \cos \alpha / (\Delta t).$$

В результате  $a = \sqrt{\frac{\varepsilon \Delta l}{B \cos \alpha}} = 5,5 \text{ см.}$

3.133. Квадратная рамка с током помещена в однородное магнитное поле с индукцией  $B = 10^{-2} \text{ Тл}$  так, что две стороны рамки перпендикулярны к направлению  $\vec{B}$ , а нормаль к плоскости рамки образует с направлением  $\vec{B}$  угол  $\alpha = 30^\circ$ . Длина стороны рамки  $l = 1 \text{ см}$ , момент сил, действующих на рамку  $M = 10^{-7} \text{ Н}\cdot\text{м}$ . Найти силу тока  $I$  в рамке.

3.134. Тонкое кольцо радиусом  $R = 10 \text{ см}$  равномерно заряжено электрическим зарядом. Кольцо равномерно вращается с частотой  $\nu = 1200 \text{ об/мин}$  вокруг оси, проходящей через центр кольца перпендикулярно его плоскости. Определить заряд  $q$  на кольце, если в центре кольца индукция магнитного поля  $B = 3,8 \cdot 10^{-9} \text{ Тл}$ .

3.135. Два параллельных проводника длиной  $l = 5 \text{ м}$  каждый расположены на расстоянии  $b = 10 \text{ см}$  друг от друга. По проводникам пропускают одинаковые токи силой  $I = 30 \text{ А}$ . Определить силу взаимодействия  $F$  проводников.

3.136. Прямолинейный проводник, по которому идет ток силой  $I = 10 \text{ А}$ , помещен в однородное магнитное поле, индукция которого  $B = 0,3 \text{ Тл}$ . Угол между направлением тока и вектором  $\vec{B}$  равен  $\alpha = 30^\circ$ . С какой силой  $F$  действует магнитное поле на участок проводника длиной  $l = 0,4 \text{ м}$ .

3.137. Проводник длиной  $l = 0,2 \text{ м}$  и массой  $m = 1 \text{ кг}$  подвешен горизонтально на двух вертикальных пружинах. В окружающем проводник пространстве создается магнитное поле с индукцией  $\vec{B}$  ( $B = 1 \text{ Тл}$ ), перпендикулярной проводнику. Определить силу тока  $I$  через проводник, при которой он не будет растягивать пружины.

3.138. Электрон движется в вакууме со скоростью  $v = 3 \cdot 10^6$  м/с в однородном магнитном поле с индукцией  $B = 0,1$  Тл. Чему равна сила  $F$ , действующая на электрон, если угол между направлением скорости и линиями магнитной индукции равен  $\alpha = 90^\circ$ ?

3.139. Найти угловую скорость  $\omega$  обращения электрона по окружности, которую он описывает в однородном магнитном поле с индукцией  $B = 2 \cdot 10^{-2}$  Тл. Отношение заряда электрона к его массе  $e/m = 1,76 \cdot 10^{11}$  Кл/кг.

3.140. Электрон движется в однородном магнитном поле магнитная индукция которого  $B = 0,5$  Тл. Вектор скорости электрона перпендикулярен вектору  $\vec{B}$ . Сколько оборотов  $N$  сделает электрон за время  $t = 1$  с?

3.141. Частица с зарядом  $q = 1,6 \cdot 10^{-19}$  Кл движется в магнитном поле по окружности со скоростью  $v = 20$  м/с. Индукция магнитного поля  $B = 0,3$  Тл. Радиус окружности  $R = 10$  см. Найти энергию частицы  $W$ . Векторы  $\vec{B}$  и  $\vec{v}$  перпендикулярны.

3.142. Протон и  $\alpha$ -частица влетают в однородное магнитное поле перпендикулярно линиям магнитной индукции. Сравните радиусы окружностей, которые описывают частицы, если у них одинаковы: а) скорости; б) импульсы; в) энергии.

3.143. Электрон влетает в однородное магнитное поле со скоростью  $v = 10^6$  м/с под углом  $\alpha = 30^\circ$  к индукции  $\vec{B}$  ( $B = 10^{-3}$  Тл). Найти радиус  $R$  и шаг винтовой линии  $h$ , по которой будет двигаться электрон.

\*3.144. Определить ускорение  $a$  электрона, если его скорость равна  $v = 10^5 \text{ м/с}$  и направлена под углом  $\alpha = 60^\circ$  к векторам индукции магнитного поля  $\vec{B}$  и напряженности электрического поля  $\vec{E}$ , параллельным друг к другу ( $E = 10^3 \text{ В/м}$ ,  $B = 2 \cdot 10^{-2} \text{ Тл}$ ).

3.145. Однородное электрическое поле напряженностью  $E = 200 \text{ В/см}$  перпендикулярно к однородному магнитному полю с индукцией  $B = 2 \cdot 10^{-2} \text{ Тл}$ . В эти поля влетает электрон, вектор скорости которого перпендикулярен векторам  $\vec{B}$  и  $\vec{E}$ . Определить начальную скорость  $v$  электрона, при которой он будет двигаться прямолинейно в этих полях.

\*3.146. Электрон движется в однородном магнитном поле, индукция которого  $B = 1 \text{ Тл}$ , по окружности, радиус которой  $R = 10 \text{ см}$ . Параллельно вектору  $\vec{B}$  создается однородное электрическое поле, напряженность которого  $E = 100 \text{ В/м}$ . За какое время  $t$  кинетическая энергия электрона возрастет вдвое?

\*3.147. Электрон с начальной скоростью, равной нулю, ускоряется в однородном электрическом поле. Через время  $t = 10 \text{ нс}$  он попадает в магнитное поле с индукцией  $B = 10^{-7} \text{ Тл}$ . Вектор индукции  $\vec{B}$  перпендикулярен вектору напряженности электрического поля  $\vec{E}$ . Определить отношение нормального и тангенциального ускорений для указанного момента времени.

3.148. Магнитная индукция однородного магнитного поля  $B = 0,4 \text{ Тл}$ . Определите поток магнитной индукции  $\Phi$  через поверхность площадью  $S = 25 \text{ см}^2$ , если поверхность образует угол  $\alpha = 30^\circ$  с направлением вектора  $\vec{B}$ .

3.149. Проводник с током перемещается в магнитном поле, индукция которого равна  $B = 0,6 \text{ Тл}$ . Движение происходит перпендикулярно линиям индукции. Какая работа  $A$  совершается

при перемещении проводника на расстояние  $S = 0,5$  м, если его длина равна  $l = 0,2$  м, а сила тока  $I = 42$  А?

3.150. В однородном магнитном поле с индукцией  $B = 0,2$  Тл перпендикулярно направлению поля перемещается с постоянной скоростью  $v = 10$  см/с проводник длиной  $l = 10$  см. По проводнику течет ток силой  $I = 2$  А. Учитывая, что направление перемещения проводника перпендикулярно к направлению тока, определить работу  $A$  перемещения проводника за  $t = 5$  с движения и мощность  $P$ , затрачиваемую при перемещении.

3.151. Квадратная рамка со стороной  $a = 10$  см находится в однородном магнитном поле индукцией  $B = 0,2$  Тл и может вращаться вокруг оси  $OO'$  (рис.3.20). По контуру течет постоянный ток  $I = 3$  А. Определить работу  $A$ , совершенную при повороте рамки на  $180^\circ$ , если вначале плоскость рамки была перпендикулярна индукции магнитного поля и расположена так, как показано на рис.3.20.

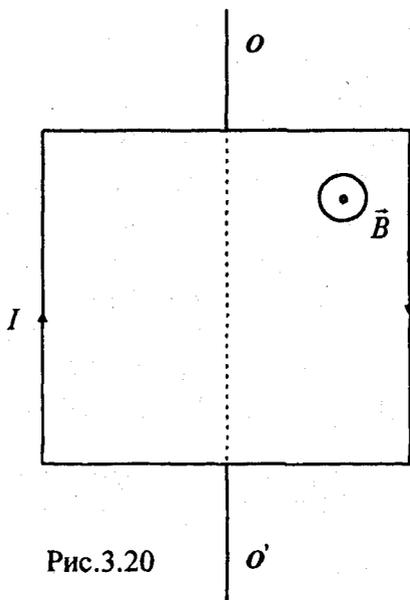


Рис.3.20

3.152. неподвижный виток площадью  $S = 20 \text{ см}^2$  расположен перпендикулярно к линиям индукции однородного магнитного поля. Какая ЭДС  $\mathcal{E}$  возникнет в витке, если магнитная индукция поля будет равномерно возрастать за время  $\Delta t = 0,02 \text{ с}$  от значения  $B_1 = 0,2 \text{ Тл}$  до значения  $B_2 = 0,6 \text{ Тл}$ ?

3.153. Квадратная проводящая рамка площадью  $S = 75 \text{ см}^2$  за время  $t = 5 \text{ мс}$  вносится в магнитное поле, индукция которого  $\vec{B}$  ( $B = 10^3 \text{ Тл}$ ) перпендикулярна плоскости рамки. Сопротивление рамки  $R = 1 \text{ Ом}$ . Определить среднюю силу индукционного тока  $I$ , возникающего в рамке.

3.154. В разрыв проволочного кольца радиусом  $R = 12 \text{ см}$  включен конденсатор емкостью  $C = 12 \text{ мкФ}$ . Кольцо расположено в однородном магнитном поле, силовые линии которого перпендикулярны плоскости кольца. Индукция магнитного поля равномерно изменяется со скоростью  $(\Delta B/\Delta t) = 5 \cdot 10^2 \text{ Тл/с}$ . Определите заряд  $q$  конденсатора

3.155. В магнитное поле с индукцией  $B = 0,3 \text{ Тл}$  помещена катушка, содержащая  $n = 200$  витков проволоки и имеющая сопротивление  $R = 30 \text{ Ом}$ . Площадь сечения катушки  $S = 12 \text{ см}^2$ . Катушка помещена так, что ее ось составляет с направлением магнитного поля угол  $\alpha = 60^\circ$ . Какое количество электричества  $q$  протечет по катушке при исчезновении магнитного поля.

3.156. Проволочный виток в виде окружности радиусом  $R = 0,1 \text{ м}$  находится в однородном магнитном поле, индукция которого  $B = 0,2 \text{ Тл}$ , и образует угол  $\varphi = 30^\circ$  с плоскостью витка. Какой заряд  $q$  пройдет по витку, если поле выключить? Площадь поперечного сечения проволоки  $S = 10^6 \text{ м}^2$ , удельное сопротивление  $\rho = 2 \cdot 10^8 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ .

3.157. Найти ЭДС индукции  $\varepsilon$  в проводнике длиной  $l = 0,2$  м, который перемещается перпендикулярно самому себе со скоростью  $v = 5$  м/с в однородном магнитном поле с индукцией  $B = 0,1$  Тл под углом  $\alpha = 30^\circ$  к направлению силовых линий. Проводник расположен перпендикулярно силовым линиям магнитного поля.

3.158. В магнитном поле, индукция которого равна  $B = 0,2$  Тл, вращается с постоянной частотой стержень длиной  $l = 10$  см. Ось вращения проходит через конец стержня и параллельна силовым линиям магнитного поля. Найти частоту вращения  $\nu$  стержня, если на его концах возникает ЭДС  $|\varepsilon| = 0,01$  В. Стержень расположен перпендикулярно линиям магнитного поля.

\*3.159. По двум медным шинам, установленным под углом  $\alpha$  к горизонту, скользит под действием силы тяжести медный брусок массы  $m$ . В окружающем шины пространстве создано однородное магнитное поле с индукцией  $\vec{B}$ , перпендикулярной к плоскости, в которой перемещается брусок. Вверху шины зашунтированы резистором с большим сопротивлением  $R$  (рис.3.21). Найти установившееся значение скорости бруска  $v$ . Коэффициент трения между шинами и бруском  $\mu$  ( $\mu < \operatorname{tg}\alpha$ ), расстояние между шинами  $l$ . Сопротивлением шин пренебречь.

3.160. Какую электродвижущую силу самоиндукции  $\varepsilon$  возбуждает в обмотке электромагнита изменение силы тока на  $\Delta I = 1$  А в течение времени  $\Delta t = 0,02$  с? Индуктивность обмотки  $L = 0,2$  Гн.

3.161. Определить время  $t$ , в течение которого в контуре, индуктивность которого  $L = 0,1$  Гн, при равномерном изменении тока на  $\Delta I = 0,2$  А возникает ЭДС самоиндукции  $\varepsilon = 4$  В.

3.162. В цепи имеется участок, содержащий сопротивление  $R = 1 \text{ Ом}$  (рис.3.22) и индуктивность  $L = 0,1 \text{ Гн}$ . Ток изменяется по закону  $I = 2t \text{ А}$ . Найти закон изменения разности потенциалов между точками А и Б.

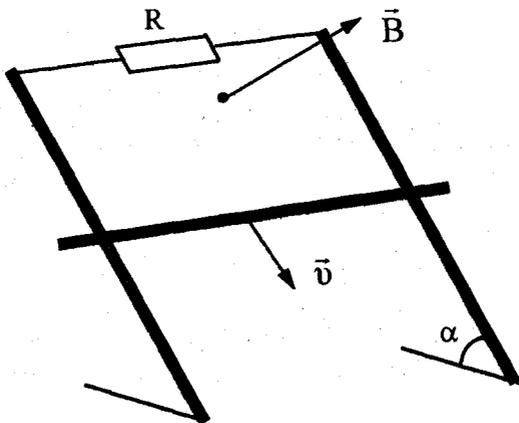


Рис. 3.21



Рис.3.22

3.163. По цилиндрической катушке, имеющей  $N = 120$  витков, течет ток  $I = 10 \text{ А}$ . При этом магнитный поток через один виток  $\Phi = 0,005 \text{ Вб}$ . Определить энергию магнитного поля  $W$  в катушке.

3.164. Определить индуктивность соленоида  $L$ , в котором при равномерном изменении силы тока на  $\Delta I = 4 \text{ А}$  энергия магнитного поля изменяется на  $\Delta W = 0,1 \text{ Дж}$ . Средняя сила тока в катушке  $I = 10 \text{ А}$ .

3.165. Конденсатор емкостью  $C = 2 \cdot 10^{-5} \text{ Ф}$ , заряженный до  $U = 500 \text{ В}$ , разряжается через катушку с индуктивностью  $L = 4 \text{ мГн}$  и сопротивлением  $R = 1 \text{ Ом}$ . Через некоторое время конденсатор разрядился до напряжения  $U_1 = 200 \text{ В}$ , а ток в катушке достиг  $I_1 = 10 \text{ А}$ . Какое количество теплоты  $Q$  выделилось к этому времени в катушке? Чему равна мощность  $P$  выделения тепла в конце процесса?

## 4. Колебания и волны

### 4.1. Механические колебания и волны

**П4.1.** На длинном нерастяжимом невесомом стержне длиной  $l$  подвешен шар массой  $M$ , который может совершать колебания вокруг положения равновесия. В неподвижный шар попадает пуля, скорость которой  $v = 500$  м/с и масса  $m = M/n$  ( $n = 1000$ ), и застревает в нем. Попадание пули приводит к отклонению шара от положения равновесия на угол  $\alpha = 10^\circ$ . Найти частоту колебаний шара. Размерами шара, трением в подвесе и сопротивлением воздуха пренебречь.

**Решение:** При ударе пули о шар выполняется закон сохранения импульса:  $mv = (M+m)u$  ( $u$  – скорость шара). Откуда  $u = v/(n+1)$ . Удар пули о шар приводит к изменению высоты шара на величину  $h$ , которую можно найти из закона сохранения энергии:

$$\frac{(m+M)u^2}{2} = (m+M)gh.$$

Используя оба закона, получаем  $h = v^2/((n+1)^2 2g)$ . Из геометрии следует (нарисуйте чертеж), что длина стержня  $l = h/(1-\cos\alpha) = v^2/((n+1)^2(1-\cos\alpha)2g)$ . Считая шар со стержнем математическим маятником, находим частоту колебаний:

$$\nu = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{l}} = \frac{g(n+1)\sqrt{1-\cos\alpha}}{\pi v \sqrt{2}} = 0,5 \text{ с}^{-1}.$$

**П4.2.** Жидкость налита в изогнутую трубку, колена которой перпендикулярны горизонтальной плоскости. Длина столбика жидкости  $l$ . Если вывести жидкость из положения равновесия, то начнутся колебания. Определить их период. Потерями энергии пренебречь.

**Решение:** Введем ось  $x$ , направленную вертикально вниз с началом на поверхности спокойной воды. Если смещение ее уровня равно  $x$ , то согласно второму закону Ньютона имеем

$$\rho g 2xS = -\rho l S a = -\rho l S x''$$

где  $\rho$  – плотность жидкости,  $S$  – площадь поперечного сечения трубки,  $a = x''$  – ускорение, с которым движется столбик жидкости. Сопоставляя с дифференциальным уравнением гармонических колебаний

$$x'' + \omega^2 x = 0$$

получаем

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi \sqrt{\frac{l}{2g}}$$

**П4.3.** Монохроматическая поперечная волна с длиной волны  $\lambda = 18$  м распространяется в направлении оси  $x$ . Период колебания частиц в волне  $T = 1$  с, амплитуда  $A = 4$  см. При  $x = 0$  и  $t = 0$  фаза волны и перемещение точки равны нулю. Найти скорость распространения волны, фазу и перемещение точки, отстоящей на  $x = 40$  м от источника колебаний, в момент времени  $t = 3$  с.

**Решение:** Уравнение монохроматической волны, распространяющейся вдоль оси  $x$  имеет вид:

$$y = A \sin \omega \left( t - \frac{x}{v} \right).$$

Скорость волны  $v = \lambda/T = 18$  м/с, а фаза

$$\varphi = \omega(t - x/v) = 2\pi(t - x/v)/T = 4,88 \text{ рад.}$$

Перемещение заданной точки  $y = 4 \cdot 10^{-2} \sin 4,88 = -3,94 \cdot 10^{-2}$  м.

4.1. Маятник представляет собой дырявое ведро, наполненное водой и прикрепленное к концу веревки. Будет ли меняться период колебаний маятника по мере вытекания воды? Массой ведра, его размерами, а также массой и деформацией веревки пренебречь.

4.2. Два математических маятника, длины которых отличаются на  $\Delta l = 16$  см, совершают в одном и том же месте за некоторое время один  $n_1 = 10$  колебаний, другой –  $n_2 = 6$ . Найти длины маятников  $l_1$  и  $l_2$ .

4.3. Два математических маятника одновременно начинают совершать колебания. При этом за время первых  $n_1 = 20$  колебаний первого маятника второй маятник сделает только  $n_2 = 10$  колебаний. Найти отношение длин этих маятников  $l_1/l_2$ .

4.4. Математический маятник, период колебаний которого в обычных условиях  $T = 1$  с, подвешен к потолку лифта, который поднимается с ускорением  $a = 2$  м/с<sup>2</sup>. Найти период колебаний  $T_1$  маятника в этом случае.

4.5. Найти период  $T$  полного колебания математического маятника длиной  $l$  (рис. 4.1), если точка перегиба нити  $C$  расположена на одной вертикали с точкой подвеса, на расстоянии  $l/2$  от нее.

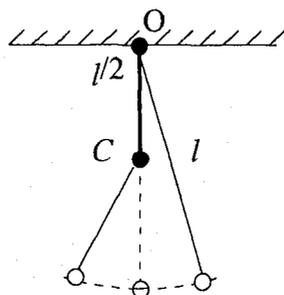


Рис.4.1.

4.6. Как изменится период колебаний математического маятника при переносе его с Луны на Землю? Масса Луны в 81 раз меньше массы Земли, а радиус Земли в 3,7 раза больше радиуса Луны.

4.7. Два математических маятника имеют периоды колебаний  $T_1$  и  $T_2$ . Определить период колебаний  $T$  маятника, длина которого равна сумме длин первых двух маятников.

4.8. Математический маятник на латунной нити при температуре  $t_0 = 0^\circ\text{C}$  имеет период колебаний  $T_0$ . На сколько времени  $\tau$  отстанут часы с таким маятником за сутки при температуре окружающей среды  $t_1 = 30^\circ\text{C}$ ? Коэффициент линейного расширения латуни  $\alpha = 0,000019\text{ K}^{-1}$ .

4.9. Шарик массы  $m$ , имеющий положительный заряд  $q$ , подвешен на тонкой нити длиной  $l$  внутри плоского конденсатора с горизонтально ориентированными пластинами. Напряженность электрического поля конденсатора равна  $E$ , силовые линии направлены вниз. Найти период колебаний  $T$  такого маятника.

4.10. К пружине подвешен груз массой  $m = 5$  кг. Учитывая, что под влиянием силы  $F = 5$  Н пружина растягивается на  $l = 4$  см, найти период  $T$  вертикальных колебаний груза.

4.11. Максимальная кинетическая энергия пружинного маятника  $E_{\text{км}} = 2$  Дж. Амплитуда колебаний  $A = 4$  см. Найти коэффициент жесткости пружины  $k$ .

4.12. Для того, чтобы удлинить пружину на  $x_1 = 5$  см, надо совершить на  $\Delta A = 0,12$  Дж больше работы, чем при сжатии этой же пружины на  $x_2 = 1$  см. Чему равен период колебаний  $T$  груза массой  $m = 250$  г, подвешенного на пружине?

4.13. Во сколько раз изменится период вертикальных колебаний груза, висящего на двух одинаковых пружинах, если от последовательного соединения пружин перейти к параллельному их соединению?

\*4.14. По середине горизонтально натянутой струны, длина которой  $l = 2$  м, закреплен шарик, имеющий массу  $m = 40$  г. Определить период малых вертикальных колебаний  $T$  шарика. Силу натяжения струны считать постоянной и равной  $F = 20$  Н.

\*4.15. Цилиндр, масса которого  $m = 10$  кг и площадь основания  $S = 0,01$  м<sup>2</sup>, свободно плавает в воде (плотность  $\rho = 10^3$  кг/м<sup>3</sup>). Его погрузили ниже положения равновесия и отпустили. Определить период свободных колебаний  $T$  цилиндра. Сопротивлением среды пренебречь.

\*4.16. В сквозной туннель, прорытый через центр Земли, бросили тело массой  $m$ . За какое время  $t$  это тело достигнет противоположной точки Земли? Радиус Земли –  $R_3 = 6,37 \cdot 10^6$  м, плотность Земли считать постоянной, сопротивлением воздуха пренебречь.

4.17. К потолку вагона на нити длиной  $l_1 = 1$  м подвешен небольшой шарик (математический маятник). При какой скорости вагона  $v$  шарик сильнее всего раскачивается под действием ударов колес о стыки рельсов? Длина рельса  $l = 25$  м.

4.18. Материальная точка совершает синусоидальные гармонические колебания с периодом  $T = 12$  с. Амплитуда колебаний  $A = 4$  см. Определите смещение точки  $x$  спустя  $t = 4$  с после начала колебаний. Начальная фаза равна  $\varphi_0 = \pi/3$ .

4.19. Уравнение колебаний маятника имеет вид  $x = 6 \cdot \sin(\omega t + \pi/2)$ , (м). Чему равна фаза колебаний  $\varphi$  в момент времени  $t = 1/2$  с, если период колебаний маятника  $T = 1$  с?

4.20. Запишите выражение для перемещения материальной точки, совершающей синусоидальные колебания с амплитудой  $A = 10$  см, если за время  $t_1 = 1$  мин совершается  $N = 60$  колебаний и начальная фаза колебаний  $\varphi_0 = \pi/4$ . Начертите график этого движения.

4.21. Запишите выражение для перемещения материальной точки, совершающей синусоидальные гармонические колебания, если максимальная сила, действующая на точку  $F_m = 2$  мН, ее полная энергия  $E = 4 \cdot 10^{-5}$  Дж, период колебания  $T = 2$  с и начальная фаза  $\varphi_0 = 30^\circ$ .

4.22. Уравнение колебаний тела описывается выражением  $x = A \sin(\omega t - \pi/2)$ . В какой момент времени  $t$  (в долях периода) смещение тела в первый раз после начала движения составит половину амплитудного значения?

4.23. Математический маятник отклонили на малый угол и отпустили с нулевой начальной скоростью. За какое время  $t$  угол его отклонения уменьшится вдвое? Длина нити маятника  $l = 1$  м.

\*4.24. Два малых шарика подвешены на нерастяжимых нитях одинаковой длины. Один из них поднимают до точки подвеса, второй – при натянутой нити отклоняют на малый угол так, что его колебания можно считать гармоническими. Шарик одновременно отпускают. Какой из них раньше достигнет нижнего положения?

4.25. Амплитуда незатухающих колебаний точки вдоль оси  $x$ :  $A = 0,5$  мм, частота  $\nu = 1$  кГц. Какой путь  $S$  пройдет точка за время  $t = 1$  мин?

4.26. Определить длину звуковой волны  $\lambda$  в стальном рельсе, вызываемой источником колебаний с частотой  $\nu = 200$  Гц, если скорость звука в стали равна  $v = 5000$  м/с.

4.27. Дорожный мастер, приложив ухо к рельсу, услышал звук начавшегося движения поезда, а через две секунды до него дошел гудок локомотива при отправлении. На каком расстоянии от станции отправления находился мастер? Скорость звуковых волн в воздухе и стали принять равными соответственно  $v_1 = 330$  м/с и  $v_2 = 5000$  м/с.

4.28. Рыболов заметил, что за время  $t = 10$  с поплавок совершил на волнах  $N = 20$  колебаний, а расстояние между соседними горбами волн  $l = 1,2$  м. Какова скорость распространения волн  $v$ ?

4.29. Плоская волна, возбуждаемая вибратором, колеблющимся согласно уравнению  $y = 0,2 \sin \omega t$ , (м), распространяется вдоль оси  $x$  со скоростью  $v = 10$  м/с. Запишите уравнение плоской волны.

4.30. Монохроматическая волна распространяется со скоростью  $v = 6$  м/с при частоте, равной  $\nu = 5$  Гц. Чему равна разность фаз  $\Delta\phi$  двух точек, отстоящих друг от друга на  $l = 20$  см?

4.31. Поперечная монохроматическая волна распространяется вдоль упругого шнура со скоростью  $v = 15 \text{ м/с}$ . Период колебаний точек шнура  $T = 1,2 \text{ с}$ , амплитуда колебаний  $A = 2 \text{ см}$ . Найти длину волны  $\lambda$ , фазу  $\varphi$  и перемещение точки  $y$ , отстоящей на  $x = 45 \text{ м}$  от источника колебаний, через  $t = 4 \text{ с}$ . При  $x = 0$  и  $t = 0$ ,  $y = 0$ .

## 4.2. Электромагнитные колебания и волны. Передача электроэнергии

**П4.4.** К батарее с напряжением  $U = 250 \text{ В}$  подсоединен конденсатор емкостью  $C = 600 \text{ нФ}$ , затем его мгновенно отсоединяют и подключают к катушке с индуктивностью  $L = 75 \text{ мГн}$ . Найти начальный заряд конденсатора, максимальную силу тока в контуре, частоту и период колебаний, полную энергию колебаний.

**Решение.** Начальный заряд конденсатора  $q_0 = CU = 1,5 \cdot 10^{-7} \text{ Кл}$ . При подключении конденсатора к катушке заряд на нем меняется с течением времени согласно уравнению  $q = q_0 \cos \omega t$ . Сила тока также совершает гармонические колебания:

$$i = \dot{q}_0 = -\omega q_0 \sin \omega t = i_0 \cos(\omega t + \pi/2),$$

поэтому максимальное значение силы тока

$$i_0 = \omega q_0 = q_0 / \sqrt{LC} = 22,4 \text{ мА}.$$

Согласно формуле Томсона период колебаний  $T = 2\pi\sqrt{LC} = 42,1 \text{ мкс}$ , а частота колебаний  $\nu = 1/T = 23,7 \text{ кГц}$ .

Полная энергия колебаний соответствует максимальной энергии электрического поля, сосредоточенного внутри конденсатора:

$$W = \frac{CU^2}{2} = 1,875 \cdot 10^{-5} \text{ Дж}.$$

**П4.5.** В сеть переменного тока с частотой  $\nu = 100 \text{ Гц}$  включены последовательно конденсатор емкостью  $C = 50 \text{ мкФ}$ , катушка индуктивности  $L = 200 \text{ мГн}$  и активное сопротивление  $R = 4 \text{ Ом}$ .

Найти действующее напряжение в сети, если амплитуда силы тока  $i_0 = 1,65$  А. При какой частоте сила тока достигнет максимального значения?

**Решение.** По закону Ома амплитуда напряжения  $U_0 = i_0 \sqrt{R^2 + (\omega L - 1/\omega C)^2}$ , поэтому, с учетом связи между действующим и амплитудным значением напряжения  $U_D = U_0/\sqrt{2}$  и соотношения  $\omega = 2\pi\nu$ , имеем

$$U_D = \frac{i_0 \sqrt{R^2 + (2\pi\nu L - 1/(2\pi\nu C))^2}}{\sqrt{2}} = 109,6 \text{ В.}$$

Сила тока достигнет максимального значения при резонансе:

$$\nu_p = 1/(2\pi\sqrt{LC}) = 50,35 \text{ Гц.}$$

4.32. В колебательном контуре без активного сопротивления индуктивность катушки увеличили в  $n_1 = 8$  раз, емкость конденсатора уменьшили в  $n_2 = 2$  раза. Как изменилась частота электромагнитных колебаний контура?

4.33. Во сколько раз изменится период электромагнитных колебаний в контуре, если к конденсатору контура присоединить параллельно еще один конденсатор, емкость которого в  $k = 8$  раз больше?

4.34. Какую индуктивность  $L$  надо включить в колебательный контур, чтобы при электроемкости  $C = 2$  мкФ получить колебания с периодом  $T = 10^{-3}$  с?

4.35. Входной контур радиоприемника состоит из катушки, индуктивность которой  $L = 2,0$  мГн, и плоского слюдяного конденсатора, площадь пластин которого  $S = 15$  см<sup>2</sup>. Расстояние между пластинами  $d = 2$  мм. Диэлектрическая проницаемость слюды  $\epsilon = 7,5$ . На какую частоту  $\nu$  настроен приемник?

4.36. Сила тока в колебательном контуре изменяется со временем по формуле  $I = 0,01 \cos \omega t$  (А). Найти индуктивность контура  $L$  и максимальное значение заряда на обкладках конденсатора  $q_0$ , если его емкость  $C$ .

4.37. Действующее напряжение на конденсаторе колебательного контура  $U_d = 80$  В, а его емкость  $C = 20$  нФ. Определить максимальные значения электрической  $W_{\text{э}}$  и магнитной энергии  $W_{\text{м}}$  в контуре (наличием активного сопротивления пренебречь).

4.38. Конденсатор емкостью  $C = 10$  мкФ зарядили до напряжения  $U_0 = 400$  В и подключили к катушке индуктивности. Какое количество теплоты  $Q$  выделится в контуре за время, в течение которого амплитуда колебаний уменьшается вдвое ( $k = 2$ )?

4.39. Радиоприемник настроен на прием радиоволн длиной  $\lambda = 25$  м. Во сколько раз надо изменить расстояние между пластинами плоского конденсатора, включенного в колебательный контур приемника, что он мог принимать радиоволну частотой  $\nu = 1,5$  МГц?

4.40. Определить длину волны  $\lambda$ , на которую настроен входной контур радиоприемника, если амплитуда заряда на обкладках конденсатора равна  $q_0 = 10^{-12}$  Кл, а амплитуда силы тока в контуре составляет  $I_0 = 10^{-5}$  А.

4.41. Найти частоту зеленого цвета излучения  $\nu$  с длиной волны  $\lambda = 500$  нм.

4.42. Электромагнитная волна распространяется в однородной среде со скоростью  $v = 1,5 \cdot 10^8$  м/с. Какую длину волны  $\lambda$  имеют электромагнитные колебания в этой среде, если их частота  $\nu = 1$  МГц?

4.43. Рамка площадью  $S = 200 \text{ см}^2$  имеет  $N = 200$  витков. Она вращается в однородном магнитном поле с индукцией  $B = 0,1 \text{ Тл}$ , причем период вращения  $T = 0,1 \text{ с}$ . Определить максимальное значение ЭДС  $\varepsilon$ , возникающей в рамке, если ось вращения перпендикулярна к линиям магнитной индукции.

4.44. Мгновенное значение ЭДС синусоидального тока для фазы  $\varphi = 30^\circ$  равно  $\varepsilon = 140 \text{ В}$ . Каково значение действующей ЭДС  $\varepsilon_{\text{д}}$ ?

4.45. На конденсатор, емкость которого  $C = 0,001 \text{ мкФ}$ , подается переменное напряжение, амплитудное значение которого  $U_{\text{м}} = 10 \text{ В}$ , а частота  $f = 50 \text{ Гц}$ . Найти амплитудное значение силы тока  $I_{\text{м}}$ .

4.46. На катушку, индуктивность которой  $L = 2 \text{ мГн}$ , подается переменное напряжение, амплитудное значение которого  $U_{\text{м}} = 12 \text{ В}$ , а частота  $f = 500 \text{ Гц}$ . Найти амплитудное значение силы тока  $I_{\text{м}}$ .

4.47. К катушке сопротивлением  $R = 2 \text{ Ом}$  и индуктивностью  $L = 0,4 \text{ Гн}$  приложено напряжение: а)  $U = 100 \text{ В}$  постоянного тока; б)  $U = 100 \text{ В}$  (действующее значение) переменного тока с частотой  $\nu = 50 \text{ Гц}$ . Найти силу тока в катушке в обоих случаях.

4.48. Последовательный контур  $-RCL$ , имеющий  $R = 20 \text{ Ом}$ ,  $C = 12 \text{ мкФ}$  и  $L = 40 \text{ мГн}$ , подключен к источнику переменного напряжения  $U = 100 \text{ В}$  (действующее значение) с частотой  $\nu = 500 \text{ Гц}$ . Рассчитайте силу тока  $I_{\text{д}}$  в цепи и показания вольтметра на каждом элементе цепи.

4.49. Электродпечь, имеющая сопротивление  $R = 20 \text{ Ом}$ , подключена к генератору переменного тока. Найти количество теплоты  $Q$ , выделяемое печью за  $t = 2 \text{ ч}$ , если амплитуда силы тока  $I_0 = 10 \text{ А}$ .

4.50. В сеть переменного тока с действующим напряжением  $U = 100 \text{ В}$  подключен кипятильник. При температуре  $t_0 = 20^\circ\text{C}$  сопротивление спирали  $R = 25 \text{ Ом}$ . Какая масса кипящей воды  $m$  превращается в пар за время  $\tau = 1 \text{ мин}$ ? Удельная теплота парообразования воды  $r = 2,3 \text{ МДж/кг}$ . Температурный коэффициент сопротивления спирали  $\alpha = 2 \cdot 10^{-2} \text{ К}^{-1}$ .

4.51. Эффективное напряжение в сети переменного тока равно  $U_{\text{д}} = 120 \text{ В}$ . Найти время  $\Delta t$ , в течение которого горит неоновая лампа в каждый полупериод, если лампа зажигается и гаснет при напряжении  $U = 84 \text{ В}$ .

4.52. В первичной обмотке трансформатора сила тока  $I_1 = 1 \text{ А}$ , напряжение на ее концах  $U_1 = 220 \text{ В}$ . Сила тока во вторичной обмотке трансформатора  $I_2 = 10 \text{ А}$ , напряжение на ее концах  $U_2 = 20 \text{ В}$ . Найти  $\eta$  – КПД трансформатора.

4.53. К первичной обмотке понижающего трансформатора с коэффициентом трансформации  $k = 6$  приложено переменное напряжение  $U_1 = 240 \text{ В}$ . Сопротивление вторичной обмотки  $r = 1 \text{ Ом}$ , ток в ней  $I = 4 \text{ А}$ . Найти напряжение  $U_2$  на зажимах вторичной обмотки и КПД трансформатора  $\eta$ .

4.54. Первичная обмотка трансформатора имеет  $\omega_1 = 10000$  витков провода и включена в сеть переменного тока с напряжением  $U_1 = 100 \text{ В}$ . Найти число витков вторичной обмотки  $\omega_2$ , если ее сопротивление  $r = 1 \text{ Ом}$ , напряжение на концах  $U_2 = 4 \text{ В}$ , а сила тока в ней  $I = 1 \text{ А}$ .

4.55. К первичной обмотке понижающего трансформатора подключен источник переменного напряжения с  $U_1 = 200 \text{ В}$ . Напряжение на зажимах вторичной обмотки  $U_2 = 16 \text{ В}$ , ее сопротивление  $r = 1 \text{ Ом}$ , ток в ней  $I = 4 \text{ А}$ . Найти КПД трансформатора  $\eta$  и коэффициент трансформации  $k$ .

## 5. Оптика и строение вещества

### 5.1. Оптика

**П.5.1.** Построить изображение светящейся точки  $O$  в системе из двух взаимноперпендикулярных плоских зеркал (рис.5.1).

**Решение:** Воспользуемся законом отражения света и найдем точки пересечения отраженных лучей. В результате получим три мнимых изображения точки  $O$  (рис.5.2).

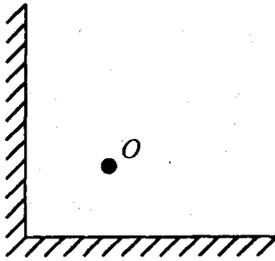


Рис.5.1

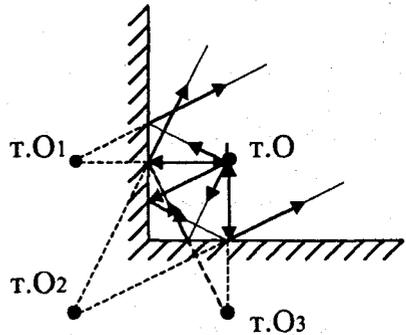


Рис.5.2

**П.5.2.** На нижнюю грань плоскопараллельной стеклянной пластины толщиной  $d = 7,5$  см нанесена царапина. На каком расстоянии от верхней грани пластинки  $h$  видит эту царапину наблюдатель, глядя на пластину сверху? Абсолютный показатель преломления стекла  $n = 1,5$ .

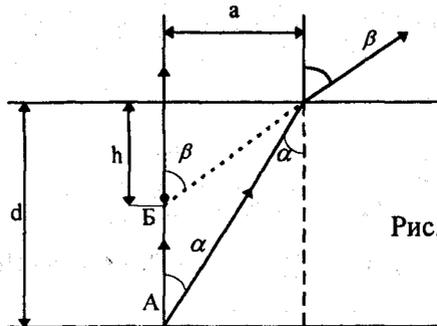


Рис.5.3

**Решение:** Царапина расположена в точке  $A$  (рис.5.3) нижней поверхности стеклянной пластинки. Построим изображение точки  $A$ , которое видит наблюдатель (углы  $\alpha$  и  $\beta$  считать малыми). Из построения можно сделать вывод, что точка  $B$  будет мнимым изображением точки  $A$ .

$$\text{Тогда } dtg \alpha = a = htg \beta.$$

Следовательно,  $h = dtg \alpha / tg \beta$  или с учетом малых углов  $h = d \sin \alpha / \sin \beta = d/n$ .

$$\text{В результате } h = \frac{7,5}{1,5} \text{ см} = 5 \text{ см}.$$

**П.5.3.** Лупа, ограниченная выпуклыми сферическими поверхностями радиусами  $R_1 = 5,9 \text{ см}$  и  $R_2 = 8,2 \text{ см}$ , «отодвигает» рассматриваемый предмет на  $l = 2 \text{ см}$ . Во сколько раз она его увеличивает? Показатель преломления стекла линзы  $n = 1,6$ .

**Решение:** Определим фокусное расстояние лупы

$$1/F = (n - 1) (1/R_1 + 1/R_2), \text{ или}$$

$$F = R_1 R_2 / ((n - 1) (R_1 + R_2)) = 5,7 \text{ см}.$$

Согласно формуле линзы  $1/F = 1/d - 1/f$ .

Откуда, учитывая  $f = d + l$ , находим  $F = d(d + l) / l$  или  $d^2 + dl - Fl = 0$ .

После расчетов имеем  $d = 2,5 \text{ см}$  и  $f = 4,5 \text{ см}$ , а, следовательно,  $k = f/d = 1,8$ .

**П.5.4.** На дифракционную решетку нормально к ней падает свет от разрядной трубки, наполненной гелием. На какую линию  $\lambda_1$  в спектре второго порядка  $k_1$  накладывается синяя линия гелия с длиной волны  $\lambda_2 = 4,46 \cdot 10^{-5} \text{ см}$  спектра третьего порядка  $k_2$ ?

**Решение:** При наложении спектров совпадают углы отклонения накладывающихся лучей, поэтому из условия максимума при дифракции на решетке имеем

$$d \sin \alpha = k_1 \lambda_1; \quad d \sin \alpha = k_2 \lambda_2,$$

где  $d$  – постоянная решетки.

В результате  $k_1 \lambda_1 = k_2 \lambda_2$ . Окончательно:

$$\lambda_1 = \frac{k_2 \lambda_2}{k_1} = 6,7 \cdot 10^{-7} \text{ м}.$$

5.1. Уличный фонарь висит на высоте  $H = 4$  м. Какой длины тень  $x$  отбросит палка высотой  $h = 1$  м, если ее установить вертикально на расстоянии  $l = 6$  м от основания столба, на котором укреплен фонарь?

5.2. Человек, рост которого  $h = 1,7$  м, идет со скоростью  $v = 1$  м/с в направлении к уличному фонарю. В некоторый момент времени длина тени человека была равна  $l_1 = 1,8$  м, а через  $t = 2$  с,  $l_2 = 1,3$  м. На какой высоте  $H$  висит фонарь?

5.3. Источник света в виде светящегося диска радиусом  $R = 0,3$  м подвешен на высоте  $H = 5$  м над полом. Под ним на высоте  $h = 1$  м от пола держат непрозрачный диск радиусом  $r = 0,1$  м. Определить радиус полной тени  $R_1$  и радиус полутени  $R_2$ . Плоскости дисков параллельны поверхности пола, а центры дисков расположены на одной вертикали.

5.4. Человек, стоящий перед плоским зеркалом, висящем на стене, отошел от него на расстояние  $l = 1$  м. На сколько изменится расстояние между человеком и его изображением?

5.5. У окна с двойными рамами стоит горящая свеча. В окне видны два ее изображения. На какое расстояние  $x$  удалены друг от друга эти изображения, если расстояние между стеклами рам  $l = 10$  см?

5.6. Увидит ли человек свое изображение в ситуации, показанной на рис.5.4.

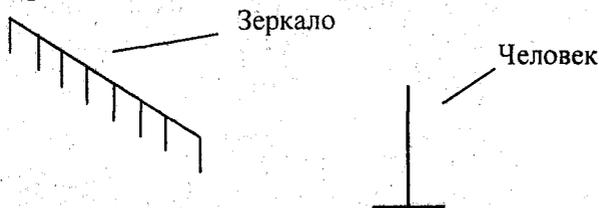


Рис.5.4

5.7. Человек смотрит на себя в параллельное ему зеркало, верхний край которого расположен на уровне его темени. Какова должна быть минимальная высота зеркала, чтобы человек видел себя во весь рост, равный  $L = 180 \text{ см}$ ?

5.8. Плоское зеркало со столом образует двугранный угол  $\alpha = 30^\circ$ . На столе, на расстоянии  $l = 20 \text{ см}$  от ребра двугранного угла лежит маленький предмет. Определить расстояние  $x$  между предметом и его изображением.

5.9. Луч света падает на систему из двух взаимно перпендикулярных зеркал в плоскости, перпендикулярной ребру двугранного угла, образованного зеркалами. Угол падения луча на первое зеркало  $\alpha = 25^\circ$ . Отражаясь от первого зеркала, луч падает на второе. Определить угол отражения луча от второго зеркала  $\beta$ .

5.10. Под каким углом  $\alpha$  к горизонту следует расположить плоское зеркало, чтобы осветить дно вертикального колодца отраженными от зеркала солнечными лучами? Солнечные лучи составляют с поверхностью Земли угол  $\beta = 30^\circ$ .

5.11. Луч, направленный горизонтально, падает на вертикальный экран. Когда на пути луча поместили небольшое зеркало, то светлое пятно на экране сместилось вверх на расстояние, равное расстоянию от зеркала до экрана. Найти угол падения луча на зеркало.

5.12. Плоское зеркало вращается вокруг горизонтальной оси, лежащей в плоскости зеркала. Луч света падает на зеркало под углом  $\alpha$  к нормали к плоскости зеркала. Падающий луч и нормаль находятся в плоскости, перпендикулярной оси вращения. На какой угол повернется отраженный луч, если зеркало повернется на угол  $\beta$ .

5.13. Плоское зеркало равномерно вращается вокруг оси, лежащей в плоскости зеркала. Вокруг той же оси, в ту же сторону

что и зеркало, вращается некоторый предмет. Угловая скорость вращения предмета вдвое больше скорости вращения зеркала. Как движется изображение предмета в зеркале?

5.14. Определите относительный показатель преломления  $n$  стекла относительно воды, если абсолютный показатель преломления стекла  $n_c = 1,5$ , а воды  $n_b = 1,34$ .

5.15. Как относятся показатели преломления двух жидкостей со слоями толщиной  $d_1 = 1,2$  см и  $d_2 = 1$  см, если время распространения луча в них одинаково?

5.16. Луч света переходит из воздуха в стекло, показатель преломления которого  $n = 1,5$ . Угол падения луча составляет  $\alpha = 60^\circ$ . Найти угол преломления  $\beta$ .

5.17. Луч света переходит из воздуха в воду, показатель преломления которой  $n = 1,33$ . Определить угол преломления луча  $\beta$ , если угол между преломленным и отраженным лучами равен  $90^\circ$ .

5.18. Солнечный луч падает на окно с двойными стеклами под углом  $\beta = 60^\circ$  к поверхности. Считая показатель преломления стекла  $n = 1,5$ , рассчитать угол преломления луча в первом и втором стекле. С чем связана неточность в определении угла преломления?

5.19. Часть столба, вбитого в реку, возвышается над водой  $h_1 = 1,5$  м. Определить длину тени столба на поверхности и на дне реки, если высота солнца над горизонтом  $\alpha = 40^\circ$ , а глубина реки  $h_2 = 3$  м. Показатель преломления воды  $n = 1,33$ .

5.20. На дне ручья лежит камешек. Мальчик хочет в него попасть палкой. Прицеливаясь, мальчик держит палку в воздухе под углом  $\alpha = 45^\circ$  к поверхности воды. На каком расстоянии  $l$

от камешка палка воткнется в дно ручья, если его глубина  $h = 32$  см? Показатель преломления воды  $n = 1,32$ .

5.21. Банка лежит в воде ( показатель преломления  $n = 1,33$  ) на глубине  $H = 1$  м. Будем смотреть на нее сверху по вертикали. На какой глубине  $h$  мы увидим банку?

5.22. Луч света попадает на стеклянную пластинку с параллельными гранями толщиной  $d = 5$  см и показателем преломления  $n = 1,5$ . Определить величину смещения луча, вышедшего из пластины. Угол падения  $\alpha = 30^\circ$ .

5.23. Пучок параллельных лучей света шириной  $b = 10$  см из стеклянной пластины выходит в воздух через ее плоскую грань. Определить ширину пучка  $d$  в воздухе, если угол падения лучей на границу стекло – воздух  $\alpha = 30^\circ$ , а показатель преломления стекла  $n = 1,5$ .

5.24. Найти преломляющий угол  $\alpha$  призмы из стекла с показателем преломления  $n = 1,6$ , если луч, падающий нормально на одну из ее граней, выходит вдоль другой.

5.25. Предельный угол полного внутреннего отражения светового луча в некоторой среде равен  $\alpha_n = 30^\circ$ . Определите показатель преломления  $n$  данной среды.

5.26. Лучи света выходят из жидкости в воздух. Угол полного внутреннего отражения этих лучей равен  $\alpha_n = 45^\circ$ . Определите скорость распространения света  $v$  в этой жидкости.

5.27. На дне озера, имеющего глубину  $H = 4$  м, находится точечный источник света. Найти минимальный радиус  $r$  пенопластового диска, плавающего на поверхности воды над источником, чтобы при аэро съемках нельзя было обнаружить этот источник света. Показатель преломления воды  $n = 1,33$ .

\*5.28. На шар радиусом  $R$ , изготовленный из материала с меньшим показателем преломления  $n_2$ , чем показатель преломления  $n_1$  окружающей среды, падает пучок параллельных лучей. Определить радиус светового пучка  $r$ , который может проникнуть в шар.

5.29. Построить изображение предмета в собирающей линзе (рис.5.5). Что произойдет, если половину линзы закрыть непрозрачным экраном?

5.30. Построить изображение точки  $S$  (рис.5.6).

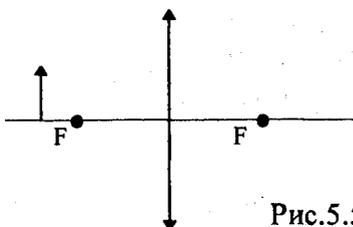


Рис.5.5

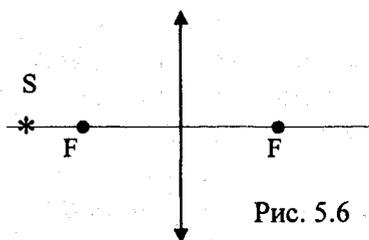


Рис. 5.6

5.31. На главной оптической оси собирающей линзы между фокусом и линзой расположен светящийся предмет. Определить построением положение изображения этого предмета. Расположение главных фокусов линзы задано.

5.32. На собирающую линзу падает световой луч не параллельный главной оптической оси. Определить построением ход луча после линзы. Положение главных фокусов задано.

5.33. На рассеивающую линзу падает световой луч не параллельный главной оптической оси. Определить построением ход луча после линзы. Положение главных фокусов задано (рис.5.7).

5.34. Построить изображение предмета (рис.5.8).

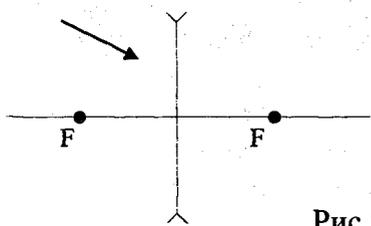


Рис.5.7

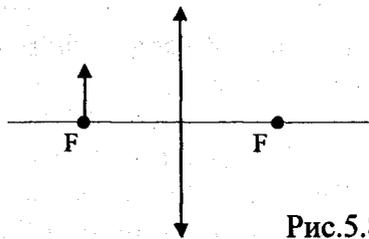


Рис.5.8

5.35. Построить ход верхнего луча после его прохождения через собирающую линзу. Известен ход нижнего луча в этой линзе (рис. 5.9).

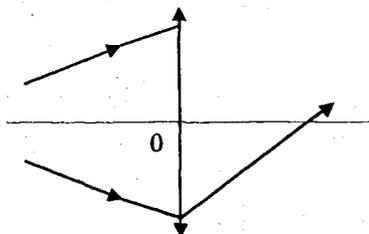


Рис. 5.9

5.36. Светящаяся точка  $A$  расположена перед рассеивающей линзой (рис.5.10), положение оптического центра  $O$  которой известно. Известен ход одного из лучей  $ABC$ . Построить ход второго луча  $AD$ .

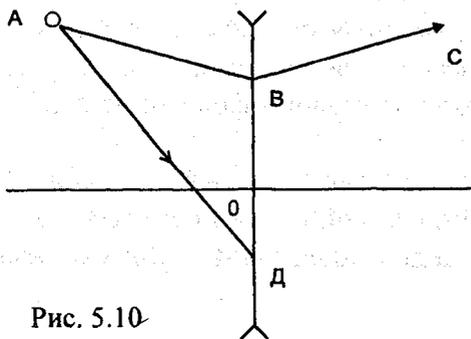


Рис. 5.10

5.37. Определить построением положение главных фокусов собирающей (рис.5.11, а) и рассеивающей (рис.5.11, б) линз.

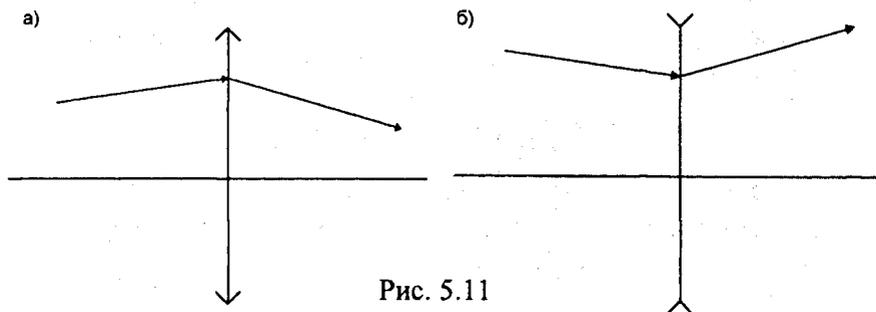


Рис. 5.11

5.38. Из стекла с показателем преломления  $n = 1,6$  изготовили двояковыпуклую линзу с одинаковыми радиусами кривизны обеих поверхностей. Оптическая сила линзы  $D = 2 \text{ дп}$ . Найдите радиусы кривизны поверхностей  $R$ .

5.39. Найдите фокусное расстояние  $F$  стеклянной линзы с оптической силой на воздухе  $D$ , если она погружена в воду. Показатель преломления стекла и воды соответственно  $n_c$  и  $n_v$ .

5.40. На каком расстоянии  $d$  от собирающей линзы надо поместить предмет, чтобы его изображение было в два раза меньше ( $k = 2$ ) предмета? Фокусное расстояние линзы  $F = 40 \text{ см}$ .

5.41. Определить, какого размера  $h$  получится на экране изображение предмета высотой  $H = 15 \text{ мм}$ , если его поместить на расстояние в  $k = 1,75$  раза больше, чем фокусное расстояние собирающей линзы.

5.42. На каком расстоянии  $f$  от рассеивающей линзы получится изображение предмета, если он находится на расстоянии, равном трем ( $k = 3$ ) фокусным расстояниям линзы  $F = 20$  см?

5.43. Предмет расположен в фокальной плоскости рассеивающей линзы. Во сколько раз линза уменьшает размеры предмета?

5.44. На сколько необходимо изменить расстояние между объективом фотоаппарата и фотопластинкой при переходе от съемки очень удаленных предметов к съемкам объекта, расположенного на расстоянии  $d$  от объектива? Главное фокусное расстояние объектива  $F$ .

5.45. Фотоаппарат, имеющий объектив с главным фокусным расстоянием  $F = 5$  см, заряжен фотопленкой с размером кадра  $3 \times 4$  см<sup>2</sup>. Требуется фотографировать чертеж, имеющий размер  $30 \times 30$  см<sup>2</sup>. На каком расстоянии от объектива следует поместить чертеж? Найти линейное уменьшение чертежа на фотопленке.

5.46. Определить увеличение диапозитива  $k$  с помощью проекционного фонаря с фокусным расстоянием объектива  $F$ , если экран удален от объектива на расстояние  $f$ .

5.47. Расстояние от предмета до экрана  $l = 105$  см. Тонкая линза, помещенная между ними, дает на экране увеличенное изображение предмета. Если линзу переместить на  $x = 32$  см, то на экране появляется уменьшенное изображение. Найти фокусное расстояние  $F$  линзы.

5.48. Расстояние от предмета до собирающей линзы и от линзы до изображения одинаковы и равны  $d_1 = f_1 = 0,5$  м. Во сколько раз увеличится изображение, если предмет поместить на расстоянии  $d_2 = 0,23$  м от линзы?

\*5.49. На каком расстоянии  $d$  от собирающей линзы надо поместить предмет, чтобы расстояние между предметом и его действительным изображением было минимальным? Фокусное расстояние линзы  $F$ .

5.50. Найти оптическую силу очков  $D$ , ликвидирующих недостаток глаз дальновзорного человека с расстоянием наилучшего зрения  $l = 1$  м (расстояние наилучшего зрения нормального глаза  $d = 0,25$  м).

\*5.51. На рассеивающую линзу падает сходящийся пучок лучей. После прохождения через линзу лучи пересекаются в точке, лежащей на главной оптической оси на расстоянии  $a = 15$  см от линзы. Если линзу убрать, то точка пересечения лучей приблизится на  $l = 5$  см к линзе. Определить оптическую силу линзы  $D$ .

\*5.52. Цилиндрический пучок лучей падает на рассеивающую линзу параллельно главной оптической оси, имея диаметр  $d = 5$  см. Пройдя через линзу, пучок дает на экране пятно диаметром  $d_1 = 7$  см. Каков будет диаметр светлого пятна  $d_2$ , если рассеивающую линзу заменить собирающей с тем же фокусным расстоянием?

5.53. Предмет движется по дуге окружности со скоростью  $v = 0,04$  м/с вокруг оси собирающей линзы в плоскости, перпендикулярной оси и отстоящей от линзы на расстоянии  $d = 60$  см. С какой скоростью  $v_1$  движется изображение предмета, если фокусное расстояние линзы  $F = 50$  см? Размерами предмета пренебречь.

\*5.54. Небольшая линза с фокусным расстоянием  $F$  подвешена в точке  $O$  на нитях так, что плоскость линзы горизонтальна и рас-

стояние от точки подвеса до центра линзы равно  $h$  ( $h > F$ ). Подвес отклоняют до горизонтального положения и отпускают. С какой скоростью  $v_1$  и ускорением  $a$  движется изображение точки  $O$  в линзе в момент, когда линза проходит нижнее положение?

\*5.55. Предмет находится на расстоянии  $d_1$  от собирающей линзы. Вплотную к линзе приложили другую (насадочную) линзу с оптической силой  $D$ . Каким будет новое расстояние  $d_2$  от линзы до предмета, чтобы положение изображения не изменилось?

\*5.56. Две тонкие одинаковые собирающие линзы с общей главной оптической осью и фокусным расстоянием  $F$  расположены на расстоянии  $a$  друг от друга. Предмет находится на расстоянии  $d$  от первой линзы. Найти положение изображения относительно линз и линейное увеличение системы.

5.57. При контактном способе печатания фотографии лампа располагается на расстоянии  $r_1$  от снимка, а экспозиция длится время  $t_1$ . Найти время экспозиции  $t_2$ , если заменить лампу с силой света  $I_1$  на другую с уменьшенной силой света  $I_2$  и поместить ее на более близкое расстояние  $r_2$  от снимка.

5.58. В некоторую точку пространства приходят когерентные лучи с оптической разностью хода  $\Delta = 2$  мкм. Определите, усилится или ослабится свет в этой точке, если в нее приходят: а) красные лучи с длиной волны  $\lambda_1 = 760$  нм; б) фиолетовые лучи с длиной волны  $\lambda_2 = 400$  нм.

5.59. Рассчитайте минимальную толщину пленки  $h$  (показатель преломления  $n = 1,3$ ), покрывающей плоскопараллельную пластину из стекла с целью устранения отражения зеленого света с длиной волны  $\lambda = 520$  нм (просветление оптики). Свет падает перпендикулярно поверхности стекла.

\*5.60. На прозрачную плоскопараллельную тонкую пластинку толщиной  $d$  под углом  $\alpha$  к поверхности пластины падает плоская световая волна с длиной  $\lambda$ . Получите условие максимума при интерференции лучей, отразившихся от верхней и нижней поверхности пластины (лучи сходятся после прохождения через собирающую линзу). Показатель преломления равен  $n$ .

5.61. Определить наибольший порядок  $k$  спектра для линии излучения с  $\lambda = 600$  нм, если постоянная дифракционной решетки  $d = 2$  мкм.

5.62. Найти число штрихов  $N$ , приходящихся на единицу длины дифракционной решетки, если линия ртути в спектре первого порядка наблюдается под углом  $\varphi$ .

5.63. При помощи дифракционной решетки с периодом  $d = 0,02$  мм на экране получен первый ( $k = 1$ ) дифракционный максимум на расстоянии  $l = 3,6$  см от центрального максимума и на расстоянии  $L = 1,8$  м от решетки. Определить длину световой волны  $\lambda$ .

5.64. Каков показатель преломления среды, если на пути длиной  $S = 2,4$  мм, проходимого лучом монохроматического света с частотой колебаний  $\nu = 5 \cdot 10^{14}$  Гц, укладывается  $N = 6000$  длин волн  $\lambda$ .

5.65. Энергия фотона равна кинетической энергии электрона, имевшего начальную скорость  $v_0 = 10^6$  м/с и ускоренного разностью потенциалов  $U = 4$  В. Найти длину волны фотона  $\lambda$ .

5.66. Найдите абсолютный показатель преломления среды  $n$ , в которой свет с энергией фотона  $E = 4,4 \cdot 10^{-19}$  Дж имеет длину волны  $\lambda = 300$  нм.

5.67. Определить наибольшую длину волны света, при которой может происходить фотоэффект для цезия. Работа выхода электронов из цезия  $A = 2 \text{ эВ}$ .

5.68. Определить работу выхода  $A$  электронов из катода фотоэлемента, если известно, что кинетическая энергия фотоэлектронов  $E = 5 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$ , а энергия кванта света, вырвавшего фотэлектрон, на 50% больше работы выхода электронов из катода.

5.69. При какой разности потенциалов между электродами в фотоэлементе прекратится электрический ток электронов, если катод освещается излучением с длиной волны  $\lambda = 0,4 \text{ мкм}$ ? Работа выхода электронов из катода  $A = 3,2 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$ . Определить полярность приложенной к электродам разности потенциалов.

5.70. Электроны, вырывающиеся с поверхности металла излучением, частота которого  $\nu_1 = 2 \cdot 10^{15} \text{ Гц}$ , полностью задерживаются электрическим полем при разности потенциалов  $U_1 = 7 \text{ В}$ . Какой разностью потенциалов  $U_2$  задерживаются электроны, вырывающиеся излучением с частотой  $\nu_2 = 4 \cdot 10^{15} \text{ Гц}$ ?

## 5.2. Строение вещества

**П.5.5.** Во сколько раз изменится релятивистский импульс частицы при увеличении ее скорости в  $k=3$  раза. Начальная скорость частицы равна  $v_1 = k_1 c \left( k_1 = \frac{1}{5} \right)$ ,  $c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$  – скорость света.

**Решение:** Релятивистский импульс частицы  $p = \frac{mv}{\sqrt{1 - (v/c)^2}}$ , где

$m$  – масса частицы.

Следовательно,  $p_2/p_1 = \frac{mv_2}{\sqrt{1-(v_2/c)^2}} / \frac{mv_1}{\sqrt{1-(v_1/c)^2}}$ , где  $v_1 = \kappa_1 c$ , а

$$v_2 = \kappa v_1 = \kappa \kappa_1 c.$$

$$\text{Отсюда } p_2/p_1 = \frac{v_2}{v_1} \sqrt{\frac{1-(v_1/c)^2}{1-(v_2/c)^2}} = \kappa \sqrt{\frac{1-\kappa_1^2}{1-(\kappa \kappa_1)^2}} = 3,7.$$

**П.5.6.** При переходе электрона в атоме водорода с четвертой стационарной орбиты на вторую излучается зеленая линия спектра. Определить длину волны этой линии.

**Решение.** Воспользуемся формулой для определения длины волны света  $\lambda$ , излучаемого атомом водорода при переходе электрона из одной орбиты на другую:

$$1/\lambda = R(1/n_1^2 - 1/n_2^2),$$

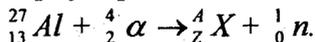
где  $R = 1,097 \cdot 10^7 \text{ м}^{-1}$  – постоянная Ридберга;  $n_1$  – номер орбиты, на которую переходит электрон,  $n_2$  – номер орбиты, с которой переходит электрон.

В нашей задаче  $n_1 = 2$ ,  $n_2 = 4$ . Следовательно,

$$\lambda = \frac{1}{R(1/n_1^2 - 1/n_2^2)} = \frac{1}{1,097 \cdot 10^7 (1/4 - 1/16)} = 4,86 \cdot 10^{-7} \text{ м}.$$

**П.5.7.** Определить неизвестный элемент, образующийся при бомбардировке ядер изотопов алюминия  ${}_{13}^{27}\text{Al}$   $\alpha$ -частицами, если известно, что один из продуктов реакции нейтрон.

**Решение.** Запишем ядерную реакцию:



По закону сохранения массовых чисел:  $27+4 = A+1$ . Отсюда массовое число неизвестного элемента  $A = 30$ . Аналогично по закону сохранения зарядов  $13+2 = Z+0$  и  $Z = 15$ .

Из таблицы Менделеева находим, что это изотоп фосфора  ${}_{15}^{30}\text{P}$ .

5.71. Полная энергия электрона в ускорителе  $E = 1,5 \text{ ГэВ}$ . На сколько скорость электрона  $v$  отличается от скорости света  $c$ ?

5.72. При какой скорости  $v$  кинетическая энергия частицы составляет половину ( $k = 1/2$ ) ее энергии покоя?

5.73. Солнце каждую секунду излучает энергию  $E = 3,6 \cdot 10^{26}$  Дж. На сколько уменьшается масса Солнца за сутки в результате излучения энергии?

5.74. Определить на сколько увеличилась масса электрона, прошедшего ускоряющую разность потенциалов  $U = 900$  В.

5.75. Для ионизации атома кислорода необходима энергия  $E = 14$  эВ. Найдите частоту  $\nu$  излучения, которое может вызвать ионизацию.

5.76. Найдите энергию  $E$  и импульс  $p$  фотона, если соответствующая ему длина волны равна  $\lambda = 3,2$  нм.

5.77. Лазер мощностью  $P = 10$  Вт испускает  $n = 10^{20}$  фотонов в секунду. Определить длину волны излучения  $\lambda$ .

5.78. При переходе электрона с некоторой орбиты  $n_2$  на вторую ( $n_1 = 2$ ) атом водорода испускает свет с длиной волны  $\lambda = 4,34 \cdot 10^{-7}$  м. Найти номер неизвестной орбиты.

5.79. Найти дефект массы  $\Delta m$  ядра изотопа лития  ${}^7_3\text{Li}$ . Масса ядра лития  $m = 11,6505 \cdot 10^{-27}$  кг, масса протона  $m_p = 1,67265 \cdot 10^{-27}$  кг, масса нейтрона  $m_n = 1,67495 \cdot 10^{-27}$  кг.

5.80. Найти энергию связи  $E$  ядра изотопа  ${}^{20}_{10}\text{Ne}$ . Масса ядра изотопа  $m = 33,1988 \cdot 10^{-27}$  кг. Массы протона и нейтрона смотрите в условии задачи 5.79.

5.81. Чем отличаются ядра изотопов хлора  ${}^{35}_{17}\text{Cl}$  и  ${}^{37}_{17}\text{Cl}$ ?

5.82. В атомном ядре число нейтронов превышает число протонов на  $k = 42$ . Определить порядковый номер элемента  $Z$  в периодической системе, если массовое число ядра  $A = 210$ .

5.83. Определить число нейтронов  $N$  в  $m = 300$  г воды.

5.84. Атомный реактор приводит в действие турбогенератор мощностью  $N = 2 \cdot 10^8$  Вт. Определить КПД  $\eta$  реактора, если в течение суток расход урана  ${}_{92}^{235}\text{U}$  составляет 0,54 кг. Считать, что при делении одного ядра урана выделяется  $E_1 = 3,2 \cdot 10^{11}$  Дж энергии.

5.85. Написать реакцию  $\beta$ -распада изотопа тория  ${}_{90}^{234}\text{Th}$ .

5.86. Одним из наиболее распространенных источников естественной радиации на Земле является изотоп  ${}_{19}^{40}\text{K}$ . Какое атомное ядро является конечным продуктом бета-распада  ${}_{19}^{40}\text{K}$ ?

5.87. В процессе радиоактивного распада  ${}_{93}^{237}\text{Np}$  (нептуний) превращается в  ${}_{91}^{233}\text{Pa}$  (протактиний). Какая радиоактивность при этом наблюдается?

5.88. При захвате ядром урана  ${}_{92}^{235}\text{U}$  нейтрона происходит деление этого ядра на два осколка. Одним из осколков является ядро стронция  ${}_{38}^{94}\text{Sr}$ . Определить количество нейтронов в ядре второго осколка.

5.89.  ${}_{56}^{145}\text{Ba}$  – один из осколков, образующихся при делении урана  ${}_{92}^{235}\text{U}$ . Найти другой осколок, если при делении испускается еще три нейтрона.

5.90. Сколько  $\alpha$ - и  $\beta$ -распадов испытывает  ${}_{92}^{238}\text{U}$ , превращаясь в конечном счете в изотоп  ${}_{82}^{206}\text{Pb}$ ?

## Ответы, указания и решения

Числовые значения совпадают с истинными в пределах приведенных значащих цифр, последняя из которых получена округлением. Нули, следующие за значащими цифрами, не указаны. Ускорение свободного падения взято равным  $g=9,81 \text{ м/с}^2$ . При округлении  $g$  до  $10 \text{ м/с}^2$  ответы могут отличаться на несколько процентов.

### Механика

- 1.1.  $S = S_1 + S_2 = 42 \text{ км};$   
 $\Delta r = \sqrt{S_1^2 + S_2^2} = 30 \text{ км}.$
- 1.2.  $S = S_1 + 2\pi R \cdot 1/4 + S_2 = 13,6 \text{ км};$   
 $\Delta r = \sqrt{(S_1 + R)^2 + (S_2 + R)^2} = 10,8 \text{ км}.$
- 1.3.  $S = S_1 + S_1 \cdot \cos(\pi - \alpha) = 18 \text{ км};$   
 $\Delta r = S_1 \cdot \sin(\pi - \alpha) = 10,4 \text{ км};$   
 $v_{-p} = \frac{S_1 + S_1 \cdot \cos(\pi - \alpha)}{t_1 + S_1 \cdot \cos(\pi - \alpha)/v} = 20 \text{ км/ч}.$

**Указание:** нарисуйте траекторию движения катера (см. Рис.6.1) и воспользуйтесь определениями понятий «путь», «перемещение» и «средняя скорость».

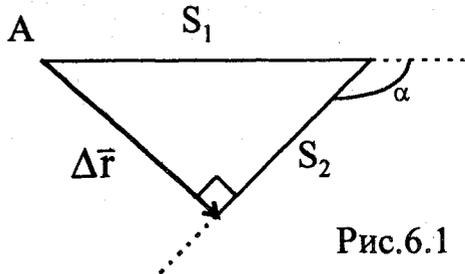


Рис.6.1

1.4.  $v_2 = \frac{S - v_1 t}{t} = 7,2 \text{ км/ч}.$

$$1.5. \quad v_m = l/t + \sqrt{(l/t)^2 + v^2} = 25,2 \text{ км/ч.}$$

$$1.6. \quad l = 300 \text{ м.}$$

$$1.7. \quad \Delta t = (2l/v) \frac{v_B^2}{v^2 - v_B^2} = 25,1 \text{ с.}$$

$$1.8. \quad v_p = \sqrt{v_{K2}^2 - v_{K1}^2} = 3 \text{ м/с.}$$

**Решение:** Правило сложения векторов скорости показано на рисунке 6.2. Предполагается, что река течет слева направо. Суммарная скорость катера  $\vec{v}_{K2}$  должна быть направлена под тупым углом к скорости реки  $\vec{v}_p$ .

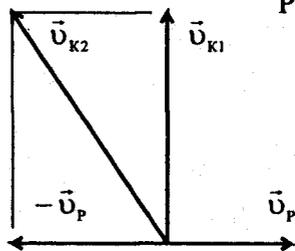


Рис.6.2

При этом одна из составляющих вектора  $\vec{v}_{K2}$ , равная  $-\vec{v}_p$ , компенсирует скорость реки, а вторая составляющая  $\vec{v}_{K1}$ , обеспечивает передвижение от берега к берегу. Из рисунка видно, что  $v_{K1}$ ,  $v_{K2}$  и  $v_p$  образуют прямоугольный треугольник, в котором  $v_{K1}$  и  $v_p$  катеты, а  $v_{K2}$  — гипотенуза. Поэтому  $v_p = \sqrt{v_{K2}^2 - v_{K1}^2}$ .

$$1.9. \quad v_k = 17,3 \text{ м/с.}$$

$$1.10. \quad v_{12} = \sqrt{v_1^2 + v_2^2 - 2v_1v_2 \cos \alpha} = 8,66 \text{ м/с.}$$

**Указание:** Воспользуйтесь законом сложения скоростей и теоремой косинусов.

1.11. 
$$v_{cp} = \frac{S_1 + v_2 t_2}{t_1 + t_2} = 47 \text{ км / ч.}$$

1.12.  $t_p \approx 10,6 \text{ мин.}$

1.13.  $v_{cp} = 2v_1 v_2 / (v_1 + v_2).$

1.14.  $v_{cp} = (v_1 + v_2) / 2.$

1.15.  $v_1 = v_{cp} \cdot (1 + k) / 2 = 15 \text{ м/с};$   
 $v_2 = v_{cp} \cdot (1 + k) / (2k) = 10 \text{ м/с.}$

1.16. См. Рис.6.3.

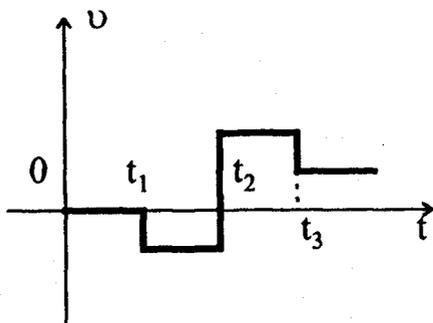


Рис.6.3

1.17. См. рис.6.4.

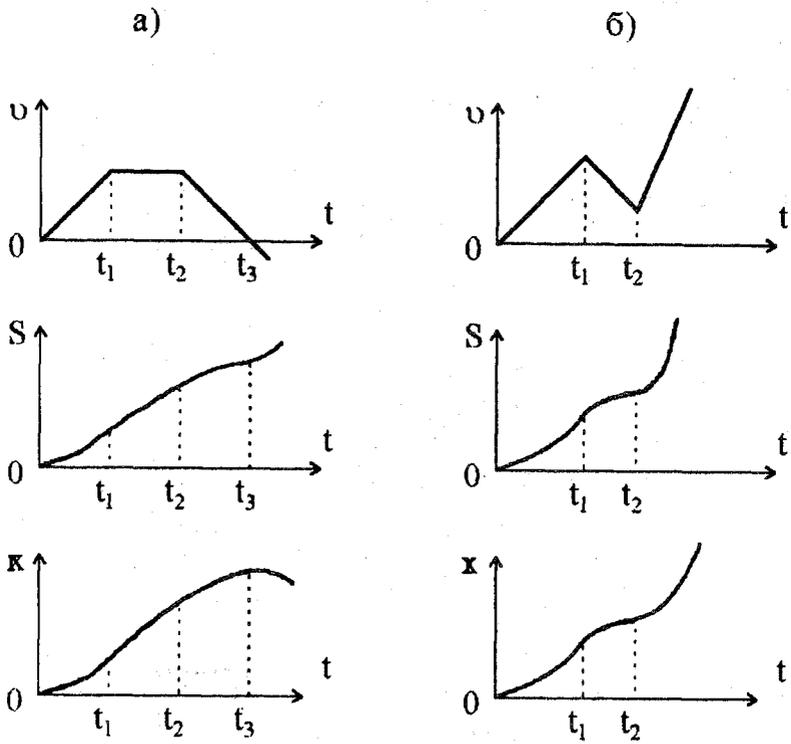


Рис.6.4

1.18. См. рис. 6.5.

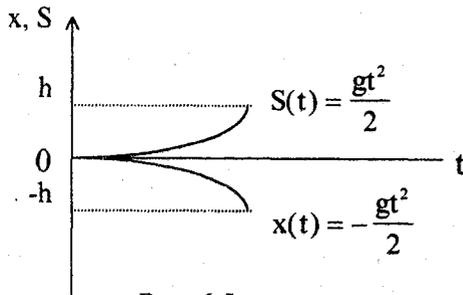


Рис. 6.5

1.19. См. рис. 6. 6.

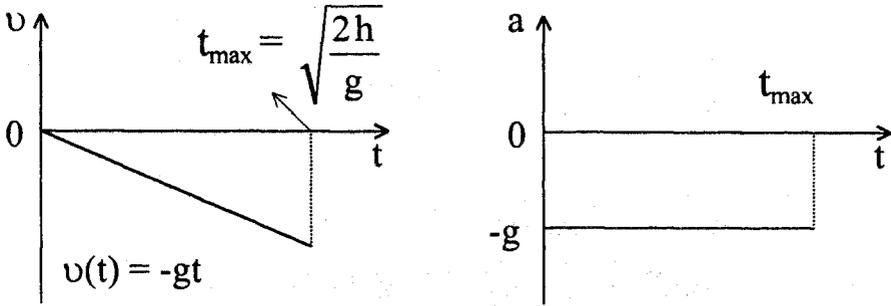


Рис. 6.6

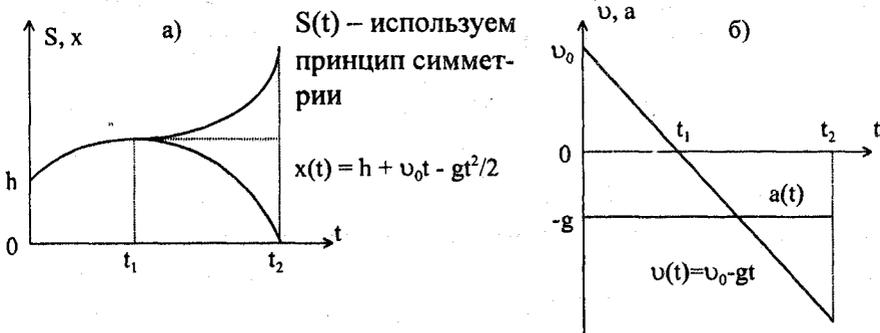


Рис. 6.7

1.20. См. рис. 6.7 а) и б).

1.21.  $v_0 = b = 6 \text{ м/с}$ ,  $v = x_1' = b + 2ct = 10 \text{ м/с}$ ;  
 $a = 2c = 2 \text{ м/с}^2$ .

1.22.  $a = 2 \text{ м/с}^2$ ;  $S = 25 \text{ м}$ .

1.23.  $a = -1 \text{ м/с}^2$ ;  $S = 50 \text{ м}$ .

1.24.  $l = 225 \text{ м}$ .

1.25.  $S = 36 \text{ м.}$

1.26.  $t = \frac{v_2 - v_1}{a_1} \left[ 1 + \sqrt{1 + \frac{2/a_1}{(v_2 - v_1)^2}} \right] = 10 \text{ с.}$

1.27.  $a_2 = \frac{2S}{t^2} + a_1 = 5 \text{ м/с}^2.$

**Решение:** За время  $t$  первый и второй автомобили проходят расстояния  $S_1 = \frac{a_1 t^2}{2}$  и  $S_2 = \frac{a_2 t^2}{2}$ . Второй автомобиль догонит первый, если  $S_2 - S_1 = S$ . Подставляя в последнее равенство выражение  $S_1$  и  $S_2$ , находим

$$a_2 = \frac{2S}{t^2} + a_1.$$

1.28.  $v_2 = 2v_1 = 20 \text{ м/с.}$

**Решение:** за время  $t$ , в течение которого автомобиль догонит велосипедиста, они проедут путь  $S = v_1 t = \frac{at^2}{2}$ . Откуда  $a = \frac{2v_1}{t}$ .

Так как скорость автомобиля в момент времени  $t$  равна  $v_2 = at$ , получим  $v_2 = 2v_1$ .

1.29.  $v_k/v_c = \sqrt{2}.$

1.30.  $S = 0,33 \text{ м.}$

1.31.  $S = 40,5 \text{ м.}$

1.32.  $S = 225 \text{ м.}$

**Решение:**

а) путь пройденный телом, равен площади фигуры под графиком скорости от времени (Рис.6.8).

Следовательно, вычислив площадь треугольника, определим путь  $S = (v/a + t)$

$$v/2 = 225 \text{ м.}$$

$$\text{б) } S = S_1 + S_2 = v^2/2a + [vt - (v/t)(t^2/2)] = v^2/2a + vt/2 = 225 \text{ м.}$$

$$1.33. \quad v_{\text{cp}} = at/(2 - k) = 16,4 \text{ м/с.}$$

$$1.34. \quad v_0 = (2h - gt^2)/(2t) = 15 \text{ м/с.}$$

$$1.35. \quad h = 80,4 \text{ м; } v = 30,4 \text{ м/с.}$$

$$1.36. \quad h = [(k^2 - 1)/k^2] (v^2_0/2g).$$

$$1.37. \quad S = g/2 \cdot [(\sqrt{2h/g} - 1)^2 - (\sqrt{2h/g} - 2)^2] = 34,8 \text{ м.}$$

$$1.38. \quad h = g[t_k/2 + h_k/(gt_k)]^2/2 = 347 \text{ м.}$$

$$1.39. \quad S = \frac{gt^2_2(1 + \sqrt{1 - k})^2}{2k^2} = 57,2 \text{ м.}$$

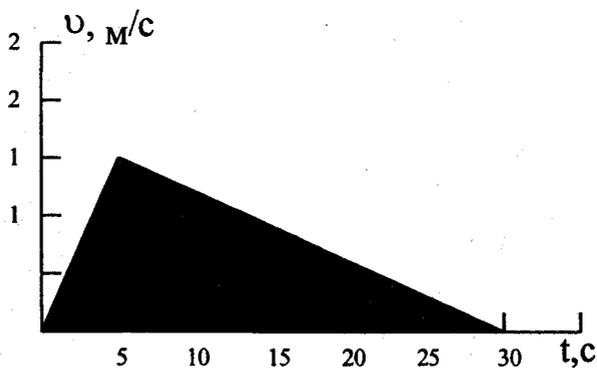


Рис.6.8

**Решение:** Общий путь, пройденный телом  $S = gt^2/2$ , откуда общее время полета  $t = \sqrt{2S/g}$ . Начальный участок пути  $S_1 = S - kS = S(1 - k)$ . В этом случае время движения по начальному участку пути  $t_1 = \sqrt{\frac{2S_1}{g}} = \sqrt{\frac{2S(1 - k)}{g}}$ .

Из условия  $t_2 = t - t_1$  имеем:  $t_2 = \sqrt{\frac{2S}{g}} - \sqrt{\frac{2S(1 - k)}{g}} = \sqrt{\frac{2S}{g}} (1 - \sqrt{1 - k})$ , отсюда  $S = \frac{gt_2^2}{2(1 - \sqrt{1 - k})^2} = \frac{gt_2^2(1 + \sqrt{1 - k})^2}{2k^2} = 57,2 \text{ м.}$

1.40.  $S_n - S_{n-1} = 9,81 \text{ м.}$

1.41.  $v_0 = [(h_2 - h_1)/(2h_1)] \sqrt{2gh_1}$ .

1.42.  $v = l \sqrt{\frac{g}{2h}} = 22,2 \text{ м/с.}$

1.43.  $h = v_0^2 \operatorname{tg}^2 \alpha / 2g = 15,3 \text{ м.}$

1.44.  $l = h/2 = 10 \text{ м.}$

1.45.  $t = 2v_0 \sin \alpha / g = 61,2 \text{ с; } S = (v_0^2/g) \sin 2\alpha = 31,8 \text{ км.}$

**Решение:** Запишем выражения для величины горизонтальной и вертикальной составляющей вектора скорости снаряда в начальной момент времени:

$$v_{0x} = v_0 \cos \alpha \text{ и } v_{0y} = v_0 \sin \alpha.$$

Уравнение движения снаряда по горизонтали  $S = v_{0x}t$  (силой сопротивления воздуха пренебрегаем), по вертикали  $h = v_{0y}t - gt^2/2$ .

При падении снаряда  $h=0$ , поэтому  $t = 2v_{0y}/g = 2v_0 \sin \alpha/g$ ;

В результате  $S = v_{0x}t = 2v_{0x}v_{0y}/g = (2v_0^2/g) \sin \alpha \cos \alpha = (v_0^2/g) \sin 2\alpha$ .

$$1.46. \quad v_0 = gt / \sqrt{k^2 - 1} = 6,94 \text{ м/с.}$$

$$1.47. \quad h = gt^2/8 = 4,9 \text{ м.}$$

$$1.48. \quad v_{\Gamma} = gt \cdot \text{ctg} \alpha = 29,4 \text{ м/с.}$$

$$1.49. \quad t = \sqrt{\frac{2l \cdot \text{tg} \alpha}{g}} = 3 \text{ с.}$$

**Решение:** Расстояние, которое пролетел диск  $l = v_{\Gamma} t$ , где  $v_{\Gamma}$  – горизонтальная составляющая скорости диска. Так как угол, под которым диск был брошен относительно горизонта,  $\alpha = 45^\circ$ , то вертикальная и горизонтальная скорости диска равны:  $v_{\text{в}} = v_{\Gamma}$ . Поскольку время подъема диска равно времени его падения, то  $v_{\text{в}} = gt/2$ . Подставляя выражение для  $v_{\text{в}}$  в формулу для расстояния  $l$ , находим  $l = gt^2/2$ . Откуда  $t = \sqrt{2l/g} = 3 \text{ с.}$

$$1.50. \quad R_1 = (v_0^2 \cos^2 \alpha) / g = 2,55 \text{ м}; \quad R_2 = \frac{v_0^2}{g \cdot \cos \alpha} = 20,4 \text{ м.}$$

**Решение:** В верхней точке подъема мяч имеет только горизонтальную составляющую вектора начальной скорости (движение вдоль горизонта равномерное), то есть центростремительное ускорение равно  $a_{\text{ц}} = \frac{v_0^2 \cdot \cos^2 \alpha}{R_1}$ . Исходя из того, что в верхней точке подъема  $a_{\text{ц}} = g$ , имеем  $R_1 = (v_0^2 \cos^2 \alpha) / g = 2,55 \text{ м.}$  В точке падения на землю  $v = v_0$ , а  $a_{\text{ц}} = g \cos \alpha$ . Поэтому  $R_2 = \frac{v_0^2}{g \cos \alpha} = 20,4 \text{ м.}$

$$1.51. \quad h = l [\text{tg} \alpha - gl / 2v_0^2 \cos^2 \alpha] = 7,93 \text{ м};$$

$$v = \sqrt{v_0^2 + \frac{g^2 l^2}{v_0^2 \cos^2 \alpha} - 2gl \cdot \text{tg} \alpha} = 15,6 \text{ м/с.}$$

$$1.52. \quad v_0 = \frac{\sqrt{8gh + g^2 t^2}}{2 \sin \alpha} = 32,2 \text{ м/с}; \quad l = \frac{8h + gt^2}{2tg\alpha} = 91,6 \text{ м.}$$

$$1.53. \quad t = \sqrt{v_1 v_2} / g = 1,22 \text{ с.}$$

$$1.54. \quad H = 2v(v_1 \cos \alpha - v) \operatorname{tg}^2 \alpha / g.$$

$$1.55. \quad \vec{v}_r = -\vec{v}_B.$$

$$1.56. \quad v = 2\pi v l = 25,1 \text{ м/с.}$$

$$1.57. \quad v = 1,2 \text{ Гц.}$$

$$1.58. \quad v = \frac{2\pi}{T} R_3 \cos \alpha = 233 \text{ м/с}; \quad T = 24 \text{ ч.}$$

$$1.59. \quad \text{а) } a_1/a_2 = 2; \quad \text{б) } a_1/a_2 = 0,5.$$

$$1.60. \quad R = \frac{v_0 l}{v_0 - v} = 1,8 \text{ м}; \quad a_n = v_0(v_0 - v)/l = 20 \text{ м/с}^2.$$

$$1.61. \quad v_0/v_m = 15.$$

$$1.62. \quad N = v \sqrt{2h/g} = 20 \text{ об.}$$

$$1.63. \quad v = 2\pi(R_3 + h)/T = 463,7 \text{ м/с}; \quad T = 24 \text{ ч.}$$

Направление полета с востока на запад.

$$1.64. \quad v = \pi d \frac{N_1}{N_2} v = 5,86 \text{ м/с.}$$

**Указание:** Количество зубьев и частота вращения для ведущего зубчатого колеса и ведомого колеса связаны соотношением  $N_1 v_1 = N_2 v_2$ .

$$1.65. \quad v = \frac{4\pi^2 v^2 l - a}{2\pi v} = 3,73 \text{ м/с.}$$

$$1.66. \quad \Delta r = \frac{\sqrt{2} at^2}{4\pi^2 N^2} = 0,287 \text{ м; } S = \frac{att_1}{2\pi N} = 4,78 \text{ м.}$$

**Указание:** За 15 с точка проходит 3,75 окружности, т.е. перемещение составляет  $\sqrt{2} R$ .

$$1.67. \quad F = 10^4 \text{ Н.}$$

**Указание:** Горизонтальная сила, действующая на поверхность трассы, по 3 закону Ньютона равна силе, разгоняющей автомобиль.

$$1.68. \quad m_1 = m \frac{a_2}{a_2 - a_1} = 55 \text{ т; } m_2 = m \frac{a_1}{a_2 - a_1} = 50 \text{ т.}$$

$$1.69. \quad \frac{a_a}{a_k} = \frac{F_a M}{F_k m} = 2.$$

$$1.70. \quad F = 10^4 \text{ Н.}$$

$$1.71. \quad P = 35,4 \text{ Н.}$$

$$1.72. \quad P = 547 \text{ Н.}$$

$$1.73. \quad F_c = F_T - m v / t = 1,5 \cdot 10^5 \text{ Н.}$$

$$1.74. F_c = m [g - v^2/(2h)] = 1,81 \text{ H.}$$

$$1.75. x = \mu mg/k = 0,039 \text{ м.}$$

$$1.76. a = (\sqrt{F_1^2 + F_2^2} - \mu mg)/m = 3,04 \text{ м/с}^2.$$

$$1.77. F = m (\sqrt{2gh/t + g}) = 3,97 \cdot 10^5 \text{ H.}$$

$$1.78. m = 2(M - F/g) = 122 \text{ кг.}$$

$$1.79. F_c = m \sqrt{a^2 - g^2} = 5 \text{ H.}$$

$$1.80. T = m \sqrt{a^2 + g^2} = 2,94 \text{ H}; \alpha = \arctg \frac{a}{g} = 1,2^\circ.$$

$$1.81. \text{ а) } T = mg - \mu F_1 = 166 \text{ H}; \text{ б) } T = mg + \mu F_1 = 226 \text{ H.}$$

$$1.82. a = (F \cdot \cos \alpha - F_{\text{тр}})/m = 0,6 \text{ м/с}^2. F_{\text{тр1}} = F \cos \alpha = 50 \text{ H.}$$

$$1.83. \text{ а) } a = \frac{F \cdot \cos \alpha - \mu(mg - F \cdot \sin \alpha)}{m} = 3,6 \text{ м/с}^2;$$

$$\text{ б) } a = \frac{F \cdot \cos \alpha - \mu(mg + F \cdot \sin \alpha)}{m} = 3,1 \text{ м/с}^2.$$

$$1.84. a = \frac{F \cos \alpha - mg - \mu F \sin \alpha}{m} = 3,5 \text{ м/с}^2.$$

$$1.85. F_1 = mg \cdot \sin \alpha = 33,9 \text{ H}; F_2 = mg \cdot \cos \alpha = 19,6 \text{ H.}$$

- 1.86. а)  $F_{\text{тр}} = mg \cdot \sin \alpha = 9,81 \text{ Н}$   
 (т.к.  $mg \cdot \sin \alpha < \mu mg \cdot \cos \alpha$  и скорость тела равна нулю);  
 б)  $F_{\text{тр}} = \mu mg \cdot \cos \alpha = 6,80 \text{ Н}$   
 (т.к.  $mg \cdot \sin \alpha > \mu mg \cdot \cos \alpha$  и тело перемещается).
- 1.87.  $\mu = \operatorname{tg} \alpha_1 = 0,58$ ,  $F_{\text{тр}} = mg \sin \alpha_2$ ,  $\alpha_1 > \alpha_2$ .
- 1.88.  $F = mg(\sin \alpha + \mu \cos \alpha) = 1,04 \cdot 10^3 \text{ Н}$ .
- 1.89.  $a = \frac{F \cdot \cos \alpha + mg \cdot \sin \alpha - \mu(mg \cdot \cos \alpha - F \cdot \sin \alpha)}{m} = 5,1 \text{ м/с}^2$ .
- 1.90.  $\mu_2 = (\operatorname{tg} \alpha - k\mu_1)/(1 - k) = 0,62$ .
- 1.91.  $\mu = \operatorname{tg} \alpha \cdot (k^2 - 1)/(k^2 + 1) = 0,15$ .
- 1.92.  $T = 2 \cdot 10^3 \text{ Н}$ .
- 1.93.  $T_1 = T_2 \frac{m_1 + m_2}{m_2} = 15 \text{ Н}$ .
- 1.94.  $S = g \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} \cdot t^2 = 5 \text{ м}$ ;  $T = \frac{2m_1 m_2 g}{m_1 + m_2} = 14,7 \text{ Н}$ .
- 1.95.  $a = g \cdot 1/4 = 2,45 \text{ м/с}^2$ ;  $T = mg \cdot 3/4 = 7,36 \text{ Н}$ .
- 1.96.  $a = F/4m$ ;  $F_3 = F/4$ ;  $F_2 = F/2$ ;  $F_1 = 3F/4$ .
- Решение:** Согласно второму закону Ньютона:  $F - F_1 = m_1 a$ ;  $F_1 - F_2 = m_2 a$ ;  $F_2 - F_3 = m_3 a$ ;  $F_3 = m_4 a$ . Ускорения всех брусков одинаковы (единая система) и равны  $a = F/4m$ . Решая систему уравнений получаем:  $F_3 = F/4$ ;  $F_2 = F/2$ ;  $F_1 = 3F/4$ .

$$1.97. \quad m_2/m_1 \neq \sin\alpha - \mu \cos\alpha.$$

$$1.98. \quad a_1 = 2 \frac{2m_1 - m_2}{4m_1 + m_2} g = 1,57 \text{ м/с}^2; \quad a_2 = \frac{2m_1 - m_2}{4m_1 + m_2} g = 0,78 \text{ м/с}^2;$$

$$T = \frac{3m_1 m_2}{4m_1 + m_2} g = 14,8 \text{ Н.}$$

**Указание:** Из кинематики следует, что ускорение груза  $m_2$  в два раза меньше ускорения груза  $m_1$ , т.к. при перемещении груза  $m_1$  на расстояние  $l$  груз  $m_2$  перемещается на расстояние  $l/2$ . Следует также учесть, что со стороны нити к грузу  $m_1$  приложена сила  $T$ , а к грузу  $m_2$  —  $2T$ , направленные вертикально вверх.

$$1.99. \quad F = (\mu_1 + \mu_2)(m_1 + m_2)g = 24,5 \text{ Н.}$$

$$1.100. \quad F = mg/(k + 1)^2 = 307 \text{ Н.}$$

$$1.101. \quad h = R_3(\sqrt{2} - 1) = 2,64 \cdot 10^6 \text{ м.}$$

$$1.102. \quad x = \frac{k_1 R_3}{\sqrt{k_2 + 1}} = 6R_3.$$

$$1.103. \quad v = v_3 \sqrt{\frac{k_1}{k_2}} = 9,7 \text{ км/с.}$$

$$1.104. \quad v = R_3 \sqrt{\frac{g}{R_3 + h}} = 7,02 \text{ км/с;}$$

$$T = 2\pi \frac{R_3 + h}{R_3} \times \sqrt{\frac{R_3 + h}{g}} = 2 \text{ ч.}$$

$$1.105 \quad P = m(g + v^2/l) = 872 \text{ Н.}$$

$$1.106 \quad F = m(v^2/R - g) = 343 \text{ Н.}$$

$$1.107 \quad P = m(g \cos \alpha - v^2/R).$$

$$1.108 \quad F_1 = m(v^2/R - g); F_2 = m(g + v^2/R).$$

**Решение:** Сила  $F$ , прижимающая летчика к сиденью, по 3 закону Ньютона по модулю равна силе реакции сиденья  $N$ . В верхней точке петли сила тяжести  $mg$  и реакция сиденья  $N_1$ , действующие на летчика, направлены вниз и  $N_1 + mg = mv^2/R$ . Поэтому  $F_1 = N_1 = mv^2/R - mg$ . В нижней точке петли  $N_2 - mg = mv^2/R$  и  $F_2 = N_2 = mg + mv^2/R$ .

$$1.109 \quad T_H - T_B = 2mg.$$

$$1.110 \quad \operatorname{tg} \alpha = v^2/(Rg) = 0,076, \alpha = 4,4^\circ.$$

$$1.111 \quad h = l \frac{v^2}{\sqrt{v^4 + R^2 g^2}} = 3,9 \text{ см.}$$

$$1.112 \quad v = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{\mu g}{R}} = 0,11 \text{ Гц.}$$

$$1.113 \quad \mu = \frac{\omega^2 R \cdot \cos \alpha + g \cdot \sin \alpha}{g \cdot \cos \alpha - \omega^2 R \cdot \sin \alpha} = 0,43.$$

$$1.114 \quad T = 2\pi \sqrt{h/g}.$$

$$1.115 \quad \operatorname{tg} \alpha = v^2/Rg = 0,294; \alpha = 16,4^\circ.$$

$$1.116 \quad \rho = \frac{3}{(1-k)} \frac{\pi}{GT^2}.$$

$$1.117 \quad p/p_0 = \frac{\sqrt{v_0^2 + 2aS}}{v_0} = 2.$$

$$1.118 \quad p = \sqrt{(m_1 v_1)^2 + (m_2 v_2)^2} = 5 \text{ кг}\cdot\text{м/с}.$$

$$1.119 \quad |\Delta \vec{p}|_1 = 2m\upsilon = 4 \text{ кг}\cdot\text{м/с}; |\Delta \vec{p}|_2 = 0.$$

**Решение:** Приращение импульса мяча  $\Delta \vec{p} = m \vec{v}_2 - m \vec{v}_1$ , где  $\vec{v}_1$  – скорость в начальной точке, а  $\vec{v}_2$  – скорость в конечной ситуации. После удара мяча об одну стенку  $\vec{v}_2 = -\vec{v}_1$  и  $|\Delta \vec{p}|_1 = |m \vec{v}_2 - m \vec{v}_1| = |m \vec{v}_2 - (-m \vec{v}_2)| = |2m \vec{v}_2| = 2m\upsilon = 4 \text{ кг}\cdot\text{м/с}$ , так как удар происходит без потери скорости. После ударов о противоположные стенки  $\vec{v}_2 = \vec{v}_1$  и  $|\Delta \vec{p}|_2 = |m \vec{v}_2 - m \vec{v}_1| = 0$ .

$$1.120 \quad |\Delta \vec{p}| = m\upsilon = 2 \cdot 10^4 \text{ кг}\cdot\text{м/с}.$$

$$1.121 \quad |\Delta \vec{p}| = \sqrt{2} \pi R / (2t) = 1,1 \text{ кг}\cdot\text{м/с}.$$

$$1.122 \quad F = m\upsilon / \Delta t = 50 \text{ Н}.$$

**Решение:** По закону сохранения импульса, импульс, полученный ружьем, равен по абсолютной величине импульсу пули:  $p_p = p_n = m\upsilon$ . По второму закону Ньютона  $F_1 \cdot \Delta t = m\upsilon$  ( $F_1$  – среднее значение силы, действующей на ружье). Согласно третьему закону Ньютона модули сил  $F_1 = F$ . Следовательно,  $F = F_1 = m\upsilon / \Delta t$ .

$$1.123 \quad F_c = m\upsilon / \Delta t = 150 \text{ Н}.$$

$$1.124 \quad n = F/mv = 5 \text{ с}^{-1}.$$

$$1.125 \quad \Delta t = 2mv \cdot \sin\alpha / F = 0,1 \text{ с}.$$

$$1.126 \quad p = \sqrt{(mv)^2 + (F\Delta t)^2} = 0,5 \text{ кг}\cdot\text{м/с}.$$

$$1.127 \quad u = mv/M.$$

$$1.128 \quad p = mv = 2,5 \text{ кг}\cdot\text{м/с}.$$

**Решение:** По закону сохранения импульса суммарный импульс всех шаров (включая и тот, которым ударили) равен первоначальному импульсу всей системы до удара, т.е.  $p = mv = 2,5 \text{ кг}\cdot\text{м/с}$ .

$$1.129 \quad v = 0,6 \text{ м/с}. \text{ В направлении движения второго хоккеиста.}$$

**Решение:** Применим закон сохранения импульса, приняв направление движения первого хоккеиста совпадающим с направлением оси X. В проекции на эту ось закон запишется в виде:

$$m_1v_1 - m_2v_2 = (m_1 + m_2)v. \text{ Откуда } v = \frac{m_1v_1 - m_2v_2}{m_1 + m_2} = -0,6$$

м/с. Знак «минус» показывает, что после столкновения хоккеисты будут двигаться в направлении движения второго хоккеиста.

$$1.130 \quad u = \frac{mv \cdot \cos\alpha}{M} = 7 \text{ м/с}; |\Delta\vec{p}| = 2mv \cdot \sin\alpha = 4000 \text{ кг}\cdot\text{м/с}.$$

$$1.131 \quad u = \frac{mv \cdot \cos\alpha}{m + M} = 0,6 \text{ м/с}.$$

$$1.132 \quad v = \frac{m_1 v_1 - m_2 v_2}{m_1 - m_2} = 533 \text{ м/с.}$$

$$1.133 \quad \text{а) } \alpha = 0, \text{ б) } \alpha = \pi, \text{ в) } \alpha = \pi/2, \text{ г) } u_1 = \frac{Mu - m(v \cdot \cos\alpha + u)}{M - m}.$$

$$1.134 \quad v = \frac{\sqrt{(m_1 v_1)^2 + (m_2 v_2)^2}}{m_1 + m_2} = 1,92 \text{ м/с.}$$

$$1.135 \quad v = \frac{(m_1 + m_2)v_0(k-1)}{km_2} = 6,5 \text{ м/с.}$$

$$1.136 \quad u = \frac{mv \cdot \cos\alpha}{M + m}$$

**Указание:** Согласно закону сохранения импульса, записанному в проекции на горизонтально направленную ось координат,  $m(v \cos\alpha - u) - Mu = 0$ .

$$1.137 \quad S = \frac{Ml}{m + M} = 4 \text{ м.}$$

$$1.138 \quad A_1 = \frac{F_1^2 S}{\sqrt{F_1^2 + F_2^2}} = 0,9 \text{ Дж}; \quad A_2 = \frac{F_2^2 S}{\sqrt{F_1^2 + F_2^2}} = 1,6 \text{ Дж.}$$

$$1.139 \quad A = FS \cdot \cos\alpha = 56,4 \text{ Дж};$$

$$v = \sqrt{\frac{2(FS \cdot \cos\alpha - mgS \cdot \sin\beta)}{m}} = 7,4 \text{ м/с.}$$

**Решение:** Работа силы  $F$ ,  $A = FS \cdot \cos\alpha = 30 \text{ Дж}$ . При этом материальная точка поднимается на высоту  $h = S \cdot \sin\beta$  и ее потенци-

альная энергия изменяется на величину  $E_n = mgh$ . По закону сохранения механической энергии  $A = E_n + mv^2/2$ . Откуда  $v =$

$$\sqrt{\frac{2(A - E_n)}{m}} = \sqrt{\frac{2(FS \cdot \cos\alpha - mgS \cdot \sin\beta)}{m}} = 7,4 \text{ м/с.}$$

$$1.140 \quad A = m(g + 2h/t^2)h = 4,72 \text{ кДж.}$$

$$1.141 \quad t = 900 \text{ с.}$$

$$1.142 \quad \mu = \frac{A}{mgS - A \cdot \operatorname{tg}\alpha} = 0,2.$$

$$1.143 \quad N = mg(\sin\alpha + \mu \cos\alpha) \quad v = 590 \text{ кВт.}$$

$$1.144 \quad P = -\mu mv(g - v^2/R) = -2,3 \text{ Вт.}$$

$$1.145 \quad E = m(gh + v^2/2) = 114 \text{ Дж.}$$

$$1.146 \quad E_k = 0,4 \text{ Дж.}$$

$$1.147 \quad m = p^2/(2E_k) = 4 \text{ кг.}$$

$$1.148 \quad A = (v_2^2 - v_1^2) m/2 = 8 \text{ Дж.}$$

$$1.149 \quad N = mgh/t = 34,3 \text{ Вт.}$$

$$1.150 \quad m = 18,3 \text{ т.}$$

$$1.151 \quad t = 9,81 \text{ с.}$$

$$1.152 \quad A = E_n = mgh = 2,1 \text{ МДж.}$$

$$1.153 \quad N = m v^2 / 2 \Delta t = 600 \text{ Вт.}$$

$$1.154 \quad F_c = k N / v = 100 \text{ Н.}$$

$$1.155 \quad N_1 = 290 \text{ Вт; } N_2 = 1440 \text{ Вт.}$$

**Решение:** Рассмотрим небольшой участок пути  $\Delta h$ , проходимый телом в интервале времени  $(t, t + \Delta t)$ . Скорость тела, считая  $\Delta t$  малой величиной, примем равной  $v = gt$ . Тогда  $\Delta h = v \Delta t = gt \Delta t$ . Работа, совершаемая за время  $\Delta t$ :  $\Delta A = mg \Delta h = mg^2 t \Delta t$ , а мощность силы тяжести  $N = \Delta A / \Delta t = mg^2 t$ .

$$1.156 \quad F = (v_1^2 - v_2^2) m / (2d) = 2,5 \cdot 10^4 \text{ Н.}$$

$$1.157 \quad F_c = m [g - v^2 / (2h)] = 2,6 \text{ Н.}$$

$$1.158 \quad F = m v^2 / 2S = 3 \cdot 10^3 \text{ Н.}$$

$$1.159 \quad N = m v^3 / 4l = 160 \text{ кВт.}$$

$$1.160 \quad A = 2mgh.$$

$$1.161 \quad S = h(1 - \mu \cdot \text{ctg} \alpha) / \mu = 49 \text{ м.}$$

$$1.162 \quad A = mg(h + mg / 2k) = 10,8 \text{ Дж.}$$

$$1.163 \quad v = \sqrt{gl / 2} = 4,95 \text{ м/с.}$$

**Решение:** Изменение положения центра масс веревки  $\Delta h = l / 4$ . Тогда по закону сохранения энергии  $mg l / 4 = m v^2 / 2$  и  $v = \sqrt{gl / 2}$ .

$$1.164 \quad \Delta h = v_0^2 / 2g = 20,4 \text{ м.}$$

$$1.165 \quad E_k = m(v_0^2 + g^2 t^2)/2.$$

$$1.166 \quad h = v_0^2/4g, \alpha \geq 45^\circ.$$

$$1.167 \quad h = (3/8) \cdot (v_0^2/g), \alpha \geq 60^\circ.$$

$$1.168 \quad h = v_0^2 \sin^2 \alpha / 2g = 1,3 \text{ м.}$$

$$1.169 \quad \cos \alpha = \sqrt{1-k} = \sqrt{3}/2, \alpha = 30^\circ.$$

$$1.170 \quad v = \frac{M+m}{m} \sqrt{2gh} = 400 \text{ м/с.}$$

$$1.171 \quad x = mv / \sqrt{k(M+m)}.$$

$$1.172 \quad v = m \sqrt{\frac{2gh}{M(M+m)}}.$$

$$1.173 \quad E_1 = \frac{(m_1 + m_2)^2 u^2}{2m_1} = 36 \text{ Дж.}$$

$$1.174 \quad v_1 = \sqrt{2E/mk} = 30 \text{ м/с.}$$

$$1.175 \quad E = m(v_1^2 + v_2^2)/4 = 2,5 \text{ Дж.}$$

$$1.176 \quad \Delta E_k = \frac{mM(v_1 + v_2)^2}{2(m+M)} = 1,45 \cdot 10^6 \text{ Дж.}$$

**Решение:** Изменение кинетической энергии  $\Delta E_k = Mv_1^2/2 + mv_2^2/2 - (m+M)v^2/2$ , где  $v$  – скорость тел после столкновения. Согласно закону сохранения импульса, записанному в проекции

на горизонтально направленную ось:  $m v_1 - M v_2 = (m + M) v$  и  $v = \frac{m v_1 - M v_2}{m + M}$ . Подставляя полученное выражение для  $v$  в формулу для  $\Delta E_k$  и проведя несложные преобразования получаем  $\Delta E_k = \frac{m M (v_1 + v_2)^2}{2(m + M)}$ .

1.177  $\eta = (k - 1)/k = 0,75$ .

**Решение:** Начальная энергия шаров  $E_n = E_1 + E_2 = m v_1^2/2 + k m v_2^2/2 = m(v_1^2 + k v_2^2)/2$ , где  $v_1$  и  $v_2$  – скорости соответствующих шаров до столкновения. Так как направления движения шаров взаимно перпендикулярны, то суммарный импульс системы  $p = \sqrt{(m v_1)^2 + (k m v_2)^2} = m \sqrt{v_1^2 + k^2 v_2^2}$ . При столкновении этот импульс, согласно закону сохранения импульса, не изменяется, и он равен импульсу второго шара. Конечная кинетическая энергия системы  $E_k = \frac{p^2}{2km} = \frac{m^2(v_1^2 + k^2 v_2^2)}{2km} = \frac{m(v_1^2 + k^2 v_2^2)}{2k}$ . Энергия, затраченная на выделение тепла  $E_n - E_k$

$$= \frac{m}{2} (v_1^2 + k v_2^2) - \frac{m}{2k} (v_1^2 + k^2 v_2^2) = \frac{m v_1^2 (k - 1)}{2k}$$

Поэтому  $\eta = (E_n - E_k)/E_1 = (k - 1)/k$ .

1.178  $u_1 = \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} v_1$ ;  $u_2 = \frac{2m_1}{m_1 + m_2} v_1$ .

1.179  $m_1 = m_2/3 = 0,1$  кг.

1.180  $v = \sqrt{6lg}$ .

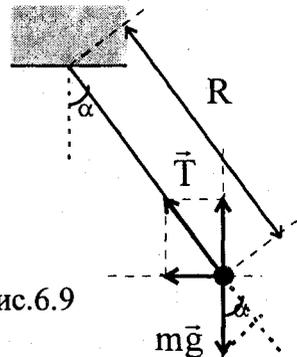


Рис.6.9

$$1.181 \quad \cos\alpha = 1/\sqrt{3}, \alpha = 54^\circ 44'.$$

**Решение:** В момент полета (рис. 6.9) на груз будет действовать центробежная сила  $T - mg \cos\alpha = m v^2/R$ , где  $T$  – сила натяжения нити,  $R$  – длина нити,  $v$  – скорость груза. Из закона сохранения энергии следует, что  $m v^2/2 = mgR \cos\alpha$ . Решая полученную систему уравнений имеем  $T = 3mg \cos\alpha$ . Так как ускорение груза направлено горизонтально, то равнодействующая сил  $T$  и  $mg$  в вертикальном направлении равна нулю и  $T \cos\alpha = mg$ . Из двух последних равенств получаем  $\cos^2\alpha = 1/3$ ,  $\cos\alpha = 1/\sqrt{3}$  и  $\alpha = 54^\circ 42'$ .

$$1.182 \quad \cos\alpha = 0,6, \alpha = 53^\circ 8'.$$

**Решение:** Запишем второй закон Ньютона в проекциях на оси  $x$  и  $y$  в момент, когда шарик находится в крайнем положении (рис. 6.10):

$$y: T - mg \cos\alpha = 0$$

(т.к. скорость равна нулю),

$$x: mg \sin\alpha = ma_1.$$

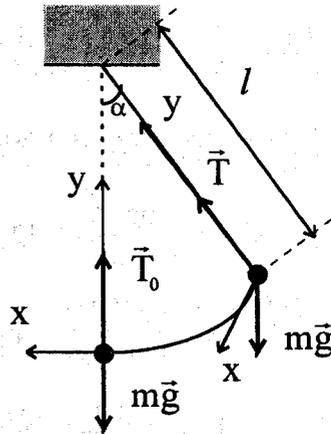


Рис.6.10

Следовательно,  $a_1 = g \sin\alpha$ . В момент времени, когда шарик находится в нижней точке траектории:

$$y: T_0 - mg = ma_2, a_2 = v^2/l.$$

По условию  $a_1 = a_2$ , следовательно  $v^2 = gl \sin\alpha$ . Из закона сохранения энергии  $mg(l - l \cos\alpha) = m v^2/2$ . Из последних двух уравнений имеем  $gl \sin\alpha = 2gl(1 - \cos\alpha)$ , или  $\sin\alpha = 2 - 2\cos\alpha$ . Решив тригонометрическое уравнение (например, возведя обе части равенства во вторую степень) находим, что  $\cos\alpha = 0,6$ .

$$1.183 \quad v_0 = 2\sqrt{gl}.$$

$$1.184 \quad v_0 = \sqrt{5gl}.$$

$$1.185 \quad \cos\alpha = \frac{3mg - T}{2mg}; \alpha = 60^\circ.$$

$$1.186 \quad h = R \cdot 5/2.$$

$$1.187 \quad h = R/3.$$

$$1.188 \quad \cos(\alpha_2/2) = (F_1/F_2) \cdot \cos(\alpha_1/2); \alpha_2 = 56^\circ.$$

$$1.189 \quad T = \frac{mg}{2\cos\frac{\alpha}{2}} = 69,4 \text{ H.}$$

$$1.190 \quad T_1 = mg = 196 \text{ H}, T_2 = (mg/\sin\alpha) = 227 \text{ H}, \\ T_3 = mg \cdot \operatorname{ctg}\alpha = 113 \text{ H.}$$

$$1.191 \quad F = mg(\sin\alpha - \mu \cos\alpha)/\mu = 32,7 \text{ H.}$$

$$1.192 \quad F = mg \cdot \sin\alpha / (1 + \sin\alpha) = 9,81 \text{ H.}$$

$$1.193 \quad F = (mg \cos\alpha)/2.$$

$$1.194 \quad F = \frac{mg(1-2k)}{2(1-k)} = 0,98 \text{ H.}$$

$$1.195 \quad T_1 = \frac{mg(l - 2l_1)}{2(l - l_1)} = 3,9 \text{ кН}; T_2 = \frac{mgl}{2(l - l_1)} = 4,9 \text{ кН}.$$

$$1.196 \quad x = l \frac{2m_1 + m}{2(m_1 + m + m_2)} = 22,5 \text{ см}.$$

$$1.197 \quad F = mg \frac{(l - 2l_1)}{2(l - l_1) \sin \alpha} = 314 \text{ Н}.$$

$$1.198 \quad T = (mg/4 \cos \alpha) = 2,83 \text{ Н}.$$

$$1.199 \quad \alpha = \arctg(2/3) = 34^\circ.$$

1.200 а)  $F = phl > \mu_1 mg$ ;  $Fh/2 > mgl/2$  – ящик движется по горизонтали равноускоренно и опрокидывается;

б)  $F = phl < \mu_2 mg$  – ящик не движется по горизонтали, а опрокидывается.

$$1.201 \quad F = mgl/[2 \cdot (H - 2a)] = 98,1 \text{ Н}.$$

$$1.202 \quad h \leq \frac{F_{\text{тп}} l}{mg} \sin \alpha \cdot \operatorname{tg} \alpha = 1,53 \text{ м}.$$

$$1.203 \quad l_c = \frac{m_1 l_1 + m_2 l_2 + m_3 l_3 + ml/2}{m_1 + m_2 + m_3 + m} = 1,53 \text{ м}.$$

$$1.204 \quad x_c = 2,25 \text{ см}; y_c = 2,125 \text{ см}.$$

$$1.205 \quad x = 2R\rho_a/(\rho_c + \rho_a) = 5 \text{ см}.$$

$$1.206 \quad x = R/6.$$

$$1.207 \quad x = \frac{a^3}{2(\pi R^2 - a^2)} = 1,02 \text{ см.}$$

$$1.208 \quad F = 29,4 \text{ кН.}$$

$$1.209 \quad F_d = \rho a^3 g; F_b = \rho a^3 g/2.$$

$$1.210 \quad p = \rho g(h - h_0) = 4,9 \cdot 10^5 \text{ Па.}$$

$$1.211 \quad p = \rho g\left(\frac{4V}{\pi d^2} - h\right) = 1,86 \text{ кПа.}$$

$$1.212 \quad S = 0,05 \text{ м}^2.$$

$$1.213 \quad F = \eta F_1 h_1/h_2 = 8 \text{ кН.}$$

$$1.214 \quad h = m(\rho_b - \rho_m)/S\rho_b\rho_m = 4 \text{ см.}$$

**Решение:** Высота столба масла в трубке  $h_m = \frac{m}{S\rho_m}$ . Из равенства

гидростатических давлений воды и масла на глубине  $(h_m - h)$  имеем (Рис.6.11):  $\rho_b g(h_m - h) = \rho_m g h_m$ . Отсюда  $h = h_m(\rho_b - \rho_m)/\rho_b = m(\rho_b - \rho_m)/S\rho_b\rho_m$ .

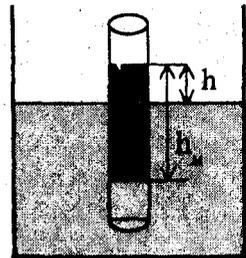


Рис.6.11

$$1.215 \quad h_1 = \frac{2V(3\rho_p - \rho_b)}{\pi d^2 \rho_p} = 29,1 \text{ см}; h_2 = \frac{2V(\rho_p + \rho_b)}{\pi d^2 \rho_p} = 10,7 \text{ см}$$

$$1.216 \quad x = \frac{\rho_b h}{(1 + k^2)\rho_p}$$

$$1.217 \quad h = \frac{V\rho_b}{kS\rho_p} = 0,3 \text{ см.}$$

1.218 Осадка уменьшится.

**Решение:** Условие плавания тел:  $mg = \rho g V_n$  ( $V_n$  – объем погруженной части тела). Поэтому чем больше плотность жидкости, тем меньше объем погруженной в воду части тела. Таким образом, при переходе в Черное море осадка уменьшится.

$$1.219 \quad F_n = mg\left(\frac{\rho_b}{\rho_n} - 1\right) = 157 \text{ Н.}$$

$$1.220 \quad S = 2m/(\rho_b - \rho_n) \cdot d = 3 \text{ м}^2.$$

$$1.221 \quad F = \rho_b S(h - l)g = 7,36 \text{ кН.}$$

$$1.222 \quad V = 4,1 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3.$$

$$1.223 \quad \rho = \frac{\rho_b}{1 - P/mg} = 4,25 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3.$$

$$1.224 \quad \rho_{ж} = \rho_a(1 - T/mg) = 970 \text{ кг/м}^3.$$

$$1.225 \quad F = mg\left(k \frac{\rho}{\rho_n} - 1\right) = 97,1 \text{ Н.}$$

$$1.226 \quad V_n = V \frac{\rho_u - k\rho_b}{\rho_u} = 180 \text{ см}^3.$$

$$1.227 \quad \frac{\rho_{\Gamma}}{\rho_{\times}} = mg/k\Delta l = 2,45.$$

$$1.228 \quad \rho_2 = \rho_1 \frac{P - F_2}{P - F_1}.$$

$$1.229 \quad k_1 = \frac{\rho_p k - \rho_a}{\rho_p - \rho_a} = 0,19.$$

$$1.230 \quad \rho_c = \rho_a \frac{g}{g - a} = 2,57 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3.$$

$$1.231 \quad F_c/mg = k - 1 = 3.$$

$$1.232 \quad A = (\rho - \rho_a)gVh = 235,2 \text{ Дж}.$$

$$1.233 \quad Q = mg\left(\frac{\rho_a}{\rho} h_1 - h_1 - h_2\right) = 19,6 \cdot 10^{-3} \text{ Дж}.$$

**Решение:** Работа силы Архимеда, согласно закону сохранения энергии, расходуется на увеличение потенциальной энергии шарика и на работу против сил трения:  $F_A \cdot h_1 = mg(h_1 + h_2) + Q$ . Сила Архимеда  $F_A = \rho_a g V = \rho_a g m / \rho = mg \rho_a / \rho$ . Таким образом,  $Q$

$$= mg \frac{\rho_a}{\rho} h_1 - mg(h_1 + h_2) = mg\left(\frac{\rho_a}{\rho} h_1 - h_1 - h_2\right).$$

$$1.234 \quad \rho = \rho_a k(2 - k) = 750 \text{ кг/м}^3.$$

Молекулярная физика и тепловые явления

2.1  $m_1 = 7,3 \cdot 10^{-26}$  кг.

2.2  $N = \frac{\rho V N_A}{\mu} = 6 \cdot 10^{22}$ .

2.3  $N = m t_2 N_A / (t_1 \mu) = 2 \cdot 10^{20}$ .

2.4  $\mu = \frac{(m_1 + m_2) \mu_1 \mu_2}{\mu_1 m_2 + \mu_2 m_1} = 5,25 \cdot 10^{-3}$  кг/моль.

2.5  $n = 2,7 \cdot 10^{25}$  м<sup>-3</sup>.

2.6  $p = nk(t+273\text{K}) = 4,14$  Па.

2.7  $N = \frac{pV}{k(t+273\text{K})} = 2,47 \cdot 10^{10}$ .

2.8  $v_{\text{ср.кв}} = \sqrt{3pV/m} = 1160$  м/с.

2.9  $v_{\text{ср.кв}} = \sqrt{3pN_A / (n\mu)} = 3 \cdot 10^5$  м/с.

2.10  $\Delta t_2 = \Delta t_1 \frac{v_3^2 - v_2^2}{v_2^2 - v_1^2} = 220^\circ\text{C}$ .

2.11  $|\Delta \vec{p}| = v \cdot \sin \alpha \cdot 2\mu / N_A = 2,7 \cdot 10^{-23}$  кг·м/с.

2.12  $F = \frac{2v\mu v}{\Delta t} = 450$  Н.

2.13  $p_1 = 2m\upsilon^2n = 1,06 \cdot 10^{-2} \text{ Н/м}^2$ ;  
 $p_2 = 2m(\upsilon+u)^2n = 1,15 \cdot 10^{-2} \text{ Н/м}^2$ .

2.14  $\upsilon = l \cdot 2\pi\nu/\varphi = 400 \text{ м/с}$ .

2.15  $d = j\mu t/(\rho N_A) = 10 \text{ мкм}$ .

- 2.16 а)  $p_2 > p_1, V_2 > V_1, T_2 > T_1$ ;  
 б)  $p_2 > p_1, V_2 > V_1, T_2 > T_1$ ;  
 в)  $p_2 > p_1, V_2 > V_1, T_2 > T_1$ .

2.17 См. рис.6.12.

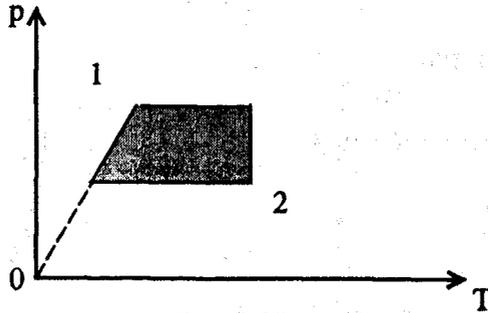


Рис.6.12

2.18 См. рис.6.13.

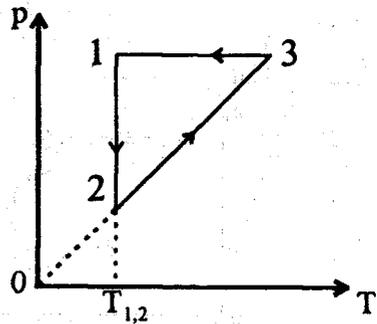
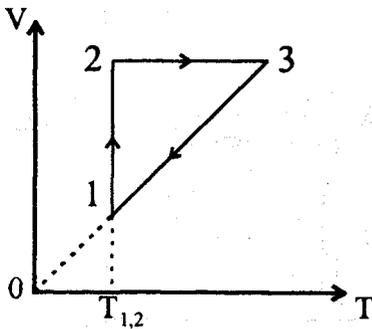


Рис.6.13

2.19 См. рис.6.14. Работа отрицательна.

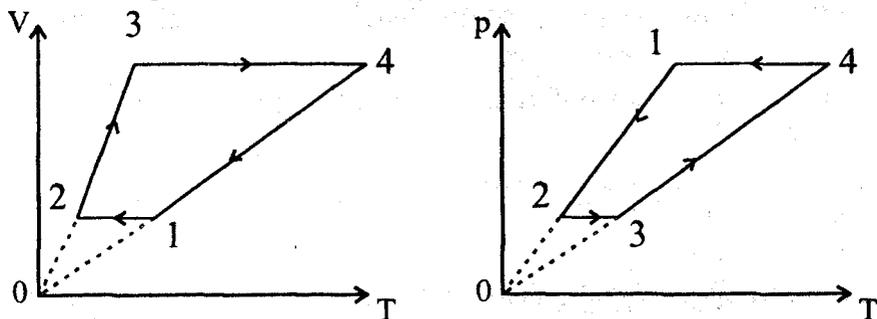


Рис.6.14

2.20 См. рис.6.15.

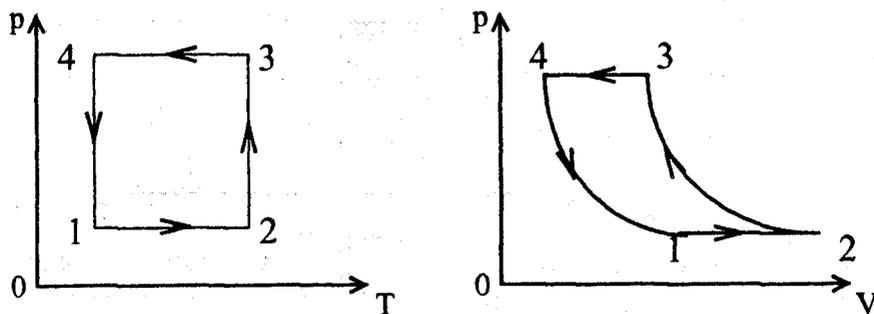


Рис.6.15

2.21 См. рис.6.16.

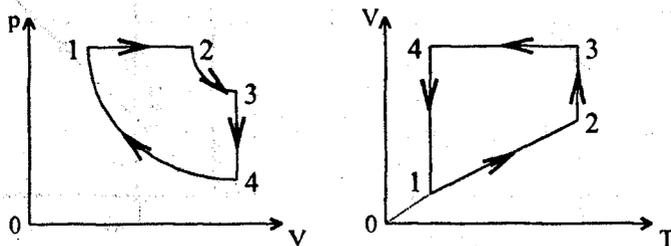


Рис. 6.16

2.22 В случае малого сосуда линейный график зависимости  $p = f(T)$  будет иметь большой наклон. Рассмотренный график зависит от  $\mu$ , а значит и от типа газа.

2.23  $\Delta T = 60 \text{ K}$ .

2.24  $T_1 = nT_2 = 700 \text{ K}$ .

2.25  $T_1 = \frac{\Delta t \cdot 100\%}{a} = 400 \text{ K}$ .

2.26  $T_1 = (t_2 + 273\text{K}) / (1 - \frac{a}{100\%}) = 410 \text{ K}$ .

2.27  $\rho = p_0\mu / (RT) = 1,29 \text{ кг/м}^3$ .

2.28  $T = p\mu / (R\rho) = 640 \text{ K}$ .

2.29  $p = 2 \cdot 10^5 \text{ Па}$

**Решение:** Количество вещества газа и его температура совпадают со стандартными при нормальных условиях, а объем в два раза меньше. Следовательно, давление в два раза больше, чем давление при нормальных условиях, и  $p = 2 \cdot 10^5 \text{ Па}$ .

2.30  $N = p_0V(T_2 - T_1)N_A / (RT_1T_2) = 5 \cdot 10^{25}$ .

2.31 Объем цилиндра, занятого водородом в 16 раз больше объема, заполненного кислородом. При любых температурах, когда выполняется условие  $T_1/T_2 = 16$ , поршень делит цилиндр на равные части.

2.32  $V_1 = V \frac{p_0S + mg}{p_0S + (M + m)g} = 8,4 \text{ дм}^3$ .

$$2.33 \quad p_2 = 1,2 \text{ МПа.}$$

$$2.34 \quad \frac{m_2}{m_1} = \frac{(p_2 + p_0)(t_1 + 273\text{K})}{(p_1 + p_0)(t_2 + 273\text{K})} = 1. \text{ Не произошла.}$$

**Указание:** Манометр показывает давление, превышающее атмосферное.

$$2.35 \quad p_2 = \frac{p_1 T_2}{4T_1} = 8 \cdot 10^5 \text{ Па.}$$

$$2.36 \quad \Delta m = \frac{V\mu}{RT} (p_1 - \frac{p_1}{k}) = 0,32 \text{ кг.}$$

$$2.37 \quad a = (g/2) \cdot (\sin\alpha + p_0 S/mg) = 63 \text{ м/с}^2.$$

$$2.38 \quad p = \left( \frac{p_1 V_1}{T_1} + \frac{p_2 V_2}{T_2} \right) \frac{T}{V_1 + V_2}.$$

**Решение:** После исчезновения перегородки согласно уравнению Менделеева – Клапейрона  $p(V_1 + V_2) = (m_1 + m_2)RT/\mu$ . Применяя уравнение Менделеева – Клапейрона к газу, находящемуся в первой и второй частях сосуда с перегородкой, находим:

$$m_1 + m_2 = \frac{\mu}{R} \left( \frac{p_1 V_1}{T_1} + \frac{p_2 V_2}{T_2} \right). \text{ Тогда из первого уравнения: } p =$$

$$\frac{(m_1 + m_2)RT}{\mu(V_1 + V_2)} = \left( \frac{p_1 V_1}{T_1} + \frac{p_2 V_2}{T_2} \right) \frac{T}{V_1 + V_2}.$$

$$2.39 \quad \rho = \frac{p(m_1 + m_2)}{RT} / \left( \frac{m_1}{\mu_1} + \frac{m_2}{\mu_2} \right) = 0,48 \text{ кг/м}^3.$$

$$2.40 \quad x = \left[ \frac{p\mu_N\mu_H}{RT\rho} - \mu_H \right] \frac{1}{\mu_N - \mu_H}.$$

$$2.41 \quad h = 7p_0/\rho g = 70 \text{ м.}$$

$$2.42 \quad x = \rho g H h / (p_0 + \rho g H) = 0,4 \text{ м.}$$

$$2.43 \quad p = p_0 / \left(1 + \frac{V_1}{V}\right)^n.$$

**Решение:** Запишем закон Бойля – Мариотта для первого хода поршня:  $p_0V = p_1(V+V_1)$ , где  $p_1$  – давление воздуха в системе сосуд и рабочая камера насоса. Во время обратного хода насоса давление в сосуде остается равным  $p_1$ , а часть воздуха уходит в атмосферу. Для второго хода поршня:  $p_1V = p_2(V+V_1)$ , где  $p_2$  – давление воздуха после второго хода. Аналогично запишем закон Бойля – Мариотта для остальных  $(n-2)$  ходов. Последнее уравнение имеет вид:  $p_{n-1}V = p_n(V+V_1)$ . Перемножив полученные  $n$ -уравнений, приходим к следующему равенству:  $p_0 p_1 p_2 \dots p_{n-1} V^n = p_1 p_2 p_3 \dots p_n (V+V_1)^n$ . Сократив обе части уравнения на выражение  $p_1 p_2 \dots p_{n-1}$  имеем  $p_0 V^n = p_n (V+V_1)^n$ .

$$\text{Отсюда } p = p_n = p_0 / \left(1 + \frac{V_1}{V}\right)^n.$$

$$2.44 \quad n = \frac{V(p-p_0)}{V_1 p_0} = \left(\frac{p}{p_0} - 1\right) \frac{V}{V_1}.$$

**Решение:** После  $n$  рабочих ходов насос заберет из атмосферы объем воздуха  $V_{\Pi} = n \cdot V_1$  при давлении  $p_0$ . Суммарный объем воздуха, который окажется в камере  $V_B = V + nV_1$ . Тогда по закону Бойля – Мариотта  $V_B p_0 = V \cdot p$ , где  $p$  – давление в камере. От-

$$\text{сюда } (V+nV_1)p_0 = V \cdot p \text{ и } n = \frac{V(p-p_0)}{V_1 p_0} = \left(\frac{p}{p_0} - 1\right) \frac{V}{V_1} = 31.$$

$$2.45 \quad p = p_0 + \frac{nV_2 p_0}{V_1} = 3,5 \cdot 10^5 \text{ Па.}$$

$$2.46 \quad m = \rho V(1 - T_2/T_1) = 122 \text{ г.}$$

$$2.47 \quad l/l_1 = \frac{2\rho g l}{p_0(\sqrt{1 + 4\rho g l / p_0} - 1)} = 1,2.$$

**Решение:** В начальном состоянии воздух находится при атмосферном давлении  $p_0$ .

При опускании трубки в воду давление воздуха увеличивается на величину гидростатического давления воды  $p_1 = \rho g l_1$ , где  $l_1$  – высота столба воздуха в трубке (см. рис.6.17). Тогда по закону Бойля – Мариотта  $p_0 S l = (p_0 + \rho g l_1) S l_1$ , где  $S$  – сечение трубки. Решая полученное квадратное уравнение относительно  $l_1$ , получаем  $l_1 = (\sqrt{p_0^2 + 4\rho_0 \rho g l} - p_0) / 2\rho g$  (отрицательный корень отбросили).

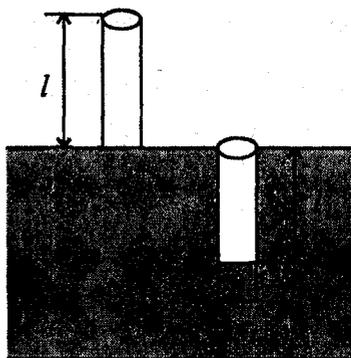


Рис.6.17

$$\text{Тогда } l/l_1 = \frac{2\rho g l}{p_0(\sqrt{1 + 4\rho g l / p_0} - 1)} = 1,2.$$

$$2.48 \quad x = \frac{(p_0 + \rho g l) - \sqrt{p_0^2 + (\rho g l)^2}}{2\rho g} = 0,25 \text{ м.}$$

$$2.49 \quad \rho = \frac{4pl(L - h)}{gh[(L - h)^2 - 4l^2]} = 1,36 \cdot 10^4 \text{ кг/м}^3.$$

$$2.50 \quad F = m_{\text{Hg}} \left( \frac{\mu_{\text{в}}}{\mu_{\text{H}}} - 1 \right).$$

$$2.51 \quad m_{\text{He}} = \frac{m\mu_{\text{He}}}{\mu_{\text{в}} - \mu_{\text{He}}} = 16 \text{ кг.}$$

2.52 Не будет.

**Указание:** При увеличении температуры воздуха уменьшится масса воздуха, находящегося в комнате. Покажите, что внутренняя энергия воздуха в комнате при этом сохраняется.

$$2.53 \quad U_2/U_1 = k_1/k_2 = 1,5.$$

$$2.54 \quad Q = \Delta U + A = A = 25 \text{ Дж, т.к. при } T = \text{const}, \Delta U = 0.$$

$$2.55 \quad Q = A / \left( 1 - \frac{k}{100\%} \right) = 30 \text{ Дж.}$$

$$2.56 \quad A = 298,1 \text{ Дж.}$$

$$2.57 \quad A = (mg/S + p_0) \Delta V = 2980 \text{ Дж.}$$

$$2.58 \quad A = RT_1(1 - 1/n) = 0,83 \text{ кДж.}$$

$$2.59 \quad A = \frac{(p_2 - p_1)(V_3 - V_1)}{2} = 600 \text{ Дж.}$$

**Указание:** Работа газа в замкнутом цикле равна площади фигуры, которая соответствует циклу в координатах  $p$  и  $V$ .

$$2.60 \quad A = \frac{2p_2 - p_1 - \sqrt{p_2 p_1}}{2} V_1 \left( \sqrt{\frac{p_2}{p_1}} - 1 \right) = 1250 \text{ Дж.}$$

**Указание:** Из характера процесса 4-1 следует, что  $\frac{P_1}{V_1} = \frac{P_4}{V_4}$ .

2.61  $v = 3$ .

2.62  $\Delta U = 15 \text{ Дж}$ .

2.63  $\Delta U = 6,1 \cdot 10^6 \text{ Дж}$ .

2.64  $\Delta U = kA_1 = 2000 \text{ Дж}$ .

2.65  $Q = Mgh\mu c_p/R = 1040 \text{ Дж}$ .

2.66  $\Delta T = (Vp\mu/mR) - T_1 = 872,2 \text{ К}$ ;  $Q = mc_p\Delta T = 16 \text{ кДж}$ ;

$$A = \frac{m}{\mu} R\Delta T = 4,5 \text{ кДж}; \Delta U = Q - A = 11,5 \text{ кДж}.$$

2.67  $Q = 3,35 \text{ МДж}$ .

2.68  $Q = c_{л}m(0^\circ\text{C}-t_1)+\lambda m+c_{в}m(t_2-0^\circ\text{C}) = 44 \text{ кДж}$ .

**Указание:** Общее количество теплоты складывается из трех слагаемых: 1) тепловой энергии, необходимой для повышения температуры льда от  $-10^\circ\text{C}$  до  $0^\circ\text{C}$ ; 2) тепловой энергии, расходуемой на таяние льда; 3) тепловой энергии, нужной для повышения температуры воды от  $0^\circ\text{C}$  до  $20^\circ\text{C}$ .

2.69  $Q = 981 \text{ кДж}$ .

2.70  $m_2 = m_1 \frac{t_1 - t_2}{t_2 - t_3} = 1,6 \text{ кг}$ .

$$2.71 \quad t = \frac{c_1 m t_1 + c_2 M t_2}{c_1 m + c_2 M} = 22^\circ\text{C}.$$

$$2.72 \quad \eta = \frac{V \rho c (t_2 - t_1)}{q m} = 0,2.$$

$$2.73 \quad M = \frac{m q \eta}{c (T_1 - T_0)} = 317 \text{ кг}.$$

$$2.74 \quad M = \frac{\rho V [c (T_1 - T_2) + \lambda]}{\eta r} = 0,147 \text{ кг}.$$

$$2.75 \quad q = [c_2 m_2 (0^\circ\text{C} - t_1) + \lambda m_2 + c_1 m_2 (t_2 - 0^\circ\text{C})] / (\eta m_1) = 9,9 \text{ МДж/кг}.$$

$$2.76 \quad m = \frac{m_1 \lambda + (m_1 + m_2) [r + c (t_1 - 0^\circ\text{C})]}{r} = 0,4 \text{ кг}.$$

$$2.77 \quad M_1 = \frac{m \lambda + m c_2 (T_1 - T_2) - M c_1 (T_2 - T_0)}{c_1 (T_3 - T_0) + r - c_1 (T_2 - T_0)} = 0,29 \text{ кг}.$$

$$2.78 \quad c = \frac{c_1 m_1 + c_2 m_2 + c_3 m_3}{m_1 + m_2 + m_3}.$$

$$2.79 \quad t_2 = \frac{2 t_1 t - t_0 (t + t_1)}{t + t_1 - 2 t_0} = 47,5^\circ\text{C}.$$

$$2.80 \quad t_3 = \frac{C (t_2 - t_1) + c_1 m t_2}{c_1 m} = 31,1^\circ\text{C}.$$

$$2.81 \quad \text{Так как } c_n m (0^\circ\text{C} - t_2) + \lambda m > C t_1 > c_n (0^\circ\text{C} - t_2) m, \quad t_c = 0^\circ\text{C}.$$

$$2.82 \quad m_2 = m_1 v^2 / (2\eta q) = 5 \text{ г.}$$

$$2.83 \quad v = \sqrt{[2c(T_2 - T_1) + \lambda] / \eta} = 308 \text{ м/с.}$$

$$2.84 \quad h = c\Delta T / (\eta g) = 28,5 \text{ м.}$$

$$2.85 \quad n = cm\Delta T / (Mgh\eta) = 18.$$

$$2.86 \quad v = \sqrt{v_0^2 - 2c\Delta T} = 280 \text{ м/с.}$$

$$2.87 \quad M = \frac{c\rho l(d^2 - d_1^2)\Delta T}{8} = 12,2 \text{ Н}\cdot\text{м.}$$

**Решение:** Пусть  $h$  – высота гайки. Тогда число оборотов ворота при нарезании резьбы  $N = \frac{h}{l}$ . Работа силы, вращающей ворот  $A$

$= FS$ , где  $S = 2\pi LN$  – путь, проходимый точкой приложения силы,  $L$  – плечо ворота. Эта работа переходит в теплоту:  $Q = cm\Delta T$ , где  $m = h \frac{\pi\rho(d^2 - d_1^2)}{4}$  – масса гайки. Таким образом,

$F \cdot 2\pi Lh/l = c \frac{\pi\rho(d^2 - d_1^2)}{4} h\Delta T$ . Момент силы  $M = FL$ . Следова-

тельно,  $M = FL = \frac{c\rho l(d^2 - d_1^2)\Delta T}{8}$ .

$$2.88 \quad N = \eta\rho Vqv/S = 18,5 \text{ кВт.}$$

$$2.89 \quad m/t = Fv/(q\eta) = 85,7 \text{ кг/ч.}$$

$$2.90 \quad S = \eta q\rho V/(\mu mg) = 394 \text{ км.}$$

$$2.91 \quad \tau = \frac{cm(100^\circ\text{C} - t_1) + \eta_1 m r}{N\eta} = 45 \text{ мин.}$$

$$2.92 \quad \tau_2 = \frac{r\tau_1}{c(100^\circ\text{C} - t)} = 32,7 \text{ мин.}$$

$$2.93 \quad A = 0,8 \text{ кДж}; Q_2 = 1,2 \text{ кДж.}$$

$$2.94 \quad T_1 = T_2 Q_1 / (Q_1 - A) = 400 \text{ К.}$$

$$2.95 \quad N = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \cdot \frac{qm}{\tau} = 252 \text{ кВт.}$$

$$2.96 \quad \eta_1 = \eta + \frac{k}{100\%} (1 - \eta) = 0,325.$$

$$2.97 \quad a = \frac{m\varphi_2}{V(\varphi_2 - \varphi_1)} = 6,25 \text{ г/м}^3.$$

$$2.98 \quad m = (\mu V/R) \cdot (p_1/T_1 - p_{н2}/T_2) = 5,54 \text{ мг.}$$

$$2.99 \quad m = \left[ \frac{\varphi p_{н1} \mu}{RT_1} - \frac{p_{н2} \mu}{RT_2} \right] V = 4,8 \cdot 10^{-3} \text{ кг}, V = 1 \text{ м}^3.$$

$$2.100 \quad m = \rho_{н1}(\varphi_2 - \varphi_1)V = 1,73 \cdot 10^{-2} \text{ кг. Роса появится.}$$

$$2.101 \quad F = (\sigma_1 - \sigma_2)l = 3,2 \cdot 10^{-3} \text{ Н. В сторону чистой воды.}$$

$$2.102 \quad m = \sigma l d / g = 9,2 \text{ мг.}$$

2.103  $R = 2\sigma/(\rho gh) = 0,1 \text{ мм.}$

2.104 Из пипетки с горячей водой.

2.105  $t = \Delta l/(\alpha l) = 625^\circ\text{C.}$

2.106  $\Delta l = \alpha l(t_2 - t_1) \cong 1,9 \text{ см.}$

2.107  $V_2 = \frac{V_1(1 + \beta t_2)}{1 + \beta t_1} = 46,5 \text{ м}^3.$

2.108  $\Delta = \alpha d(\Delta t_1 - \Delta t_2)/2 = 27 \text{ мкм.}$

2.109  $N = \frac{\alpha S(t_1 - t_2)}{2\pi R(1 + \alpha t_1)(1 + \alpha t_2)} = 19,1.$

2.110  $\alpha = (k\alpha_m + \alpha_{ж})/(k+1) = 16 \cdot 10^{-6} \text{ К}^{-1}.$

2.111  $l_0 = 1 \text{ м.}$

2.112  $\Delta l/(\Delta l)_0 = 1/k^2 = 1/9, \epsilon/\epsilon_0 = 1/k = 1/3.$

2.113  $R = \sqrt{Fl/(E\Delta/\pi)} = 0,43 \text{ мм.}$

2.114  $\Delta T = F/(ES\alpha) = 40 \text{ К.}$

### Электричество и магнетизм

3.1  $F_1 = 7,2 \text{ мкН}; F_2 = 3,6 \text{ мкН}.$

3.2  $q = m \sqrt{\frac{G}{k}} = 0,86 \text{ пКл}, k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \cdot 10^9 \text{ Н} \cdot \text{м}^2 / \text{Кл}^2.$

3.3  $r_2 = r_1 \sqrt{\frac{k}{\epsilon}} = 8 \text{ см}.$

3.4  $q = (q_1 + q_2) / 2 = 8 \text{ нКл}; F = \frac{(q_1 + q_2)^2}{16\epsilon_0 \pi r^2} = 1,44 \cdot 10^{-3} \text{ Н}.$

3.5  $a = q \sqrt{\frac{\cos(\alpha/2)}{2\pi\epsilon_0 F}}, \alpha = 60^\circ.$

3.6  $|Q| = \frac{q}{\sqrt{3}}.$

3.7  $F = \frac{kq^2}{4r^2} = 2,5 \cdot 10^4 \text{ Н}.$

3.8  $v = \sqrt{\frac{eq}{4\pi\epsilon_0 mr}}; T = 2\pi r / v = 2\pi r \sqrt{\frac{4\pi\epsilon_0 mr}{eq}}$

3.9  $m = \frac{2lq^2}{4\pi\epsilon_0 r^3 g}.$

3.10  $\epsilon = \rho / (\rho - \rho_k) = 2.$

3.11  $E = 80 \text{ В/м.}$

3.12  $E = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2} = 1,44 \cdot 10^{12} \text{ В/м.}$

3.13  $E_1 = E_2 = 0$ , т.к. электрическое поле внутри заряженного проводника отсутствует;  $E_3 = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 (2R)^2} = 33,8 \text{ В/м.}$

3.14  $E_1 = E_3 = E_0/2 = 4 \text{ В/м; } E_2 = E_0/4 = 2 \text{ В/м.}$

3.15  $E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \sqrt{\frac{q^2}{a^4} + \frac{q^2}{b^4}} = 80,3 \text{ кВ/м.}$

3.16  $q = k^2 \varphi^2 4\pi\epsilon_0 / E = 4 \cdot 10^{-9} \text{ Кл.}$

3.17  $E = 0; \varphi = \frac{4q}{4\pi\epsilon_0 l} = 600 \text{ В.}$

3.18  $l = \frac{q(\varphi_1 - \varphi_2)}{4\pi\epsilon_0 \varphi_1 \varphi_2} = 0,15 \text{ м.}$

3.19  $\varphi = \varphi_1 \varphi_2 \frac{r_2 - r_1}{\varphi_2 r_2 - \varphi_1 r_1} = 300 \text{ В.}$

3.20  $E = \frac{(q_1 - q_2)^2}{4\pi\epsilon_0 r^2} \left( \frac{1}{|q_1|} + \frac{1}{|q_2|} \right) = 990 \text{ В/м.}$

3.21  $E = 200 \text{ В/м.}$

3.22  $A = qEr = 6 \cdot 10^{-7}$  Дж.

3.23  $\Delta v = \sqrt{\frac{2e\Delta\phi}{m} + v_0^2} - v_0 = 2,1 \cdot 10^6$  м/с.

3.24  $v = \sqrt{v_0^2 + \left(\frac{Ee\Delta t}{m}\right)^2} = 7,1 \cdot 10^5$  м/с и направлена под углом

$\alpha = \arctg \frac{Ee\Delta t}{mv_0} = 45^\circ$  к направлению первоначальной скорости  $\vec{v}_0$ .

3.25 См. рис.6.18.

При условии  $0 \leq r < R$ :

$E(r) = 0, \varphi(r) = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 R}$ .

При условии  $r \geq R$  имеем

$\varphi(r) = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r},$

$E = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2}.$

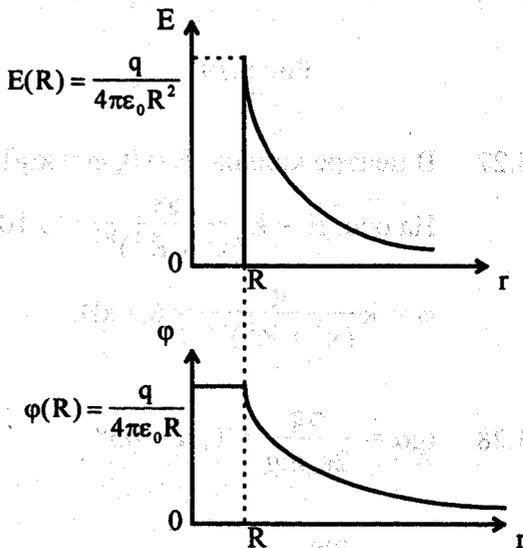
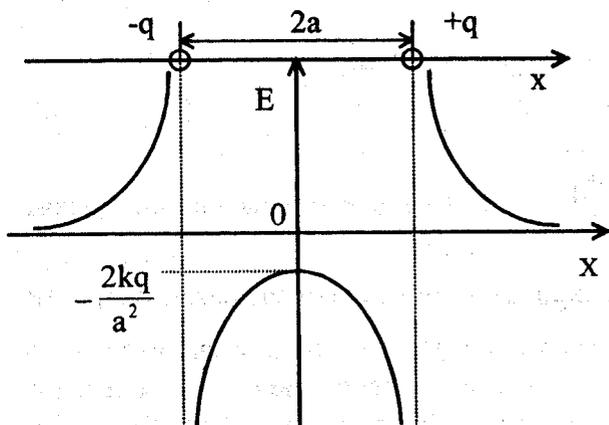


Рис.6.18

3.26 См. рис.6.19.



Если  $x > a$ , то

$$E = k \frac{4qa x}{(x^2 - a^2)^2}.$$

При  $0 < x < a$   $E = -$

$$\frac{2kq(a^2 + x^2)}{(a^2 - x^2)^2}.$$

Для  $x < 0$  картина симметрична.

Рис.6.19

3.27 В центре кольца:  $E = 0$ ,  $\varphi = kq/R = 9$  кВ.

На оси:  $E = k \frac{qx}{(x^2 + R^2)^{3/2}} = 3 \cdot 10^5$  В/м.

$$\varphi = k \frac{q}{(x^2 + R^2)^{1/2}} = 6,4$$
 кВ.

3.28  $\operatorname{tg} \alpha = \frac{\sigma q}{2\epsilon_0 mg} = 1$ ;  $\alpha = 45^\circ$ .

3.29  $\operatorname{tg} \alpha = \frac{mg}{Eq} = 1$ ;  $\alpha = 45^\circ$ .

3.30  $v = \sqrt{\frac{l \cdot \sin^2 \alpha (mg + Eq)}{m \cdot \cos \alpha}}$ ;  $F_H = \frac{mg + Eq}{\cos \alpha}$ .

$$3.31 \quad M = qEl \sin \alpha.$$

$$3.32 \quad S = \frac{Ul(l+2L)}{4dU_a} = 3,5 \text{ см.}$$

$$3.33 \quad d = l \sqrt{\frac{U}{2U_0}} = 1 \text{ см.}$$

$$3.34 \quad T = 3(mg + Eq) = 0,45 \text{ Н.}$$

**Указание:** Запишите второй закон Ньютона для шарика в нижней точке траектории и закон сохранения энергии шарика: кинетическая энергия равна сумме изменения потенциальной энергии шарика и работы электрического поля.

$$3.35 \quad r = 1 \text{ мм.}$$

$$3.36 \quad r = \frac{q}{\sqrt{4\pi\epsilon_0 \mu mg}}.$$

$$3.37 \quad C = 885 \text{ пФ.}$$

$$3.38 \quad C = \frac{4\pi\epsilon_0\epsilon R_1 R_2}{R_2 - R_1}; \text{ при } d \ll R_1, R_2$$

считаем  $R_1 \cong R_2$  и  $C = \epsilon_0\epsilon S/d$ .

3.39 Не будет.

3.40 а)  $q = \text{const}$ ;  $U$ ,  $E$ ,  $W$  — уменьшается в три раза;

б)  $U = \text{const}$ ;  $E = \text{const}$ ;  $W$ ,  $q$  — увеличится в три раза.

$$3.41 \quad W = \epsilon\epsilon_0 VE^2/2 = 1,1 \cdot 10^{-3} \text{ Дж.}$$

$$3.42 \quad Q = \frac{q^2}{8\pi\epsilon_0 R} = 30 \text{ мкДж.}$$

$$3.43 \quad A = \frac{q^2 d}{2\epsilon_0 S} \left(1 - \frac{1}{\epsilon}\right) = 5 \cdot 10^{-7} \text{ Дж.}$$

$$3.44 \quad A = \frac{CU^2}{2} (k-1) = 0,06 \text{ Дж.}$$

$$3.45 \quad C_{2,3} = \frac{C_a - C_1}{2} \pm \sqrt{\frac{C_a - C_1}{4(C_1 - C_0)} (C_a C_1 - C_1^2 - C_0 C_a - 3C_0 C_1)};$$

$C_2 = 3 \text{ мкФ}, C_3 = 6 \text{ мкФ (или наоборот).}$

$$3.46 \quad C_1/C_0 = 1/(1-k) = 1,25.$$

$$3.47 \quad C_1/C_0 = \frac{\epsilon}{\epsilon(1-k) + k} = 1,2.$$

$$3.48 \quad U_1 = \frac{C_2 U}{C_1 + C_2} = 13,3 \text{ В}; U_2 = \frac{C_1 U}{C_1 + C_2} = 6,7 \text{ В};$$

$E_1 = U_1/d = 1,33 \cdot 10^4 \text{ В/м}; E_2 = U_2/d = 6,7 \cdot 10^3 \text{ В/м.}$

$$3.49 \quad q_1^* = \frac{C_1(q_2 - q_1)}{C_1 + C_2} = 2 \cdot 10^{-6} \text{ Кл}; q_2^* = \frac{C_2(q_2 - q_1)}{C_1 + C_2} = 3 \cdot 10^{-6} \text{ Кл.}$$

**Решение:** При параллельном соединении разноименно заряженными пластинами общий заряд батареи  $q = q_2 - q_1$ , а емкость  $C = C_1 + C_2$ . Поэтому напряжение на конденсаторах будет  $U = q/C = \frac{q_2 - q_1}{C_1 + C_2}$ . В результате  $q_1^* = C_1 U$ ,  $q_2^* = C_2 U$ .

$$3.50 \quad \Delta\varphi_1 = \Delta\varphi \frac{2C_1 C_2}{(C_1 + C_2)^2} = 40 \text{ В.}$$

$$3.51 \quad C_{\text{общ}} = C_1 + C_2 = 10 \text{ мкФ}; U_{\text{общ}} = \frac{C_1 U_1 + C_2 U_2}{C_1 + C_2} = 280 \text{ В};$$

$$W = \frac{C_{\text{общ}} U_{\text{общ}}^2}{2} = 0,4 \text{ Дж.}$$

$$3.52 \quad \Delta W = -CU^2/4.$$

$$3.53 \quad U_1 = 2U_0/(1+\epsilon) = 25 \text{ В.}$$

$$3.54 \quad U_1/U_{10} = 2\epsilon/(\epsilon+1) = 1,5.$$

$$3.55 \quad q = (C_1 + C_2)U = 1,5 \cdot 10^{-4} \text{ Кл}; U' = \frac{(C_1 + C_2)U}{C_1 + \epsilon C_2} = 18,75 \text{ В.}$$

3.56 Заряды перемещаются от шара с  $R_1 = 5 \text{ см}$  к шару с  $R_2 = 10 \text{ см}$ .  $q_1 = \frac{2qR_1}{R_1 + R_2} = 13,3 \text{ нКл}$ ;  $q_2 = \frac{2qR_2}{R_1 + R_2} = 26,7 \text{ нКл}$ .  
 $\varphi = q_1/(4\pi\epsilon_0 R_1) = 2400 \text{ В}$ .

$$3.57 \quad \varphi_1 = \varphi R_1/R_2 = 1200 \text{ В.}$$

$$3.58 \quad \Delta W = \frac{C_1 C_2 (\varphi_1 - \varphi_2)^2}{2(C_1 + C_2)}.$$

$$3.59 \quad F = \frac{\epsilon_0 U^2 (\epsilon - 1) l}{2d} = 2,7 \cdot 10^{-2} \text{ Н.}$$

**Решение:** При выдвигании пластины на некоторое расстояние  $x$  в конденсаторе образуются две области. В той области, где диэлектрик есть, плотность энергии электрического поля  $w_1 = \epsilon\epsilon_0 E^2/2$ , где  $E = U/d$  – напряженность электрического поля. В области, в которой диэлектрика нет,  $w_2 = \epsilon_0 E^2/2$ . В объеме  $V = l \cdot x \cdot d$  до и после выдвигания пластины была сосредоточена энергия  $W_1 = w_1 \cdot V$  и  $W_2 = w_2 \cdot V$ . Разность энергий  $W_1$  и  $W_2$  равна работе силы, втягивающей диэлектрическую пластину в зазор между обкладками:  $F \cdot x = W_1 - W_2$ . Таким образом,  $F \cdot x = \frac{\epsilon\epsilon_0 E^2}{2} l x d - \frac{\epsilon_0 E^2}{2} l x d$ . Отсюда,  $F = \frac{\epsilon_0 U^2 (\epsilon - 1) l}{2d}$ .

$$3.60 \quad N = 6 \cdot 10^{18}.$$

$$3.61 \quad v = 6,25 \cdot 10^{-4} \text{ м/с.}$$

$$3.62 \quad v = \frac{I \mu}{S N_a p e} = 1,86 \cdot 10^{-5} \text{ м/с.}$$

$$3.63 \quad p = \frac{m l l}{e} = 1,14 \cdot 10^{-11} \text{ кг} \cdot \text{м/с.}$$

$$3.64 \quad F = I \sqrt{\frac{2Um}{e}} = 2 \cdot 10^{-7} \text{ Н.}$$

$$3.65 \quad R_2/R_1 = k^4 = 16.$$

$$3.66 \quad R_2/R_1 = k^2 = 4.$$

$$3.67 \quad R = 22 \text{ Ом.}$$

$$3.68 \quad R_{1,2} = \frac{R_0}{2} \pm \sqrt{\frac{R_0^2}{4} - R_0 R_a};$$

$R_1 = 20 \text{ Ом}, R_2 = 30 \text{ Ом}$  (или наоборот).

$$3.69 \quad n = \sqrt{R_1 / R_2} = 7.$$

$$3.70 \quad R = 6 \text{ Ом}.$$

$$3.71 \quad R_{06} = R/3.$$

$$3.72 \quad R_{06} = R/4.$$

$$3.73 \quad R = 1,5r.$$

$$3.74 \quad U = 60 \text{ В}.$$

$$3.75 \quad I = \frac{I_2}{R_1 R_3} (R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_3 R_1) = 0,8 \text{ А}.$$

$$3.76 \quad U_n = \frac{UR}{10 \left( r + \frac{R}{10} \right)}.$$

$$3.77 \quad Q = 3,6 \text{ кДж}.$$

$$3.78 \quad R = 484 \text{ Ом}.$$

3.79 Если лампы включить последовательно, то на каждой из них будет рабочее напряжение  $U = U_0/2$ .

3.80 Т.к. сопротивление лампы  $R_{л} = U^2/P = 144 \text{ Ом}$ , а  $U = U_0/2$ , то последовательно с имеющейся лампой достаточно соединить сопротивление с  $R = R_{л} = 144 \text{ Ом}$ .

3.81  $P = 6,6 \cdot 10^6 \text{ Вт}$ .  
 $W = 52,8 \cdot 10^3 \text{ кВт-ч}$ .

3.82  $P_3 = \frac{P_1 R_2^2 R_3}{R_1 (R_2 + R_3)^2} = 12 \text{ Вт}$ .

3.83  $t_{\text{посл}} = t_1 + t_2 = 40 \text{ мин}$ ,  $t_{\text{пар}} = \frac{t_1 t_2}{t_1 + t_2} = 7,5 \text{ мин}$ .

3.84  $W = 238 \text{ МДж}$ ,  
 $Q = 32,4 \text{ МДж}$ ,  
 $A = 205 \text{ МДж}$ ,  
 $\eta = 0,86$ .

3.85  $\eta = 0,6$ .

3.86  $v = IU\eta/F = 0,25 \text{ м/с}$ .

3.87  $F = 3 \cdot 10^4 \text{ Н}$ .

3.88  $v = \frac{IU\eta}{2F} = 11,4 \text{ м/с}$ .

3.89  $I = \frac{mgh}{Ut\eta} = 35 \text{ А}$ ,  $N = \frac{mgh}{t\eta} = 7,7 \text{ кВт}$ .  
 $W = mgh/\eta = 1,4 \text{ МДж}$ .

$$3.90 \quad \eta = \frac{\rho V c (T_2 - T_1)}{I U t} = 0,43.$$

$$3.91 \quad t = \frac{\Delta T (cm + C)}{I^2 R} = 627 \text{ с} = 10,5 \text{ мин.}$$

$$3.92 \quad \Delta T = \frac{U^2 t \eta}{(c_1 m_1 + c_2 m_2) R} = 30,6 \text{ К.}$$

$$3.93 \quad S = \frac{P l \rho}{0,02 U^2} = 13,2 \text{ мм}^2.$$

$$3.94 \quad U = \sqrt{\frac{\eta P}{R_n} \left( R_n + \frac{R_n}{\eta} \right)}.$$

$$3.95 \quad U = 9 \text{ В.}$$

$$3.96 \quad U = 9 \text{ В.}$$

$$3.97 \quad r = \frac{I_2 R_2 - I_1 R_1}{I_1 - I_2} = 1 \text{ Ом.}$$

$$3.98 \quad r = \frac{R_1 (\varepsilon - I_2 R_2)}{I_2 (R_1 + R_2)} = 2 \text{ Ом.}$$

$$3.99 \quad R_2 = \frac{\varepsilon (I_1 - I_2)}{I_1 I_2} = 20 \text{ Ом.}$$

$$3.100 \quad \varepsilon = \frac{U_1 I_2 - U_2 I_1}{I_2 - I_1} = 2 \text{ В}; \quad r = \frac{U_1 - U_2}{I_2 - I_1} = 1 \text{ Ом};$$

$$I_{к.з.} = \frac{U_1 I_2 - U_2 I_1}{U_1 - U_2} = 2 \text{ A.}$$

$$3.101 \quad I = \frac{\varepsilon - \Delta\varphi}{r + R_1 + R_2} = 9,9 \cdot 10^{-2} \text{ A.}$$

$$3.102 \quad R = U^2/P = 200 \text{ Ом; Не будет,}$$

$$\text{т.к. } P' = \left( \frac{\varepsilon}{R + r} \right)^2 R = 42,4 \text{ Вт} < P.$$

$$3.103 \quad P = \frac{\varepsilon^2 (R_1 R_n)^2}{(R_1 + R_n)^2 \left( r + \frac{R_1 R_n}{R_1 + R_n} \right)^2 R_n} = 128 \text{ Вт.}$$

$$3.104 \quad r = \sqrt{R_1 R_2}.$$

$$3.105 \quad r = R = 100 \text{ Ом; } \varepsilon = I_1(2R + r) = 300 \text{ В.}$$

$$3.106 \quad P = \frac{\varepsilon^2}{4r} = 70 \text{ Вт; } R = \frac{5}{3} \frac{r\eta}{1 - \eta} = 60 \text{ Ом.}$$

$$3.107 \quad \tau = \frac{cm(t_{\text{кнп}} - t_0)}{I(\varepsilon - Ir)\eta} = 3620 \text{ с.}$$

$$3.108 \quad q_1 = \frac{\varepsilon R_3 C_1}{r + R_1 + R_3}; \quad q_2 = \frac{\varepsilon R_3 C_2}{r + R_1 + R_3}.$$

$$3.109 \quad q = \frac{\varepsilon RC}{(R + r)^2} = 6 \cdot 10^{-6} \text{ Кл.}$$

$$3.110 \quad U_1 = \frac{\varepsilon R_2 C_2}{(R_1 + R_2)(C_1 + C_2)} = 7,2 \text{ В};$$

$$U_2 = \frac{\varepsilon R_2 C_1}{(R_1 + R_2)(C_1 + C_2)} = 1,8 \text{ В}.$$

$$3.111 \quad I = U\varepsilon_0(\varepsilon - 1)n\nu = 13 \text{ нА}.$$

$$3.112 \quad R = \frac{rmd^2v_0^2}{(el^2\varepsilon - md^2v_0^2)}.$$

$$3.113 \quad I_1 = \frac{2\varepsilon}{R + 2r} = 1,5 \text{ А}, \quad I_2 = \frac{\varepsilon}{R + \frac{r}{2}} = 1,2 \text{ А}.$$

Лампочка будет светить более ярко при последовательном соединении батареек.

$$3.114 \quad I = \frac{n\varepsilon}{R + nr} = 0,42 \text{ А}; \quad U = \frac{n\varepsilon R}{R + nr} = 4,2 \text{ В}.$$

$$3.115 \quad R = r_1 - r_2 = 1 \text{ Ом}.$$

$$3.116 \quad U_{AB} = \frac{\varepsilon_2 r_1 + \varepsilon_1 r_2}{r_1 + r_2} = 2,4 \text{ В}.$$

$$3.117 \quad I = \frac{\varepsilon_2 + \varepsilon_1}{r_1 + r_2 + R} = 1 \text{ А}; \quad N = 1 \text{ Вт}.$$

$$3.118 \quad \varepsilon_6 = 3\varepsilon; \quad r_6 = 7r/3.$$

3.119 Последовательно.

Указание: При последовательном соединении  $I_1 = \frac{n\varepsilon}{R + nr} = 6 \text{ A}$ ,

а при параллельном  $I_2 = \frac{\varepsilon}{R + r/n} = 2,8 \text{ A}$ .

$$3.120 \quad I = \frac{\varepsilon_{\text{общ}}}{R + r_{\text{общ}}} = 1 \text{ A, где } r_{\text{общ}} = 2r/3, \varepsilon_{\text{общ}} = 2\varepsilon.$$

$$3.121 \quad \eta = qU/W = 0,72.$$

$$3.122 \quad U = \varepsilon + Ir = 13 \text{ B.}$$

$$3.123 \quad \varepsilon = U - Ir = 23 \text{ B.}$$

$$3.124 \quad R = \frac{U - \varepsilon - Ir}{I} = 1 \text{ Ом; } Q = I^2 rt = 8,64 \text{ кДж.}$$

$$3.125 \quad m_2 = m_1 k_M / k_C = 0,6 \text{ кг.}$$

$$3.126 \quad C = TUm/k = 40 \text{ р } 25 \text{ коп.}$$

$$3.127 \quad I = \frac{m}{kt} + \Delta I = 1,7 \text{ A при завышении показаний,}$$

$$I = \frac{m}{kt} - \Delta I = 1,3 \text{ A при их занижении.}$$

3.128 В пределах заданной погрешности амперметр дает правильные показания.

**Решение:** Сила тока в цепи  $I_0 = \frac{m}{kt} = 168,4$  мА. Пределы показания амперметра  $I = I_A \pm \Delta I = I_A \pm I_A \frac{\Delta I}{I} = (170 \pm 2,6)$  мА. Таким образом,  $167,4$  мА  $< I_0 < 172,6$  мА.

$$3.129 \quad N = 2,5 \cdot 10^{16}.$$

$$3.130 \quad q = \frac{pV\mu}{RTk} = 2,3 \cdot 10^9 \text{ Кл.}$$

$$3.131 \quad v = \sqrt{\frac{2e\varphi}{m}} = 2,9 \cdot 10^6 \text{ м/с.}$$

$$3.132 \quad n = \frac{j_n}{el} = 4 \cdot 10^7 \text{ м}^{-3} \cdot \text{с}^{-1}.$$

$$3.133 \quad I = \frac{M}{Bl^2 \sin \alpha} = 0,2 \text{ А.}$$

$$3.134 \quad q = \frac{2BR}{\mu_0 v} = 3 \cdot 10^{-5} \text{ Кл.}$$

$$3.135 \quad F = \frac{\mu_0 I^2 l}{2\pi b} = 9 \cdot 10^{-3} \text{ Н.}$$

$$3.136 \quad F = 0,6 \text{ Н.}$$

$$3.137 \quad I = \frac{mg}{Bl} = 49 \text{ А.}$$

$$3.138 \quad F = 4,8 \cdot 10^{-14} \text{ Н.}$$

$$3.139 \quad \omega = eB/m = 3,52 \cdot 10^9 \text{ рад/с.}$$

$$3.140 \quad N = \frac{eBt}{2\pi m} = 1,4 \cdot 10^{10}.$$

$$3.141 \quad W = qvBr/2 = 4,8 \cdot 10^{-20} \text{ Дж.}$$

$$3.142 \quad \text{а) } R_p/R_\alpha = 0,5; \text{ б) } R_p/R_\alpha = 2; \text{ в) } R_p/R_\alpha = 1.$$

$$3.143 \quad R = \frac{mv \cdot \sin \alpha}{eB} = 2,84 \text{ мм, } h = \frac{2\pi mv \cdot \cos \alpha}{eB} = 3,1 \text{ см.}$$

$$3.144 \quad a = \frac{e}{m} \sqrt{E^2 + (Bv \cdot \sin \alpha)^2} = 3,5 \cdot 10^{14} \text{ м/с}^2.$$

**Указание:** Учесть, что силы, действующие на электрон со стороны электрического и магнитного полей направлены под углом  $90^\circ$  друг к другу.

$$3.145 \quad v = E/B = 10^6 \text{ м/с.}$$

$$3.146 \quad t = BR/E = 10^{-3} \text{ с.}$$

$$3.147 \quad a_n/a_t = eBt/m = 176.$$

$$3.148 \quad \Phi = BS \cos(\pi/2 - \alpha) = 5 \cdot 10^{-4} \text{ Вб.}$$

$$3.149 \quad A = IB/S = 2,52 \text{ Дж.}$$

$$3.150 \quad A = IB\omega t = 0,02 \text{ Дж; } P = IB\omega = 4 \cdot 10^{-3} \text{ Вт.}$$

$$3.151 \quad A = 2BIa^2 = 0,012 \text{ Дж.}$$

$$3.152 \quad |\varepsilon| = \frac{B_2 - B_1}{\Delta t} S = 0,04 \text{ В.}$$

$$3.153 \quad I = \left| \frac{\Delta B}{\Delta t} \right| \frac{S}{R} = 1,5 \text{ мА.}$$

$$3.154 \quad q = \left| \frac{\Delta B}{\Delta t} \right| \pi R^2 C = 2,7 \cdot 10^{-8} \text{ Кл.}$$

$$3.155 \quad q = BSn \cos \alpha / R = 1,2 \cdot 10^{-3} \text{ Кл.}$$

$$3.156 \quad q = \frac{BSR \cdot \sin \varphi}{2\rho} = 0,25 \text{ Кл.}$$

$$3.157 \quad |\varepsilon| = 0,05 \text{ В.}$$

$$3.158 \quad v = \frac{\varepsilon}{B\pi l^2} = 1,6 \text{ с}^{-1}.$$

$$3.159 \quad v = \frac{Rmg(\sin \alpha - \mu \cdot \cos \alpha)}{B^2 l^2}.$$

$$3.160 \quad |\varepsilon| = 10 \text{ В.}$$

$$3.161 \quad t = 5 \cdot 10^{-3} \text{ с.}$$

$$3.162 \quad \varphi_A - \varphi_B = IR + L\Delta I / \Delta t = (2t + 0,2) \text{ В.}$$

$$3.163 \quad W = N\Phi I / 2 = 3 \text{ Дж.}$$

$$3.164 \quad L = \frac{\Delta W}{I \Delta I} = 2,5 \cdot 10^{-3} \text{ Гн.}$$

$$3.165 \quad Q = \frac{1}{2} (CU^2 - CU_1^2 - LI_1^2) = 1,9 \text{ Дж,}$$

$$P = I_1^2 R = 100 \text{ Вт.}$$

### Колебания и волны

4.1 Период колебаний будет увеличиваться, так как в процессе вытекания воды увеличивается расстояние от точки подвеса маятника до центра тяжести ведра с водой.

$$4.2 \quad l_1 = \frac{n_2^2 \Delta l}{n_1^2 - n_2^2} = 9 \text{ см; } l_2 = \frac{n_1^2 \Delta l}{n_1^2 - n_2^2} = 25 \text{ см.}$$

$$4.3 \quad l_1/l_2 = n_2^2/n_1^2 = 0,25.$$

$$4.4 \quad T_1 = T \sqrt{\frac{g}{g+a}} = 0,9 \text{ с.}$$

$$4.5 \quad T = \pi \sqrt{\frac{l}{g}} (1 + \sqrt{0,5}).$$

$$4.6 \quad \frac{T_n}{T_3} = \sqrt{\frac{g_3}{g_n}} = \sqrt{\frac{M_3 R_n^2}{M_n R_3^2}} = 2,43.$$

$$4.7 \quad T = \sqrt{T_1^2 + T_2^2}.$$

$$4.8 \quad \tau = \tau_0(\sqrt{1 + \alpha t_1} - 1) = 24,6 \text{ с, где } \tau_0 = 86400 \text{ с.}$$

$$4.9 \quad T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g + \frac{Eq}{m}}}.$$

$$4.10 \quad T = 2\pi \sqrt{\frac{ml}{F}} = 1,3 \text{ с.}$$

$$4.11 \quad k = 2E_{\text{км}}/A^2 = 2500 \text{ Н/м.}$$

$$4.12 \quad T = 2\pi \sqrt{\frac{m(x_1^2 - x_2^2)}{2\Delta A}} = 0,314 \text{ с.}$$

4.13 Уменьшится в два раза.

$$4.14 \quad T = \pi \sqrt{\frac{ml}{F}} = 0,2 \text{ с.}$$

$$4.15 \quad T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{gS\rho}} = 2 \text{ с.}$$

$$4.16 \quad t = \pi \sqrt{\frac{R_3}{g}} = 42 \text{ мин. } 10 \text{ с.}$$

$$4.17 \quad v = \frac{l}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{l_1}} = 12,5 \text{ м/с.}$$

$$4.18 \quad x = A \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{T}t + \varphi_0\right) = 0.$$

$$4.19 \quad \varphi = \frac{2\pi}{T}t + \frac{\pi}{2} = 3\pi/2.$$

$$4.20 \quad x = 10 \cdot \sin\left(\frac{2\pi N}{t_1}t + \frac{\pi}{4}\right) \text{ см.}$$

$$4.21 \quad x = \frac{2E}{F_m} \sin\left(\frac{2\pi t}{T} + \varphi_0\right) = 4 \cdot 10^{-2} \cdot \sin\left(\pi t + \frac{\pi}{6}\right) \text{ м.}$$

$$4.22 \quad t = T/6.$$

**Указание:** Решить тригонометрическое уравнение для случаев  $x = A/2$  и  $x = -A/2$ . Наименьшее время выбрать в качестве ответа задачи.

$$4.23 \quad t = \frac{\pi}{3} \sqrt{\frac{l}{g}} \approx 0,33 \text{ с.}$$

**Указание:** Закон движения маятника имеет вид:  $x = x_0 \cos \frac{2\pi}{T}t$ ,

где  $T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$ .

4.24  $t_1/t_2 = 2\sqrt{2}/\pi \approx 0,9$ . Раньше достигнет нижнего положения шарик, поднятый до точки подвеса.

$$4.25 \quad S = 4Avt = 120 \text{ м.}$$

**Указание:** Путь, который проходит точка за одно колебание, равен  $4A$ .

4.26  $\lambda = 25 \text{ м.}$

4.27  $S = \frac{v_1 v_2}{v_2 - v_1} t = 707 \text{ м.}$

4.28  $v = \frac{NI}{t} = 2,4 \text{ м/с.}$

4.29  $y = 0,2 \cdot \sin \omega \left( t - \frac{x}{10} \right) \text{ м.}$

4.30  $\Delta\varphi = 2\pi l v / \omega = \pi/3.$

4.31  $\lambda = vT = 18 \text{ м; } \varphi = \frac{2\pi}{T} \left( t - \frac{x}{v} \right) = 5,23 \text{ рад;}$

$$y = A \cdot \sin \frac{2\pi}{T} \left( t - \frac{x}{v} \right) = 2 \cdot 10^{-2} \cdot \sin 5,23 = -1,74 \cdot 10^{-2} \text{ м.}$$

4.32 Уменьшилась в два раза.

4.33  $T_2/T_1 = \sqrt{k+1} = 3$ , увеличится в 3 раза.

4.34  $L = 12,8 \text{ мГн.}$

4.35  $v = \frac{1}{2\pi \sqrt{L \frac{\epsilon \epsilon_0 S}{d}}} = 505 \text{ кГц.}$

4.36  $L = \frac{1}{C\omega^2}; q_0 = I_0/\omega.$

4.37 В случае максимальных значений  $W_3 = W_m = CU_d^2 = 0,128$  мкДж.

$$4.38 \quad Q = \frac{CU_0^2(k^2 - 1)}{2k^2} = 0,6 \text{ Дж.}$$

$$4.39 \quad d_2/d_1 = v^2\lambda^2/c^2 = 1/64 \text{ (} c \text{ — скорость света).}$$

$$4.40 \quad \lambda = \frac{2\pi c q_0}{I_0} = 188 \text{ м (} c \text{ — скорость света).}$$

$$4.41 \quad \nu = 6 \cdot 10^{14} \text{ Гц.}$$

$$4.42 \quad \lambda = 150 \text{ м.}$$

$$4.43 \quad \varepsilon = 2\pi NBS/T = 25 \text{ В.}$$

$$4.44 \quad \varepsilon_d = \frac{\varepsilon}{\sqrt{2} \cdot \sin \varphi} = 200 \text{ В.}$$

$$4.45 \quad I_m = U_m \cdot 2\pi fC = 3,1 \text{ мкА.}$$

$$4.46 \quad I_m = \frac{U_m}{2\pi fL} = 1,9 \text{ А.}$$

$$4.47 \quad \text{а) } I = U/R = 50 \text{ А; б) } I_d = \frac{U}{2\pi\nu L} = 0,8 \text{ А, т.к. } 2\pi\nu L \gg R.$$

$$4.48 \quad I_d = \frac{U}{\sqrt{R^2 + \left(2\pi\nu L - \frac{1}{2\pi\nu C}\right)^2}} = 1 \text{ A}; U_R = I_d R = 20 \text{ В},$$

$$U_L = I_d \cdot 2\pi\nu L = 126 \text{ В}, U_C = I_d \frac{1}{2\pi\nu C} = 26,5 \text{ В}.$$

$$4.49 \quad Q = \left(\frac{I_0}{\sqrt{2}}\right)^2 R t = 7,2 \text{ МДж}.$$

$$4.50 \quad m = \frac{U^2 \tau (1 + \alpha t_0)}{rR(1 + \alpha t)} = 4,9 \text{ г}, \text{ где } t = 100^\circ\text{C}.$$

$$4.51 \quad \Delta t = T/3 \text{ (здесь } T \text{ период переменного тока)}.$$

$$4.52 \quad \eta = \frac{I_2 U_2}{I_1 U_1} = 0,91.$$

$$4.53 \quad U_2 = U_1/k - Ir = 36 \text{ В}, \eta = U_2 k/U_1 = 0,9.$$

$$4.54 \quad \omega_2 = (U_2 + Ir)\omega_1/U_1 = 500.$$

$$4.55 \quad \eta = \frac{U_2}{U_2 + Ir} = 0,8; k = \frac{U_1}{U_2 + Ir} = 10.$$

## Оптика и строение вещества

$$5.1 \quad x = \frac{hl}{H-h} = 2 \text{ м.}$$

$$5.2 \quad H = \frac{h(l_1 - l_2 + \nu l)}{l_1 - l_2} = 8,5 \text{ м.}$$

$$5.3 \quad R_1 = \frac{Hr - hR}{H - h} = 0,05 \text{ м; } R_2 = \frac{Hr + hR}{H - h} = 0,2 \text{ м.}$$

$$5.4 \quad \Delta = 2l = 2 \text{ м.}$$

$$5.5 \quad x = 2l = 20 \text{ см.}$$

5.6 Не увидит (постройте изображение человека в плоском зеркале).

$$5.7 \quad l = L/2 = 90 \text{ см.}$$

$$5.8 \quad x = 2l \cdot \sin \alpha = 20 \text{ см.}$$

$$5.9 \quad \beta = \pi/2 - \alpha = 65^\circ.$$

$$5.10 \quad \alpha = \pi/4 + \beta/2 = 60^\circ.$$

$$5.11 \quad \alpha = 67^\circ 30'.$$

$$5.12 \quad 2\beta.$$

5.13 Изображение останется на месте.

$$5.14 \quad n = n_c/n_b = 1,12.$$

$$5.15 \quad n_2/n_1 = d_1/d_2 = 1,2.$$

$$5.16 \quad \beta = \arcsin\left(\frac{\sin \alpha}{n}\right) = 35^\circ 16'.$$

$$5.17 \quad \beta = \pi/2 - \operatorname{arctg} n = 37^\circ.$$

5.18  $\gamma_1 = \gamma_2 = 19,47^\circ$ ; неточность в определении угла преломления связана с дисперсией света.

$$5.19 \quad l_1 = h_1 \operatorname{ctg} \alpha = 1,8 \text{ м}; \quad l_2 = h_1 \operatorname{ctg} \alpha + h_2 \operatorname{tg} \beta = 3,9 \text{ м}, \text{ где} \\ \sin \beta = \frac{\cos \alpha}{n} = 0,576; \quad \beta = 35^\circ 10'.$$

$$5.20 \quad l = h \left( \operatorname{tg} \alpha - \frac{\sin \alpha}{\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha}} \right) \approx 0,12 \text{ м}.$$

$$5.21 \quad h = H/n = 0,75 \text{ м}.$$

$$5.22 \quad h = d \cdot \sin \alpha \left[ 1 - \frac{\cos \alpha}{\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha}} \right] = 0,97 \text{ см}.$$

$$5.23 \quad d = \frac{b \sqrt{1 - n^2 \sin^2 \alpha}}{\cos \alpha} = 7,6 \text{ см}.$$

$$5.24 \quad \alpha = \arcsin \frac{1}{n} = 38,7^\circ.$$

$$5.25 \quad n = 1/\sin \alpha_n = 2.$$

$$5.26 \quad v = c \cdot \sin \alpha_n = 2,12 \cdot 10^8 \text{ м/с.}$$

$$5.27 \quad r = \frac{H}{\sqrt{n^2 - 1}} = 4,56 \text{ м.}$$

$$5.28 \quad r = R n_2 / n_1.$$

5.29 См. рис.6.20

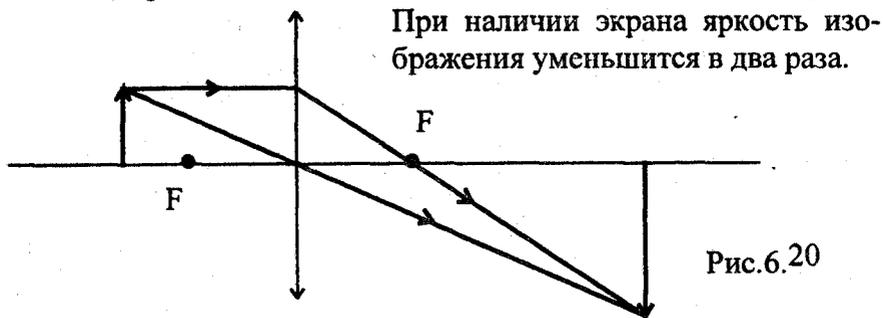


Рис.6.20

5.30 См. рис.6.21

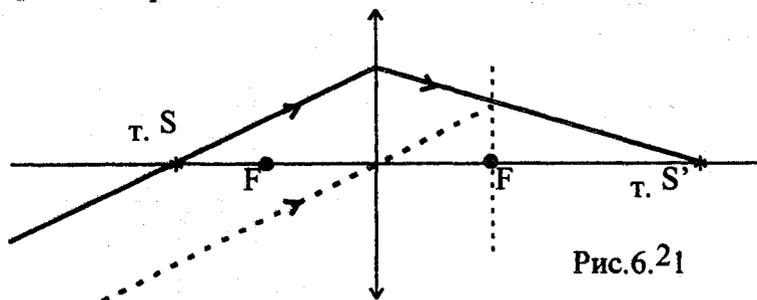


Рис.6.21

5.31 См. рис.6.22

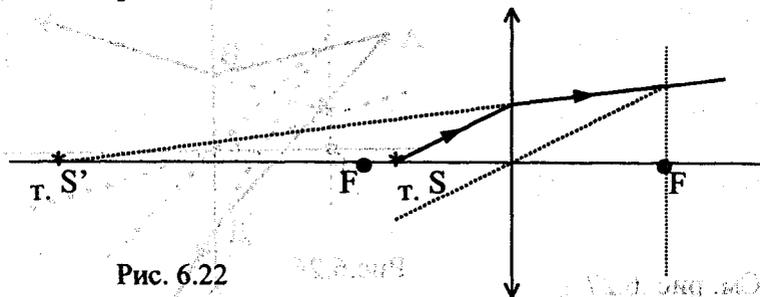


Рис. 6.22

5.32 См. рис.6.23

5.33 См. рис.6.24

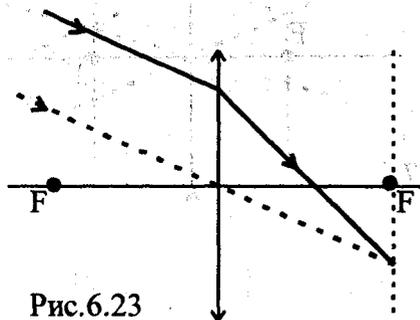


Рис.6.23

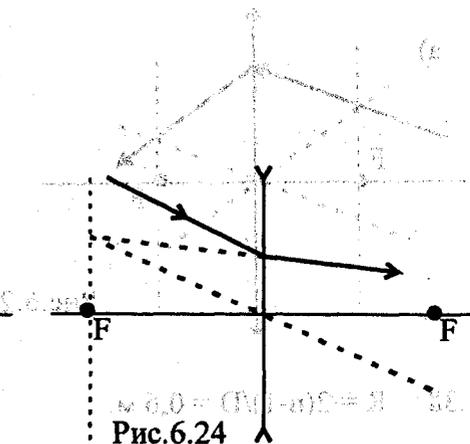


Рис.6.24

5.34 Изображения не удастся построить, т.к. оно получается в бесконечности.

5.35 См. рис.6.25

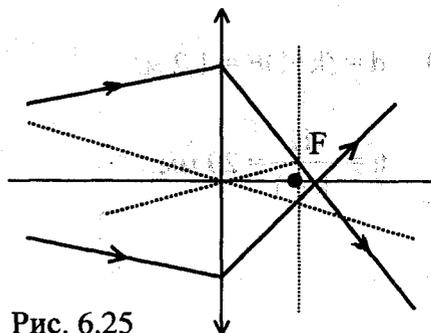


Рис. 6.25

5.36 См. рис.6.26

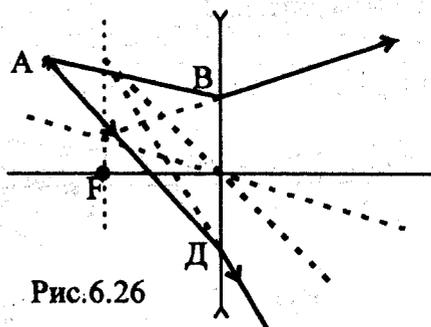


Рис.6.26

5.37 См. рис.6.27

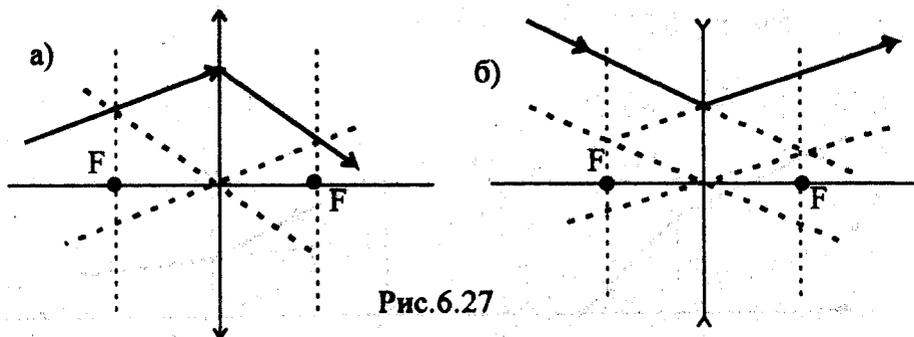


Рис.6.27

5.38  $R = 2(n-1)/D = 0,6 \text{ м.}$

5.39  $F = \frac{n_s(n_c - 1)}{D(n_c - n_s)}$

5.40  $d = (k+1)F = 1,2 \text{ м.}$

5.41  $h = \frac{H}{k-1} = 20 \text{ мм.}$

5.42  $f = -\frac{Fk}{k+1} = -15$  см (знак "-" означает, что изображение мнимое).

5.43  $k = 2$ .

5.44  $\Delta = \frac{F^2}{d-F}$ .

5.45  $k = 0,1; d = F(k+1)/k = 55$  см.

5.46  $k = f/F - 1$ .

5.47  $F = \frac{l^2 - x^2}{4l} = 24$  см.

5.48  $h_2/h_1 = \frac{d_1}{|2d_2 - d_1|} = 12,5$ .

5.49  $d = 2F$ .

**Решение:** Из формулы для собирающей линзы  $\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F}$  выра-

зим  $f = \frac{dF}{d-F}$ , (так как изображение действительное, то необходимо, чтобы  $d > F$ ). Расстояние между предметом и его изобра-

жением  $l = d+f = d + \frac{dF}{d-F} = \frac{d^2}{d-F}$ . По условию это расстояние минимальное. Вычислим производную от  $l$  по  $d$  и приравняем

нулю:  $\left(\frac{d^2}{d-F}\right)' = \frac{d^2 - 2dF}{(d-F)^2} = 0$ . Отсюда  $d = 2F$  (решение  $d = 0$  не подходит).

$$5.50 \quad D = \frac{1}{d} - \frac{1}{l} = 3 \text{ дп.}$$

$$5.51 \quad D = -\frac{l}{a(a-l)} = -3,3 \text{ дп.}$$

$$5.52 \quad d_2 = |2d - d_1| = 3 \text{ см.}$$

$$5.53 \quad v_1 = \frac{vF}{d-F} = 0,2 \text{ м/с.}$$

**Указание:** Если предмет движется в плоскости, перпендикулярной главной оптической оси,  $\frac{v_1}{v} = \frac{f}{d}$ .

$$5.54 \quad v_1 = \frac{\sqrt{2gh} \cdot h}{h-F}; \quad a = \frac{2gh}{h-F}.$$

**Решение:** Согласно закону сохранения энергии  $mv^2/2 = mgh$  и скорость линзы в нижнем положении  $v = \sqrt{2gh}$ , а ее угловая скорость вращения  $\omega = v/h = \sqrt{2gh}/h$ . Изображение точки  $O$  находится на расстоянии  $f$  от линзы. Определим его из формулы линзы  $\frac{1}{h} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F}$ ,  $f = \frac{hF}{h-F}$ . Радиус окружности, по которой движется изображение:  $r = h + f = \frac{h^2}{h-F}$ .

Скорость движения изображения

$$v_1 = \omega r = \frac{\sqrt{2gh} \cdot h}{h - F}.$$

Так как в нижней точке траектории тангенциальное ускорение равно нулю, то ускорение изображения равно центростремительному:

$$a = \frac{v_1^2}{r} = \frac{2gh}{h - F}.$$

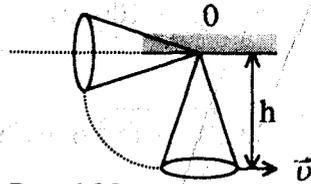


Рис.6.28

$$5.55 \quad d_2 = \frac{d_1}{1 + d_1 D}.$$

$$5.56 \quad f_1 = \frac{dF}{d - F}; \quad f_2 = \frac{(a - f_1)F}{a - f_1 - F};$$

$$k = \frac{f_1}{d} \times \frac{f_2}{(a - f_1)}.$$

$$5.57 \quad t_2 = \frac{I_1}{I_2} \left( \frac{r_2}{r_1} \right)^2 t_1.$$

5.58 а)  $k_1 = \frac{\Delta}{\lambda_1 / 2} = 5,26 \approx 5$ , ослабится, так как разность хода приблизительно соответствует нечетному числу полуволн;

б)  $k_2 = \frac{\Delta}{\lambda_2 / 2} = 10$ , усилится, так как разность хода соответствует четному числу полуволн.

$$5.59 \quad h = \frac{\lambda}{4n} = 100 \text{ нм.}$$

$$5.60 \quad 2d \sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha} = (2m+1) \frac{\lambda}{2}, \text{ где } m = (0, 1, 2, 3, \dots).$$

$$5.61 \quad k = d/\lambda \approx 3,3, \text{ т.е. } k = 3.$$

$$5.62 \quad N = \frac{\sin \varphi}{\lambda}.$$

$$5.63 \quad \lambda = \frac{dI}{L} = 4 \cdot 10^{-7} \text{ м.}$$

$$5.64 \quad n = \frac{cN}{s\nu} = 1,5; \text{ где } c - \text{ скорость света в вакууме.}$$

$$5.65 \quad \lambda = \frac{2hc}{m\nu_0^2 + 2eU} = 1,8 \cdot 10^{-7} \text{ м.}$$

$$5.66 \quad n = \frac{Nc}{S\nu} = 1,5.$$

$$5.67 \quad \lambda = 6,2 \cdot 10^{-7} \text{ м.}$$

$$5.68 \quad A = E/0,5 = 10^{-18} \text{ Дж.}$$

$$5.69 \quad U = \frac{hc - \lambda A}{\lambda e} = 1,1 \text{ В.}$$

$$5.70 \quad U_2 = h(\nu_2 - \nu_1)/e + U_1 = 15,3 \text{ В.}$$

$$5.71 \quad c-v = \frac{c}{2} \left( \frac{E_0}{E} \right)^2 = 17,5 \text{ м/с.}$$

**Решение:** Полная энергия электрона  $E = \frac{E_0}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}$ , где

$E_0 = m_0 c^2 = 0,512 \text{ МэВ}$  – энергия покоя электрона. Отсюда  $1 - \frac{v^2}{c^2} = \left( \frac{E_0}{E} \right)^2$ , или  $c^2 - v^2 = (c-v)(c+v) = c^2 \left( \frac{E_0}{E} \right)^2$ . Примем, что  $c+v \approx 2c$  ( $v \approx c$ , т.к.  $E \gg E_0$ ). В результате получаем  $c-v = \frac{c}{2} \left( \frac{E_0}{E} \right)^2$ .

$$5.72 \quad v = \frac{c}{k+1} \sqrt{k(k+2)} = 2,2 \cdot 10^8 \text{ м/с.}$$

**Указание:** Учтеть, что в релятивистской механике кинетическая энергия частицы  $E_k$  равна разности между полной энергией

$E = mc^2 = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}$  и энергией покоя  $E_0 = m_0 c^2$ .

$$5.73 \quad \Delta m = \frac{E}{c^2} 86400 \text{ с} = 3,5 \cdot 10^{14} \text{ кг.}$$

$$5.74 \quad \Delta m = \frac{eU}{c^2} = 1,6 \cdot 10^{-33} \text{ кг.}$$

$$5.75 \quad \nu = 3,38 \cdot 10^{15} \text{ Гц.}$$

$$5.76 \quad E = hc/\lambda = 6,2 \cdot 10^{-17} \text{ Дж;}$$

$$p = h/\lambda = 2,07 \cdot 10^{-25} \text{ кг} \cdot \text{м/с}.$$

$$5.77 \quad \lambda = nhc/P = 2 \cdot 10^{-6} \text{ м}.$$

$$5.78 \quad n_2 = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{\lambda R}}} = 5.$$

$$5.79 \quad \Delta m = Zm_p + (A-Z)m_n - m = 6,725 \cdot 10^{-29} \text{ кг}.$$

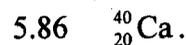
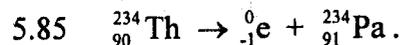
$$5.80 \quad E = [Zm_p + (A-Z)m_n - m]c^2 = 2,49 \cdot 10^{-11} \text{ Дж}.$$

5.81 Числом нейтронов.

$$5.82 \quad Z = (A-k)/2 = 84.$$

$$5.83 \quad N = 8mN_A/\mu = 8 \cdot 10^{25}.$$

$$5.84 \quad \eta = \frac{Nt\mu}{E_1 m N_A} = 0,39.$$



5.87  $\alpha$  – радиоактивность.

5.88 88 нейтронов.



5.90 8  $\alpha$  – распадов и 6  $\beta$  – распадов.

## Приложения

Приложение 1

### ЕДИНИЦЫ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН В СИ

Величина	Единица	
	наименование	обозначение
Длина	метр	м
Масса	килограмм	кг
Время	секунда	с
Плоский угол	радиан	рад
Телесный угол	стерадиан	ср
Сила, вес	ньютон	Н (кг·м/с <sup>2</sup> )
Давление	паскаль	Па (Н/м <sup>2</sup> )
Напряжение (механическое)	паскаль	Па
Модуль упругости	паскаль	Па
Работа, энергия	джоуль	Дж (Н·м)
Мощность	ватт	Вт (Дж/с)
Частота колебаний	герц	Гц (1/с)
Термодинамическая температура, разность температур	кельвин	К
Теплота (количество теплоты)	джоуль	Дж
Количество вещества	моль	моль
Электрический заряд	кулон	Кл (А·с)
Сила тока	ампер	А
Потенциал электрического поля, электрическое напряжение	вольт	В (Вб/с)
Напряженность электрического поля	вольт на метр	В/м
Электрическая емкость	фарад	Ф (Кл/В)
Электрическое сопротивление	ом	Ом (В/А)
Электрическая проводимость	сименс	См (А/В)
Магнитная индукция	тесла	Тл (Н/А·м)
Магнитный поток	вебер	Вб (Тл·м <sup>2</sup> )
Индуктивность	генри	Гн (Вб/А)
Сила света	кандела	кд
Световой поток	люмен	лм
Освещенность	люкс	лк (лм/м <sup>2</sup> )
Поток излучения	ватт	Вт
Доза излучения (поглощенная доза излучения)	грей	Гр
Активность изотопа	беккерель	Бк

**СООТНОШЕНИЯ МЕЖДУ ВНЕСИСТЕМНЫМИ ЕДИНИЦАМИ  
И ЕДИНИЦАМИ СИ**

**Единицы пространства и времени.**

**Единицы механических величин.**

**Единицы молекулярной физики и термодинамики.**

Длина	1 ангстрем ( $\text{Å}$ ) = $10^{-10}$ м = $10^{-8}$ см
Время	1 сут = 86400 с 1 год = 365,25 сут = $3,16 \cdot 10^7$ с
Плоский угол	$1^\circ = (\pi/180)$ рад = $1,75 \cdot 10^{-2}$ рад $1' = (\pi/108) 10^{-2}$ рад = $2,91 \cdot 10^{-4}$ рад $1'' = (\pi/648) 10^{-3}$ рад = $4,85 \cdot 10^{-6}$ рад
Объем, вместимость	1 л = $10^{-3}$ м <sup>3</sup> = $10^3$ см <sup>3</sup>
Масса	1 т = $10^3$ кг 1 а.е.м. = $1,66 \cdot 10^{-27}$ кг
Сила	1 кгс = 9,81 Н
Работа, энергия	1 кгс·м = 9,81 Дж 1 Вт·ч = $3,6 \cdot 10^3$ Дж 1 эВ = $1,60 \cdot 10^{-19}$ Дж
Мощность	1 л.с. = 736 Вт
Давление	1 кгс/см <sup>2</sup> = $9,81 \cdot 10^4$ Па 1 мм рт.ст. = 133 Па 1 бар = $10^5$ Па 1 атм = $1,01 \cdot 10^5$ Па
Напряжение (механическое)	1 кгс/мм <sup>2</sup> = $9,81 \cdot 10^6$ Па
Частота вращения	1 об/с = $1 \text{ с}^{-1}$ 1 об/мин = $1/60 \text{ с}^{-1}$
Концентрация частиц	1 см <sup>-3</sup> = $10^6 \text{ м}^{-3}$
Теплота (количество теплоты)	1 кал = 4,19 Дж 1 ккал = $4,19 \cdot 10^3$ Дж

**ОСНОВНЫЕ ФИЗИЧЕСКИЕ ПОСТОЯННЫЕ**

Гравитационная постоянная	$6,67 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3/\text{кг} \cdot \text{с}^2$
Постоянная Авогадро	$6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$
Универсальная газовая постоянная	$8,31 \text{ Дж/К} \cdot \text{моль}$
Стандартный объем/молярный объем идеального газа при нормальных условиях	$22,4 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{моль}$
Постоянная Больцмана	$1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К}$
Постоянная Фарадея	$9,65 \cdot 10^4 \text{ Кл/моль}$
Элементарный заряд	$1,60 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$
Масса электрона	$9,11 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$
Масса протона	$1,672648 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$
Масса нейтрона	$1,674954 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$
Атомная единица массы	$1,6605655 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$
Скорость света в вакууме	$3,00 \cdot 10^8 \text{ м/с}$
Постоянная Планка	$6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$
Электрическая постоянная	$8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$
Магнитная постоянная	$4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}$
Постоянная Ридберга	$1,097 \cdot 10^7 \text{ м}^{-1}$

**НЕКОТОРЫЕ АСТРОНОМИЧЕСКИЕ ЕДИНИЦЫ**

Радиус Земли	$6,37 \cdot 10^6 \text{ м}$
Масса Земли	$5,98 \cdot 10^{24} \text{ кг}$
Радиус Солнца	$6,95 \cdot 10^8 \text{ м}$
Масса Солнца	$1,98 \cdot 10^{30} \text{ кг}$
Радиус Луны	$1,74 \cdot 10^6 \text{ м}$
Масса Луны	$7,33 \cdot 10^{22} \text{ кг}$
Расстояние от центра Земли до центра Солнца	$1,49 \cdot 10^{11} \text{ м}$
То же до центра Луны	$3,84 \cdot 10^8 \text{ м}$
Период вращения Луны вокруг Земли	$27,3 \text{ сут} = 2,36 \cdot 10^6 \text{ с}$

**СКОРОСТЬ ЗВУКА**

Вода	$1450 \text{ м/с}$
Воздух (сухой, при нормальных условиях)	$332 \text{ м/с}$

**ДИЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ПРОНИЦАЕМОСТЬ НЕКОТОРЫХ ТЕЛ**

Вода	81
Масло трансформаторное	2,2
Парафин	2,0
Слюда	7,0
Стекло	7,0
Фарфор	5,0
Эбонит	3,0

**ПОКАЗАТЕЛЬ ПРЕЛОМЛЕНИЯ**

Алмаз	2,42
Вода	1,33
Масло коричное	1,60
Сероуглерод	1,63
Стекло	1,50

**РАБОТА ВЫХОДА ЭЛЕКТРОНОВ ИЗ МЕТАЛЛА**

Металл	A, эВ	A, $10^{-19}$ Дж	Металл	A, эВ	A, $10^{-19}$ Дж
Калий	2,2	3,5	Платина	6,3	10,1
Литий	2,3	3,7	Серебро	4,7	7,5
Натрий	2,5	4,0	Цинк	4,0	6,4

**МНОЖИТЕЛИ И ПРИСТАВКИ ДЛЯ ОБРАЗОВАНИЯ ДЕСЯТИЧНЫХ, КРАТНЫХ И ДОЛЬНЫХ ЕДИНИЦ И ИХ НАИМЕНОВАНИЙ**

Множитель	Приставка		Пример	Множитель	Приставка		Пример
	Наим.	Обозн.			Наим.	Обозн.	
$10^{18}$	экса	Э	эксаметр Эм	$10^{-1}$	деци	д	дециметр дм
$10^{15}$	пэта	П	пэтагерц ПГц	$10^{-2}$	санти	с	сантиметр см
$10^{12}$	тера	Т	тераджоуль ТДж	$10^{-3}$	милли	м	миллиампер мА
$10^9$	гига	Г	гиганьютон ГН	$10^{-6}$	микро	мк	микровольт мкВ
$10^6$	мега	М	мегаом Мом	$10^{-9}$	нано	н	нанометр нм
$10^3$	кило	к	километр км	$10^{-12}$	пико	п	пикофарад пФ
$10^2$	гекто	г	гектоватт гВт	$10^{-15}$	фемто	ф	фемтограмм фг
$10^1$	дека	да	декалитр дал	$10^{-18}$	атто	а	аттокулон аКл

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гурский И. П. Элементарная физика с примерами решения задач. М.: Наука, 1989.
2. Бендриков Г. А., Буховцев Б. Б. и др. Задачи по физике для поступающих в вузы. М.: Наука, 1998.
3. Гольдфарб Н. И. Сборник вопросов и задач на физике. М.: Высшая школа, 1973.
4. Мясников С. П., Осанова Т. Н. Пособие на физике. М.: Высшая школа 1988.
5. Светозаров В. В., Руденко А. И., Архипов В. И. Сборник задач по физике. М.: МИФИ, 1986.
6. Гофман Ю. В. Законы, формулы, задачи по физике. Киев: Наукова думка, 1977.
7. Тарасов Л. В., Тарасова А. Н. Вопросы и задачи по физике. М.: Высшая школа, 1990.
8. Буховцев Б. Б., Кривченков В. Д. и др. Сборник задач по элементарной физике. М.: Наука, 1974.
9. Волькенштейн В. С. Сборник задач по общему курсу физики. М.: Наука, 1985.
10. Орир Дж. Физика. М.: Мир, 1981.
11. Воробьев И. И., Зубков П. И. и др. Задачи по физике. М.: Наука, 1988.
12. Павленко Ю. Г. Начала физики. М.: МГУ, 1988.
13. Яворский Б. М., Селезнев Ю. А. Справочное руководство по физике. М.: Наука, 1979.
14. Баканина Л.П., Белонучкин В.Е. и др. Сборник задач по физике. М.: Наука, 1975.
15. Сборник задач и вопросов по физике / Под общ. ред. Р.А. Гладковой. М.: Наука, 1988.
16. Ландау Л. Д., Ахиезер А. И., Лившиц Е. М. Курс общей физики. М.: Наука, 1969.
17. Роуэлл Г., Герберт С. Физика. М.: Просвещение, 1994.
18. Денисов Ф.П., Ильин С.И., Никитенко В.А., Прунцев А.П. Теория и решение задач по физике. М., 1993.
19. Никитенко В.А., Прунцев А.П. Конспект лекций по физике для поступающих в вуз. М., 1999.

## ПРИМЕРНАЯ ПРОГРАММА ВСТУПИТЕЛЬНЫХ ЭКЗАМЕНОВ В ВЫСШИЕ УЧЕБНЫЕ ЗАВЕДЕНИЯ ПО ФИЗИКЕ\*

### Механика

**Кинематика.** Механическое движение. Относительность движения. Система отсчета. Материальная точка. Траектория. Путь и перемещение. Скорость. Ускорение. Равномерное и равноускоренное прямолинейное движение. Свободное падение тел. Ускорение свободного падения. Уравнение прямолинейного равноускоренного движения.

Криволинейное движение точки на примере движения по окружности с постоянной по модулю скоростью.

Центростремительное ускорение.

**Основы динамики.** Инерция. Первый закон Ньютона. Инерциальные системы отсчета.

Взаимодействие тел. Масса. Импульс. Сила. Второй закон Ньютона. Принцип суперпозиции сил. Принцип относительности Галилея.

Силы в природе. Сила тяготения. Закон всемирного тяготения. Вес тела. Невесомость. Первая космическая скорость. Сила упругости. Закон Гука. Сила трения. Коэффициент трения. Закон трения скольжения.

Третий закон Ньютона.

Момент силы. Условие равновесия тел.

**Законы сохранения в механике.** Закон сохранения импульса. Ракеты.

Механическая работа. Мощность. Кинетическая энергия. Потенциальная энергия. Закон сохранения энергии в механике. Простые механизмы. Коэффициент полезного действия механизма.

**Механика жидкостей и газов.** Давление. Атмосферное давление. Изменение атмосферного давления с высотой. Закон Паскаля для жидкостей и газов. Барометры и манометры. Сообщающиеся сосуды. Принцип устройства гидравлического пресса.

Архимедова сила для жидкостей и газов. Условия плавания тел на поверхности жидкости.

Движение жидкости по трубам. Зависимость давления жидкости от скорости ее течения.

Измерение расстояний, промежутков времени, силы, объема, массы, атмосферного давления.

---

\*Программа разработана А.Н. Мансуровым, Ю.И. Диком, В.А. Коровиным.

## Молекулярная физика. Термодинамика

*Основы молекулярно-кинетической теории.* Опытное обоснование основных положений молекулярно-кинетической теории. Броуновское движение. Диффузия. Масса и размер молекул. Измерение скорости молекул. Опыт Штерна. Количество вещества. Моль. Постоянная Авогадро. Взаимодействие молекул. Модели газа, жидкости и твердого тела.

*Основы термодинамики.* Тепловое равновесие. Температура и ее измерение. Абсолютная температурная шкала. Внутренняя энергия. Количество теплоты. Теплоемкость вещества. Работа в термодинамике. Первый закон термодинамики. Изотермический, изохорный и изобарный процессы. Адиабатный процесс.

Необратимость тепловых процессов. Второй закон термодинамики и его статистическое истолкование. Преобразование энергии в тепловых двигателях. КПД теплового двигателя.

*Идеальный газ.* Связь между давлением и средней кинетической энергией молекул идеального газа. Связь температуры со средней кинетической энергией частиц газа.

Уравнение Клапейрона-Менделеева. Универсальная газовая постоянная.

*Жидкости и твердые тела.* Испарение и конденсация. Насыщенные и ненасыщенные пары. Влажность воздуха. Кипение жидкости.

Кристаллические и аморфные тела. Преобразование энергии при изменениях агрегатного состояния вещества.

*Измерение давления газа, влажности воздуха, температуры, плотности вещества.*

## Основы электродинамики

*Электростатика.* Электризация тел. Электрический заряд. Взаимодействие зарядов. Элементарный электрический заряд. Закон сохранения электрического заряда. Закон Кулона.

Электрическое поле. Напряженность электрического поля. Электрическое поле точечного заряда. Потенциальность электростатического поля. Разность потенциалов. Принцип суперпозиции полей.

Проводники в электрическом поле. Электрическая емкость. Конденсатор. Емкость плоского конденсатора.

Диэлектрики в электрическом поле. Диэлектрическая проницаемость. Энергия электрического поля плоского конденсатора.

*Постоянный электрический ток.* Электрический ток. Сила тока. Напряжение. Носители свободных электрических зарядов в металлах, жидкостях и газах. Сопротивление проводников. Закон Ома для участка цепи. Последовательное и параллельное соединение проводников. Электродвижущая сила. Закон Ома для полной цепи. Работа и мощность тока. Закон Джоуля-Ленца.

Полупроводники. Собственная и примесная проводимость полупроводников, p-n—переход.

*Магнитное поле, электромагнитная индукция.* Взаимодействие магнитов. Взаимодействие проводников с током. Магнитное поле. Действие магнитного поля на электрические заряды. Индукция магнитного поля. Сила Ампера. Сила Лоренца. Магнитный поток. Электродвигатель.

Электромагнитная индукция. Закон электромагнитной индукции Фарадея. Правило Ленца. Вихревое электрическое поле. Самоиндукция. Индуктивность. Энергия магнитного поля.

*Измерение силы тока, напряжения, сопротивления проводника.*

## Колебания и волны

*Механические колебания и волны.* Гармонические колебания. Амплитуда, период и частота колебаний. Свободные колебания. Математический маятник. Период колебаний математического маятника.

Превращение энергии при гармонических колебаниях. Вынужденные колебания. Резонанс. Понятие об автоколебаниях.

Механические волны. Скорость распространения волны. Длина волны. Поперечные и продольные волны. Уравнение гармонической волны.

*Звук.*

*Электромагнитные колебания и волны.* Колебательный контур. Свободные электромагнитные колебания в контуре. Превращение энергии в колебательном контуре. Собственная частота колебаний в контуре. Вынужденные электрические колебания. Переменный электрический ток. Генератор переменного тока. Действующие значения силы тока и напряжения. Активное, емкостное и индуктивное сопротивления. Резонанс в электрической цепи.

Трансформатор. Производство, передача и потребление электрической энергии.

Идеи теории Максвелла. Электромагнитные волны. Скорость распространения электромагнитных волн. Свойства электромагнитных волн. Принципы радиосвязи. Шкала электромагнитных волн.

## Оптика

Свет — электромагнитная волна. Прямолинейное распространение, отражение и преломление света. Луч. Законы отражения и преломления света. Показатель преломления. Полное отражение. Предельный угол полного отражения. Ход лучей в призме. Построение изображений в плоском зеркале.

Собирающая и рассеивающая линзы. Фотоаппарат. Глаз. Очки. Интерференция света. Когерентность. Дифракция света. Дифракционная решетка. Поляризация света. Поперечность световых волн.

Дисперсия света.

*Измерение фокусного расстояния собирающей линзы, показателя преломления вещества, длины волны света.*

## **Основы специальной теории относительности**

**Инвариантность скорости света. Принцип относительности Эйнштейна. Пространство и время в специальной теории относительности. Связь массы и энергии.**

## **Квантовая физика**

**Тепловое излучение. Постоянная Планка. Фотоэффект. опыты Столетова. Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта.**

**Гипотеза Луи де Бройля. Дифракция электронов. Корпускулярно-волновой дуализм.**

**Радиоактивность. Альфа-, бета-, гамма-излучения. Методы наблюдения и регистрации частиц в ядерной физике.**

**Опыт Резерфорда по рассеянию  $\alpha$ -частиц. Планетарная модель атома. Боровская модель атома водорода. Спектры. Люминесценция.**

**Лазеры.**

**Закон радиоактивного распада. Нуклонная модель ядра. заряд ядра. Массовое число ядра. Энергия связи частиц в ядре. Деление ядер. Синтез ядер. Ядерные реакции. Сохранение заряда и массового числа при ядерных реакциях. Выделение энергии при делении и синтезе ядер. Использование ядерной энергии. Дозиметрия.**

**Элементарные частицы. Фундаментальные взаимодействия.**

## **Методы научного познания и физическая картина мира**

**Эксперимент и теория в процессе познания мира. Моделирование явлений и объектов природы. Научные гипотезы. Физические законы и границы их применимости. Роль математики в физике. Принцип соответствия. Принцип причинности. Физическая картина мира.**

*Учебное издание*

**Ильин Станислав Иванович  
Нижнетенко Владимир Александрович  
Пруццев Александр Петрович**

**СБОРНИК ЗАДАЧ ПО ФИЗИКЕ  
ДЛЯ ПОСТУПАЮЩИХ В ВУЗЫ**

**Заведующая редакцией Т.А. Рыкова  
Художественный редактор Ю.Э. Иванова**

ЛР № 010146 от 25.12.96. Изд. № ВТИ-100. Сдано в набор и подп. в печать 10.10.2000.

Формат 60 × 88<sup>1/16</sup>. Бум. газетн. Гарнитура «Таймс». Печать офсетная.

Объем 15,23 усл. печ. л. 15,48 усл. кр.-отт. 15,00 уч.-изд. л.

Тираж 10000 экз. Заказ № 167

ГУП «Издательство «Высшая школа», 101430, Москва, ГСП-4,  
Неглинная ул., д. 29/14

Факс: 200-03-01, 200-06-87 E-mail: V-Shkola@g23.relcom.ru  
[http:// www.v-shkola.ru](http://www.v-shkola.ru)

Отпечатано в ОАО «Оригинал», 101898, Москва, Центр, Хохловский пер., 7.