

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**
ЦЕНТР УПРАВЛЕНИЯ КОНТИНГЕНТОМ СТУДЕНТОВ

**В.И. Веретельник, Ю.А. Сивов,
Н.Д. Толмачева, В.Д. Хоружий**

**СБОРНИК ВОПРОСОВ И ЗАДАЧ ПО ФИЗИКЕ
ДЛЯ ПОСТУПАЮЩИХ В ВУЗЫ**

Часть I

*Рекомендовано в качестве учебного пособия
Редакционно-издательским советом
Томского политехнического университета*

Под редакцией профессора Ю.И. Тюрина

3-е издание, исправленное

Издательство
Томского политехнического университета
2015

УДК 53(076.5)

ББК 22.3я73

В33

Веретельник В.И.

В33

Сборник вопросов и задач по физике для поступающих в вузы: учебное пособие. Часть I / В.И. Веретельник, Ю.А. Сивов, Н.Д. Толмачева, В.Д. Хоружий; под ред. проф. Ю.И. Тюрина; Томский политехнический университет. – 3-е изд., испр. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2015. – 216 с.

Сборник содержит задачи для самостоятельного решения, а также примеры решения задач по следующим разделам физики: «Кинематика», «Динамика. Статика. Законы сохранения в механике», «Гидростатика. Молекулярная физика. Термодинамика», «Электростатика».

Предназначен для слушателей подготовительных отделений вузов, учащихся старших классов средних школ, преподавателей физики

УДК 53(076.5)

ББК 22.3я73

Рецензенты

Председатель ГЭК ЕГЭ по физике Томской области,
старший преподаватель кафедры
общей и экспериментальной физики ТГУ

П.А. Назаров

Кандидат технических наук, профессор ТУСУРа

А.Г. Рунн

© ГОУ ВПО «Томский политехнический университет», 2010

© Веретельник В.И., Сивов Ю.А.,
Толмачева Н.Д., Хоружий В.Д., 2010

© Обложка. Издательство Томского
политехнического университета, 2015

ПРЕДИСЛОВИЕ

Основное назначение настоящего пособия – помочь абитуриентам, лучше усвоить курс физики и подготовиться к вступительным испытаниям по физике на технические специальности вузов.

Пособие представляет собой систематический сборник вопросов и задач, отражающий программу школьного курса физики, и состоит из восьми разделов, на которые составители пособия разбили курс школьной физики. Каждый раздел состоит из четырех подразделов.

В первый подраздел «Содержание раздела» включен перечень вопросов, составленных на основе кодификатора контрольно-измерительных материалов (КИМ) для единого государственного экзамена по физике.

Второй подраздел «Основные законы и формулы» содержит необходимые для решения задач основные законы физики и рабочие формулы.

В третий подраздел «Примеры решения задач» включены задачи с подробными решениями и теоретическим анализом. В разделе рассматриваются как типовые задачи, так и задачи более высокого уровня сложности. В некоторых случаях используются различные способы решения одной и той же задачи. Альтернативное решение приводится в том случае, если оно расширяет физические представления абитуриента о рассматриваемом в задаче разделе физики. При работе с материалом этого подраздела рекомендуем вначале попытаться решить задачу самостоятельно и только после этого обращаться к решению задачи, приведенному в сборнике.

Четвертый подраздел «Задачи для самостоятельного решения» составлен на основе неоднократно издаваемого в период с 2001 по 2010 г. Банка задач по физике, составителями которого являются авторы настоящего пособия. Исправлены замеченные в последнем издании Банка задач опечатки и неточности, отредактированы условия некоторых задач, часть задач заменена новыми. Подраздел разбит на восемь параграфов, каждый из которых включает примерно одинаковые по трудности задачи, причем трудность задач возрастает по мере увеличения порядкового номера параграфа. Представлен большой набор задач разных типов (качественные, графические, количественные), позволяющий учесть требования как единого государственного экзамена по физике, так и Всероссийских олимпиад. Примерное разбиение задач по уровню трудности выглядит примерно так: задачи параграфов 1-5 можно отнести к аналогам заданий уровня А вариантов ЕГЭ – аналоги вопросов и

задач базового уровня, в том числе повышенного базового уровня, требующие для своего решения элементарных знаний и умений применять основные понятия и законы физики; задачи параграфов 6-7 – уровня В ЕГЭ – задачи повышенного уровня, в которых проверяется умение применять законы физики для решения расчетных задач, задачи параграфа 8 – уровня С ЕГЭ – задачи высокого уровня, решение которых требует глубокого понимания физических явлений и уверенного владения соответствующим математическим аппаратом. Задачи олимпиадного уровня отмечены значком *. К подавляющему большинству задач этого подраздела приведены числовые ответы.

В сборнике приведен справочный материал: сводка основных физических постоянных и таблицы значений физических величин, а также список учебников и пособий, которые авторы наряду с настоящим пособием рекомендуют использовать при подготовке к вступительным испытаниям по физике.

Надеемся, что работа с материалами настоящего сборника будет способствовать выработке у абитуриентов знаний, умений и навыков, необходимых для успешной сдачи единого государственного экзамена и выполнения заданий Всероссийских олимпиад по физике.

Критические замечания и предложения по содержанию сборника задач и его структуре, способствующие улучшению пособия, авторами будут приняты с благодарностью.

Замечания, предложения, а также сообщения об обнаруженных опечатках просим направлять по адресу: 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30, Главный корпус ТПУ, ауд.128, Центральная приемная комиссия ТПУ или по электронной почте tnd@tpu.ru

1. КИНЕМАТИКА

Содержание раздела

Механическое движение и его относительность. Системы отсчета. Материальная точка. Траектория. Путь. Перемещение. Скорость. Прямолинейное равномерное движение. Ускорение. Прямолинейное равноускоренное движение. Свободное падение. Движение тела, брошенного под углом к горизонту. Движение точки по окружности с постоянной по модулю скоростью. Центростремительное ускорение.

Основные законы и формулы

- Мгновенная скорость материальной точки

$$\vec{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t} = \frac{d\vec{r}}{dt},$$

векторная величина, равная пределу отношения перемещения материальной точки $\Delta \vec{r}$ к промежутку времени Δt , за который это перемещение произошло.

- Модуль скорости

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2},$$

где v_x и v_y – проекции скорости \vec{v} на координатные оси Ox и Oy .

- Средняя скорость

$$v_{\text{cp}} = \frac{s}{t} = \frac{s_1 + s_2 + \dots + s_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n},$$

скалярная величина, равная отношению пути s к промежутку времени t , затраченному на его прохождение.

- Ускорение

$$\vec{a} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \frac{d\vec{v}}{dt},$$

векторная величина, равная пределу отношения изменения скорости $\Delta \vec{v}$ к промежутку времени Δt , за который это изменение скорости произошло.

- Закон прямолинейного равномерного ($\vec{v} = \text{const}$, $\vec{a} = 0$) движения материальной точки в координатной форме (в проекциях на координатные оси Ox и Oy)

$$x(t) = x_0 + v_x t, \quad y(t) = y_0 + v_y t,$$

где $x(t)$ и $y(t)$ – координаты материальной точки в момент времени t , x_0 и y_0 – начальные координаты, v_x и v_y – проекции скорости \vec{v} на оси Ox и Oy , t – время движения.

- Законы прямолинейного равнопеременного ($\vec{a} = \text{const}$) движения материальной точки в координатной форме

$$x = x_0 + v_{0x}t + \frac{a_x t^2}{2}, \quad y = y_0 + v_{0y}t + \frac{a_y t^2}{2},$$

где $x(t)$ и $y(t)$ – координаты материальной точки в момент времени t , x, y – текущие координаты, x_0, y_0 – начальные координаты, v_{0x}, v_{0y} – проекции начальной скорости \vec{v}_0 на оси Ox и Oy , v_x, v_y – проекции скорости \vec{v} на оси Ox и Oy , a_x, a_y – проекции ускорения \vec{a} на оси Ox и Oy , t – время движения.

- Закон изменения скорости прямолинейного равнопеременного движения материальной точки

$$v = v_0 + at,$$

где v_0 – начальная скорость материальной точки, a – ускорение, t – время движения.

- Путь, пройденный материальной точкой при прямолинейном равнопеременном движении,

$$s = v_0 t + \frac{at^2}{2}; \quad s = \frac{v^2 - v_0^2}{2a}; \quad s = \frac{v_0 + v}{2} \cdot t; \quad s = v_{\text{cp}} \cdot t,$$

где v_0 – начальная скорость, v – скорость в момент времени t , $v_{\text{cp}} = (v_0 + v)/2$ – средняя скорость равнопеременного движения за время t .

- Частными случаями равнопеременного прямолинейного движения можно рассматривать равноускоренное ($\vec{a} \uparrow \uparrow \vec{v}, a > 0$) и равнозамедленное ($\vec{a} \uparrow \downarrow \vec{v}, a < 0$) прямолинейное движение. При равнозамедленном движении в приведенных выше законах равнопеременного прямолинейного движения ускорение a записывается со знаком «-», а при равноускоренном со знаком «+».

- Свободное падение ($v_0 = 0$) тела ^{*)}

$$v = gt; \quad h = \frac{gt^2}{2}; \quad h = \frac{v^2}{2g},$$

^{*)} Здесь и в дальнейшем движение тела рассматриваем как движение материальной точки.

где g – ускорение свободного падения тела, v – скорость тела, h – изменение высоты, t – время падения тела.

- Движение тела, брошенного вертикально вверх с начальной скоростью v_0 ,

$$v = v_0 - gt, \quad h = v_0 t - \frac{gt^2}{2}, \quad h_{\max} = \frac{v_0^2}{2g} = \frac{gt_1^2}{2},$$

где v и h – скорость и высота подъема тела в момент времени t , $t_1 = v_0/g$ – время подъема тела на максимальную высоту h_{\max} .

- Движение тела, брошенного горизонтально с начальной скоростью v_0 ,

$$v_x = v_0, \quad v_y = gt, \quad v = \sqrt{v_0^2 + (gt)^2}, \quad s = v_0 t, \quad h = \frac{gt^2}{2},$$

где v_x и v_y – проекции скорости \vec{v} на оси Ox и Oy в момент времени t , v – скорость тела, s – дальность полета тела по горизонтали, h – изменение высоты, t – время движения тела.

- Движение тела, брошенного с поверхности Земли с начальной скоростью v_0 под углом α к горизонту ($x_0 = 0$, $y_0 = 0$ – начальные координаты тела),

$$v_x = v_0 \cos \alpha; \quad v_y = v_0 \sin \alpha - gt;$$

$$x = v_0 t \cdot \cos \alpha; \quad y = v_0 t \cdot \sin \alpha - \frac{gt^2}{2};$$

$$h_{\max} = \frac{v_0^2 \cdot \sin^2 \alpha}{2g}; \quad s = \frac{v_0^2 \cdot \sin 2\alpha}{g}; \quad \tau = \frac{2v_0 \cdot \sin \alpha}{g},$$

где v_x и v_y – проекции скорости \vec{v} на оси Ox и Oy в момент времени t , x , y – текущие координаты, τ – время полета, h_{\max} – максимальная высота подъема, s – дальность полета по горизонтали.

- Относительная скорость движения двух тел

$$\vec{v}_{12} = \vec{v}_1 - \vec{v}_2,$$

равна разности скоростей этих тел \vec{v}_1 и \vec{v}_2 , определенных в одной и той же системе отсчета (например, в системе отсчета, связанной с Землей),

- Модуль относительной скорости

$$v_{12} = \sqrt{v_1^2 + v_2^2 - 2v_1 v_2 \cdot \cos \alpha},$$

где α – угол между векторами скоростей \vec{v}_1 и \vec{v}_2 тел.

- Частные случаи определения относительной скорости:

а) при движении тел в одном направлении ($\alpha = 0^\circ$)

$$v_{12} = v_1 - v_2;$$

б) при встречном движении тел ($\alpha = 180^\circ$)

$$v_{12} = v_1 + v_2;$$

в) при взаимно перпендикулярном движении тел ($\alpha = 90^\circ$)

$$v_{12} = \sqrt{v_1^2 + v_2^2}.$$

- Частота n и период T вращения при равномерном движении материальной точки по окружности

$$n = \frac{N}{t}, \quad T = \frac{1}{n},$$

где N – число оборотов, совершенное за время t .

- Угловая скорость равномерно движущейся по окружности материальной точки

$$\omega = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t}, \quad \omega = \frac{2\pi}{T},$$

где $\Delta\varphi$ – угол поворота радиус-вектора материальной точки, проведенного из центра окружности, за время Δt .

- Линейная скорость равномерного движения материальной точки по окружности радиусом R

$$v = \frac{2\pi R}{T}, \quad v = 2\pi Rn, \quad v = \omega \cdot R.$$

- Центробежное (нормальное) ускорение материальной точки

$$a_{\text{цс}} = a_n = \frac{v^2}{R} = \omega^2 R.$$

- Тангенциальное ускорение $a_r = \frac{dv}{dt}$.

- Модуль полного ускорения

$$a = \sqrt{a_n^2 + a_r^2}.$$

Примеры решения задач

1.1. Прямолинейное равномерное движение. По прямому шоссе в одном направлении движутся два мотоциклиста. Скорость первого мотоциклиста $v_1 = 36$ км/ч, второго $v_2 = 72$ км/ч. Расстояние между мотоциклистами в начальный момент времени $s = 200$ м. Определите время t и координату x встречи мотоциклистов. Ответы представьте в единицах СИ.

Дано: $v_1 = 10$ м/с, $v_2 = 20$ м/с, $s = 200$ м.

Определить t, x .

Решение. В качестве тела отсчета выберем Землю. При прямолинейном движении положение тела определяется одной координатой. Поэтому при-

ем, что движение мотоциклистов происходит вдоль оси Ox , направленной вдоль шоссе в направлении их движения (рис. 1.1). Совместим начало O координатной оси Ox с вторым мотоциклистом. Закон прямолинейного равномерного движения материальной точки вдоль оси Ox имеет вид

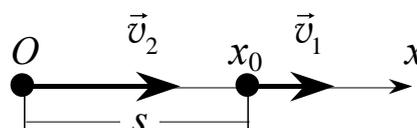


Рис. 1.1

$$x(t) = x_0 + vt, \quad (1)$$

где $x(t)$ – координата материальной точки в момент времени t , x_0 – начальная координата материальной точки (при $t = 0$), v – скорость движения материальной точки.

Рассматривая мотоциклистов как материальные точки и учитывая, что, по условию задачи, начальная координата первого мотоциклиста $x_{01} = s$, а второго $x_{02} = 0$, запишем закон движения (зависимость координаты тела от времени):

а) первого мотоциклиста:

$$x_1 = s + v_1 t, \quad (2)$$

б) второго мотоциклиста:

$$x_2 = v_2 t, \quad (3)$$

В момент встречи координаты мотоциклистов равны:

$$x_1 = x_2; \quad s + v_1 t = v_2 t. \quad (4)$$

Решая уравнение (4) относительно t , найдем:

$$t = \frac{s}{v_2 - v_1} = 20 \text{ с}. \quad (5)$$

Координату x встречи мотоциклистов можно найти, подставив (5) в уравнение (2) или (3),

$$x = s + v_1 \frac{s}{v_2 - v_1} = v_2 \frac{s}{v_2 - v_1} = 400 \text{ м.}$$

Альтернативное решение. Время встречи мотоциклистов $t = s/v_{21}$, где $v_{21} = v_2 - v_1$ – скорость второго мотоциклиста относительно первого. Тогда $t = s/(v_2 - v_1) = 20$ с. Координату x встречи мотоциклистов определим из уравнения $x = v_2 t = 400$ м.

1.2. Относительность движения. Два автомобиля движутся взаимно перпендикулярными курсами соответственно со скоростями $v_1 = 15$ м/с и $v_2 = 20$ м/с (рис. 1.2). Чему равен модуль скорости \vec{v}_{12} первого автомобиля относительно второго? Ответ представьте в единицах СИ.

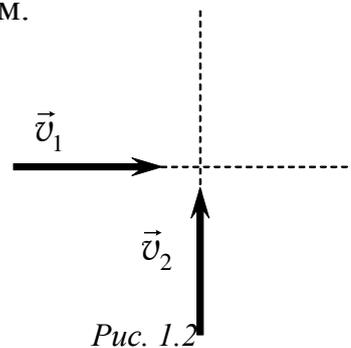


Рис. 1.2

Дано: $v_1 = 15$ м/с, $v_2 = 20$ м/с, $\alpha = 90^\circ$.

Определить v_{12} .

Решение. Согласно классическому закону сложения скоростей,

$$\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{v}_{\text{отн}}, \quad (1)$$

где \vec{v} – скорость тела относительно неподвижной системы отсчета (в нашем случае скорость первого автомобиля \vec{v}_1 относительно Земли), называемая абсолютной скоростью, \vec{v}_0 – скорость подвижной системы отсчета относительно неподвижной (в нашем случае, скорость второго автомобиля \vec{v}_2 относительно Земли), называемая переносной скоростью), $\vec{v}_{\text{отн}}$ – скорость тела относительно подвижной системы отсчета, называемая относительной скоростью (в нашем случае, \vec{v}_{12} – скорость первого автомобиля относительно второго).

Учитывая приведенные пояснения, представим уравнение (1) в виде

$$\vec{v}_1 = \vec{v}_2 + \vec{v}_{12}. \quad (2)$$

Из уравнения (2) имеем

$$\vec{v}_{12} = \vec{v}_1 - \vec{v}_2. \quad (3)$$

В соответствии с уравнением (3) построим треугольник скоростей (рис. 1.3), из которого, по теореме Пифагора, следует что

$$v_{12}^2 = v_1^2 + v_2^2.$$

Отсюда модуль скорости v_{12} первого автомобиля относительно второго равен:

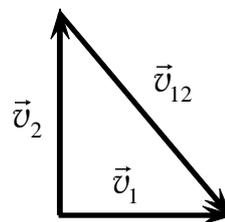


Рис. 1.3

$$v_{12} = \sqrt{v_1^2 + v_2^2} = 25 \text{ м/с}.$$

1.3. Средняя скорость прохождения пути при неравномерном движении. Тело одну четвертую часть пути двигалось со скоростью $v_1 = 15 \text{ м/с}$, затем третью часть оставшегося пути – с постоянной скоростью $v_2 = 2 \text{ м/с}$, а оставшуюся часть пути – с постоянным ускорением и в конце пути имело скорость $v_3 = 10 \text{ м/с}$. Определите среднюю скорость за время движения. Ответ представьте в единицах СИ и округлите до десятых.

Дано: $s_1 = s/4$, $s_2 = \frac{3s}{4} \cdot \frac{1}{3} = \frac{s}{4}$, $s_3 = s/2$, $v_1 = 15 \text{ м/с}$, $v_2 = 2 \text{ м/с}$, $v_3 = 10 \text{ м/с}$.

Определить $v_{\text{ср}}$.

Решение.^{*)} Примем, что движение тела происходит вдоль оси Ox (рис. 1.4). Средняя скорость $v_{\text{ср}}$ неравномерного движения равна скорости такого равномерного движения, при котором тело за то же время t проходит тот же путь s , что и при данном неравномерном движении. Следовательно,

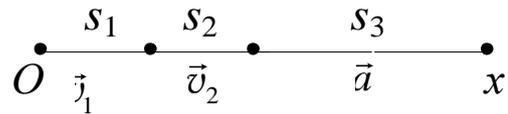


Рис. 1.4

$$v_{\text{ср}} = \frac{s}{t} = \frac{s_1 + s_2 + s_3}{t_1 + t_2 + t_3}, \quad (1)$$

где $t_1 = s_1/v_1$ – время прямолинейного равномерного движения на участке пути s_1 , равное

$$t_1 = s/(4v_1), \quad (2)$$

$t_2 = s_2/v_2$ – время прямолинейного равномерного движения на участке пути s_2 , равное

$$t_2 = s/(4v_2). \quad (3)$$

На третьем участке пути тело движется равноускоренно. Поэтому время t_3 движения тела на этом участке равно:

$$t_3 = s/(2v_{\text{ср,3}}), \quad (4)$$

где $v_{\text{ср,3}}$ – средняя скорость прямолинейного равноускоренного движения с начальной скоростью v_2 и конечной скоростью v_3 на участке пути s_3 .

^{*)} В задачах 1. 3 – 1. 8, 1. 12 в качестве тела отсчета выбрана Земля. За начало системы координат принята точка O , находящаяся на Земле или связанная с Землей. За начало отсчета времени принят момент начала движения материальной точки.

Для решения задачи получим общее выражение для средней скорости $v_{\text{ср.уск.}}$ прямолинейного равноускоренного движения с начальной скоростью. Путь, пройденный материальной точкой при прямолинейном равноускоренном движении с начальной скоростью, определяется формулой

$$s = v_0 t + \frac{at^2}{2}. \quad (5)$$

Средняя скорость $v_{\text{ср.уск.}}$ равноускоренного движения с начальной скоростью в соответствии с формулой (1):

$$v_{\text{ср.уск.}} = \frac{s}{t} = \frac{v_0 t + \frac{at^2}{2}}{t} = v_0 + \frac{at}{2}. \quad (6)$$

Закон изменения скорости при равноускоренном движении с начальной скоростью имеет вид

$$v = v_0 + at. \quad (7)$$

Решая систему уравнений (6) – (7) относительно $v_{\text{ср.уск.}}$, найдем

$$v_{\text{ср.уск.}} = \frac{v + v_0}{2}. \quad (8)$$

Таким образом, средняя скорость равноускоренного движения с начальной скоростью равна полусумме начальной и конечной скоростей.

В нашем случае, согласно (8), средняя скорость $v_{\text{ср.3}}$ на участке пути s_3 (рис. 1.4), на котором тело совершало равноускоренное движение с начальной скоростью v_2 и конечной скоростью v_3 ,

$$v_{\text{ср.3}} = \frac{v_2 + v_3}{2}. \quad (9)$$

Подставив (9) в (4), получим

$$t_3 = \frac{s}{v_2 + v_3} \quad (10)$$

и подставив (2), (3) и (10) в (1), после преобразований, найдем:

$$v_{\text{ср}} = \frac{4v_1 v_2 (v_2 + v_3)}{v_2 (v_2 + v_3) + v_1 (v_2 + v_3) + 4v_1 v_2} \approx 4,4 \text{ м/с}.$$

1.4. Равноускоренное прямолинейное движение. Тело начинает двигаться вдоль прямой с постоянным ускорением. Через $t_1 = 20$ мин ускорение тела меняется по направлению на противоположное, оставаясь таким же по величине. Через какое время t от начала движения тело вернется в исходную точку? Ответ представьте в минутах и округлите до десятых.

Дано: $t_1 = 20$ мин.

Определить t .

Решение. Примем, что движение тела происходит вдоль оси Ox (рис. 1.5). В течение времени t_1 тело совершает равноускоренное движение без начальной скорости с ускорением a и спустя время t_1 оказывается в точке с координатой x_1 . В этой точке ускорение тела меняется по направлению на противоположное, оставаясь таким же по величине. Из точки x_1 до возвращения в исходную точку O тело движется равноускоренно с начальной скоростью v , которую тело приобретает, двигаясь равноускоренно на участке Ox_1 , и ускорением $-a$.

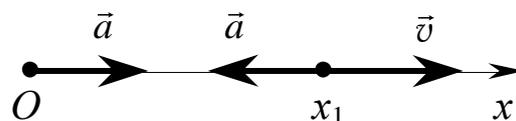


Рис. 1.5

Тогда время движения тела до возвращения в исходную точку O

$$t = t_1 + t_2, \quad (1)$$

где t_1 – время равноускоренного движения тела без начальной скорости на участке Ox_1 , t_2 – время равноускоренного движения тела с начальной скоростью v и ускорением $-a$ от точки x_1 до возвращения в исходную точку O .

Запишем для равноускоренного движения тела без начальной скорости с ускорением a на участке Ox_1 закон движения и закон изменения скорости:

$$v = at_1, \quad (2)$$

$$x_1 = \frac{at_1^2}{2} \quad (3)$$

и закон равноускоренного движения тела с начальной скоростью v и ускорением $-a$ от точки x_1 до возвращения в исходную точку O , координата которой $x = 0$,

$$x_1 + vt_2 - \frac{at_2^2}{2} = 0. \quad (4)$$

Подставив (2) и (3) в уравнение (4), приведем это уравнение, после преобразований, к виду

$$\frac{at_1^2}{2} + at_1t_2 - \frac{at_2^2}{2} = t_2^2 - 2t_1t_2 - t_1^2 = 0. \quad (5)$$

Решая квадратное уравнение (5) относительно t_2 , получим (отрицательный корень отбрасываем как не имеющий физического смысла)

$$t_2 = t_1(1 + \sqrt{2}). \quad (6)$$

Подставив (6) в (1), найдем:

$$t = t_1 (2 + \sqrt{2}) \approx 68,2 \text{ мин.}$$

1.5. Свободное падение. Тело, свободно падая с некоторой высоты h , последние $h_1 = 100$ м пролетело за $t_1 = 4$ с. Определите время t падения тела с высоты h . Сопротивлением воздуха пренебrecь. Ответ представьте в единицах СИ.

Дано: $h_1 = 100$ м, $t_1 = 4$ с, $g = 10$ м/с².

Определить t .

Решение. Пусть движение тела происходит вдоль оси Oy , направленной вертикально вниз (рис. 1.6). За начало отсчета примем точку O , расположенную на высоте $y = h$ над Землей, из которой начало падать тело. При движении тела вблизи поверхности Земли на него действует только сила тяжести $m\vec{g}$, направленная вертикально вниз, сообщающая телу ускорение, проекция которого на ось Oy равна:

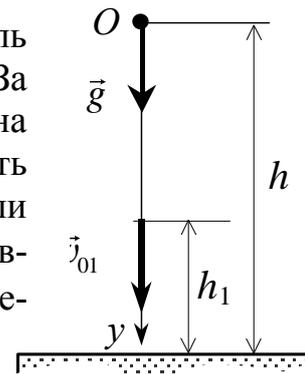


рис. 1.6

$$a_y = g.$$

Примем, что падение тела с начальной высоты h совершалось в течение времени t . Следовательно, совершая свободное падение, тело за время $(t - t_1)$ приобретает скорость v , которая, по закону изменения скорости при равноускоренном движении без начальной скорости, равна:

$$v = g(t - t_1). \quad (1)$$

Таким образом, последние h_1 тело движется равноускоренно с начальной скоростью, которую обозначим v_{01} , равную, согласно (1),

$$v_{01} = g(t - t_1). \quad (2)$$

Запишем закон равноускоренного движения тела на участке высотой h_1 :

$$h_1 = v_{01}t_1 + \frac{gt_1^2}{2}, \quad (3)$$

Подставив (2) в (3), представим это уравнение в виде

$$h_1 = g(t - t_1)t_1 + \frac{gt_1^2}{2}. \quad (4)$$

Решая уравнение (4) относительно t , найдем:

$$t = \frac{h_1}{gt_1} + \frac{t_1}{2} = 4,5 \text{ с.}$$

1.6. Движение тела, брошенного вертикально вверх. Камень брошенный вертикально вверх упал на Землю через $t_0 = 2$ с. Определите путь s и модуль перемещения камня $|\Delta\vec{r}|$ через $t = 1,5$ с. Сопротивлением воздуха пренебречь. Ответы представьте в единицах СИ

Дано: $t_0 = 2$ с, $t = 1,5$ с, $g = 10$ м/с².

Определить s , $|\Delta\vec{r}|$.

Решение. Примем, что движение камня происходит вдоль оси Oy , направленной вертикально вверх (рис. 1.7).

Для определения пути, пройденного камнем за $t = 1,5$ с, необходимо установить в какой точке траектории и на каком этапе движения: движении вверх или свободном падении после прохождения высшей точки подъема находился камень в момент времени $t = 1,5$ с.

Предварительно покажем, что время t_1 подъема тела, брошенного вертикально вверх с начальной скоростью v_0 , до высшей точки подъема равно времени свободного падения t_2 с высшей точки подъема на поверхность Земли. Учтем, что у поверхности Земли все тела движутся с постоянным ускорением \vec{g} , направленным вертикально вниз. Поэтому проекция ускорения камня на ось Oy во все время движения равна: $a_y = -g$.

Поскольку расстояние $y_1 = y_{\max}$, пройденное телом до высшей точки подъема (рис. 1.7), равно расстоянию y_2 , пройденному телом от высшей точки подъема до падения на Землю, используя формулы пути прямолинейного равноускоренного движения, можно записать

$$y_1 = y_2; \quad v_0 t_1 - \frac{gt_1^2}{2} = \frac{gt_2^2}{2}. \quad (1)$$

Скорость равноускоренного движения вдоль оси Oy с ускорением $-g$ изменяется по закону

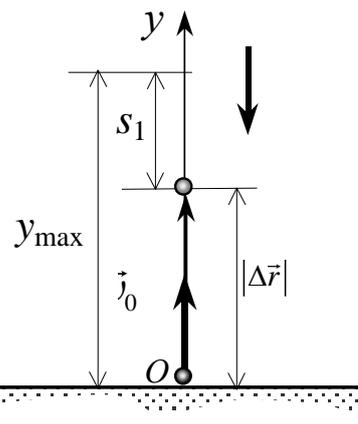
$$v = v_0 - gt. \quad (2)$$

Из уравнения (2), поскольку в высшей точке подъема $v = 0$, имеем

$$v_0 = gt_1. \quad (3)$$

Подставив (3) в (1), получим:

$$\frac{gt_1^2}{2} = \frac{gt_2^2}{2}; \quad t_1 = t_2 = t_0/2.$$



Поэтому, если все время полета камня $t_0 = 2$ с, взлетал он 1 с и, следовательно, через $t = 1,5$ с, свободно падая в течение времени $t_3 = t - t_0/2$, был уже на пути к Земле. Тогда путь s , пройденный камнем за время t , складывается из максимальной высоты подъема камня y_{\max} за время $t_0/2$ и расстояния s_1 , пройденного при свободном падении с высшей точки подъема за время t_3 ,

$$s = y_{\max} + s_1. \quad (4)$$

Максимальная высота подъема y_{\max} камня, учитывая, что время подъема на эту высоту $t_0/2$, а начальная скорость $v_0 = gt_1 = gt_0/2$,

$$y_{\max} = v_0 t_1 - \frac{gt_1^2}{2} = \frac{gt_0^2}{8}. \quad (5)$$

Расстояние s_1 , пройденное камнем за время t_3 при свободном падении с высшей точки подъема, определим по формуле пути равноускоренного движения без начальной скорости:

$$s_1 = \frac{gt_3^2}{2} = \frac{g(t - t_0/2)^2}{2}. \quad (6)$$

Подставив (5) и (6) в (4), после преобразований, найдем:

$$s = \frac{gt_0^2}{8} + \frac{g(t - t_0/2)^2}{2} = \frac{g(t_0^2 + 2t^2 - 2tt_0)}{4} = 6,25 \text{ м.}$$

Вектор перемещения камня $\Delta\vec{r}$ в момент времени t направлен вертикально вверх (рис. 1.7). Модуль перемещения камня $|\Delta\vec{r}|$ при прямолинейном движении вдоль оси Oy , равный Δy , найдем, используя закон прямолинейного равноускоренного движения тела с начальной скоростью,

$$|\Delta\vec{r}| = \Delta y = v_0 t - \frac{gt^2}{2} = \frac{gt(t_0 - t)}{2} = 3,75 \text{ м.}$$

1.7. Криволинейное движение. Движение тела, брошенного горизонтально. Мяч, брошенный горизонтально на высоте $h = 4$ м над Землей, упал на расстоянии $x = 10$ м от места бросания (по горизонтали). Определите скорость, с которой мяч упадет на Землю. Ответ представьте в единицах СИ и округлите до десятых. Сопротивление воздуха не учитывать.

Дано: $h = 4$ м, $x = 10$ м, $g = 10$ м/с².

Определить v .

Решение. Для расчета движения по криволинейной траектории удобно использовать систему координат с двумя осями. Одну из осей направляют обычно параллельно ускорению, другую – перпендикулярно к нему. Примем, что движение мяча происходит в прямоугольной системе координат xOy с началом отсчета O в точке, из которой был брошен мяч: ось Ox направим параллельно начальной скорости \vec{v}_0 , ось Oy –

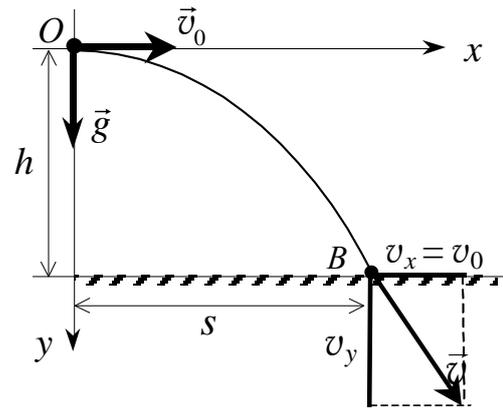


Рис. 1.8

вертикально вниз (рис. 1.8). При движении мяча вблизи поверхности Земли, на него действует только сила тяжести $m\vec{g}$, направленная вертикально вниз. Поэтому проекции ускорения камня на оси Ox и Oy во время его движения равны:

$$a_x = 0; a_y = g.$$

Таким образом, мяч, брошенный горизонтально на высоте h над Землей, участвует одновременно в двух независимых движениях: в равномерном движении по оси Ox с постоянной скоростью, равной начальной скорости v_{0x} , и в свободном падении вдоль оси Oy ($v_{0y} = 0, a_y = g$).

Если материальная точка движется по криволинейной траектории, её мгновенная скорость в любой момент времени в любой точке направлена по касательной к траектории и равна по модулю

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}. \quad (1)$$

где v_x и v_y – горизонтальная и вертикальная составляющая скорости материальной точки.

Для решения задачи необходимо определить горизонтальную и вертикальную составляющие скорости v_x и v_y мяча в точке B падения на Землю. Поскольку движение вдоль оси Ox равномерное, горизонтальная составляющая скорости v_x постоянна и равна:

$$v_x = v_0 = x/t. \quad (2)$$

Для определения составляющей скорости v_y в точке B воспользуемся формулой

$$v_y^2 = v_{0y}^2 + 2a_y h \Rightarrow v_y^2 = 2gh \quad (v_{y0} = 0). \quad (3)$$

Время полета мяча до падения на Землю определим, используя формулу пути для свободного падения как равноускоренного движения без начальной скорости,

$$h = \frac{gt^2}{2} \Rightarrow t = \sqrt{\frac{2h}{g}}. \quad (4)$$

Горизонтальную составляющую скорости в точке B падения мяча на Землю определим, подставив (4) в (1),

$$v_x = x \cdot \sqrt{\frac{g}{2h}}. \quad (5)$$

Решая систему уравнений (1), (3), (5) относительно v , найдем:

$$v = \sqrt{\frac{g(4h^2 + x^2)}{2h}} \approx 14,3 \text{ м/с}.$$

1.8. Криволинейное движение. Движение тела, брошенного под углом к горизонту. Мяч, брошенный под углом $\alpha = 30^\circ$ к горизонту с расстояния $s = 5$ м от стены, перелетел через нее, коснувшись ее в высшей точке траектории. Какова высота h стены над уровнем, с которого брошен мяч? Ответ представьте в единицах СИ и округлите до десятых.

Дано: $s = 5$ м, $\alpha = 30^\circ$, $g = 10$ м/с².

Определить h .

Решение. Примем, что движение мяча происходит в прямоугольной системе координат xOy с началом системы координат в точке O , из которой был брошен мяч (рис. 1.9). У поверхности Земли все тела движутся под действием силы тяжести $m\vec{g}$ с постоянным ускорением \vec{g} ,

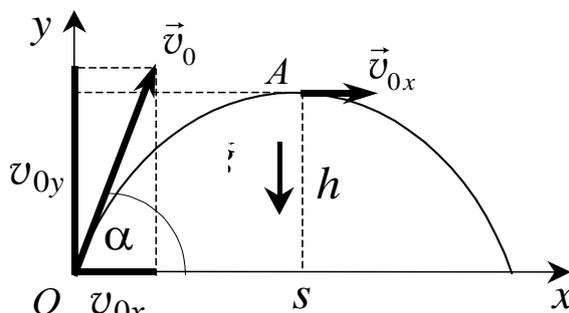


Рис. 1.9

направленным вертикально вниз. Поэтому проекции ускорения мяча на оси Ox и Oy во всё время движения равны:

$$a_x = 0; \quad a_y = -g.$$

Тело, брошенное под углом к горизонту, участвует одновременно в двух независимых движениях: в равномерном движении по оси Ox со скоростью, равной начальной скорости $v_{0x} = v_0 \cos \alpha$, и в равноускоренном движении по оси Oy с начальной скоростью $v_{0y} = v_0 \sin \alpha$ и ускорением $-g$.

Найдем отношение вертикальной и горизонтальной составляющих скорости мяча в момент бросания ($t = 0$):

$$\frac{v_{0y}}{v_{0x}} = \frac{v_0 \sin \alpha}{v_0 \cos \alpha} = \operatorname{tg} \alpha. \quad (1)$$

Для решения задачи необходимо выразить вертикальную v_{0y} и горизонтальную v_{0x} составляющие скорости мяча в момент бросания через величины, приведенные в условии задачи. Для нахождения начального значения вертикальной составляющей скорости v_{0y} воспользуемся формулой

$$v^2 - v_0^2 = 2as. \quad (2)$$

Обозначим в соответствии с условиями задачи: $s = h$, $a = -g$, $v_0 = v_{0y}$. В высшей точке траектории вертикальная составляющая v_y скорости мяча становится равной нулю. Тогда, воспользовавшись приведенными обозначениями, представим уравнение (2) в виде

$$-v_{0y}^2 = -2gh. \quad (3)$$

Отсюда начальное значение вертикальной составляющей скорости равно:

$$v_{0y} = \sqrt{2gh}. \quad (4)$$

Так как $a_x = 0$, движение вдоль оси Ox равномерное и горизонтальная составляющая скорости v_x мяча в процессе движения не изменяется и во все время движения равна v_{0x} . Следовательно, по формуле пути равномерного движения,

$$v_{0x} = s/t, \quad (5)$$

где t – время полета мяча.

Время t полета мяча найдем, используя формулы равноускоренного движения,

$$v_{0y} - gt = 0; \quad v_{0y} = gt; \quad h = v_{0y}t - gt^2/2; \quad h = gt^2 - gt^2/2 = gt^2/2;$$

$$t = \sqrt{\frac{2h}{g}}. \quad (6)$$

Тогда, из уравнений (6) и (7), начальное значение горизонтальной составляющей скорости мяча

$$v_{0x} = s \sqrt{\frac{g}{2h}}. \quad (7)$$

Подставив (4) и (7) в (1), приведем уравнение (1) к виду

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{2h}{s}. \quad (8)$$

Решая уравнение (8) относительно h , найдем:

$$h = \frac{s \cdot \operatorname{tg} \alpha}{2} \approx 4,3 \text{ м.}$$

1.9. Вращательное движение. Линейная скорость v_1 точек обода вращающегося диска равна 5 м/с, а точек, находящихся на $\Delta r = 10$ см ближе к оси вращения, $v_2 = 3$ м/с. Определите частоту n вращения диска. Ответ представьте в единицах СИ и округлите до десятых.

Дано: $v_1 = 5$ м/с, $\Delta r = 0,1$ м, $v_2 = 3$ м/с.

Определить n .

Решение. В системе отсчета, связанной с центром O диска, точки диска совершают равномерное вращательное движение с одинаковой угловой скоростью ω относительно оси, проходящей через центр O колеса (рис. 1.10). Линейная скорость v материальной точки, совершающей равномерное вращательное движение по окружности радиусом r , определяется формулой

$$v = \omega r. \quad (1)$$

Угловая скорость равномерного вращательного движения связана с частотой n обращения соотношением

$$\omega = 2\pi n. \quad (2)$$

Подставив (2) в (1), получим

$$v = 2\pi n r. \quad (3)$$

Следовательно, линейная скорость точек обода диска

$$v_1 = 2\pi n R, \quad (4)$$

а точек, находящихся на Δr ближе к оси вращения,

$$v_2 = 2\pi n (R - \Delta r), \quad (5)$$

где R – радиус обода диска.

Выразив из уравнения (4) $R = \frac{v_1}{2\pi n}$ и подставив в (5), приведем это уравнение к виду

$$v_2 = v_1 - 2\pi n \Delta r. \quad (6)$$

Решая уравнение (6) относительно n , найдем:

$$n = \frac{v_1 - v_2}{2\pi \Delta r} \approx 3,2 \text{ с}^{-1}.$$

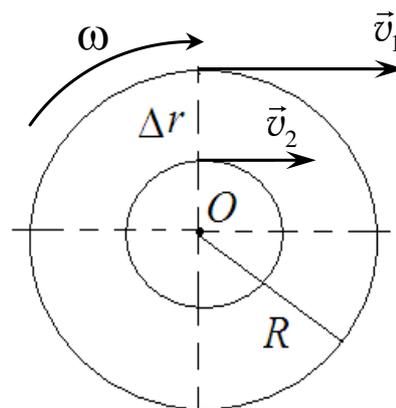


Рис. 1.10

1.10. Вращательное движение. Колесо равномерно катится по дороге без скольжения (рис. 1.11). Скорость поступательного движения колеса равна \vec{v} . Определите скорости точек A, B, C, D обода колеса относительно дороги.

Дано: v .

Определить v_A, v_B, v_C, v_D .

Решение. Примем за неподвижную систему отсчета дорогу (Землю), а за подвижную – систему отсчета, связанную с центром масс O колеса, поступательно движущегося относительно дороги со скоростью \vec{v} . При равномерном качении колеса по Земле все его точки участвуют одновременно в двух независимых движениях: вдоль поверхности Земли с постоянной горизонтальной скоростью \vec{v} и вокруг оси вращения, проходящей через центр O колеса перпендикулярно плоскости чертежа, с касательной (называемой линейной) скоростью \vec{v}_τ , модуль которой постоянен, а направление изменяется. При качении без проскальзывания (проскальзывание имеет место, если $v > v_\tau$) и пробуксовки (пробуксовка имеет место, если $v_\tau > v$) модули скоростей v и v_τ равны друг другу.

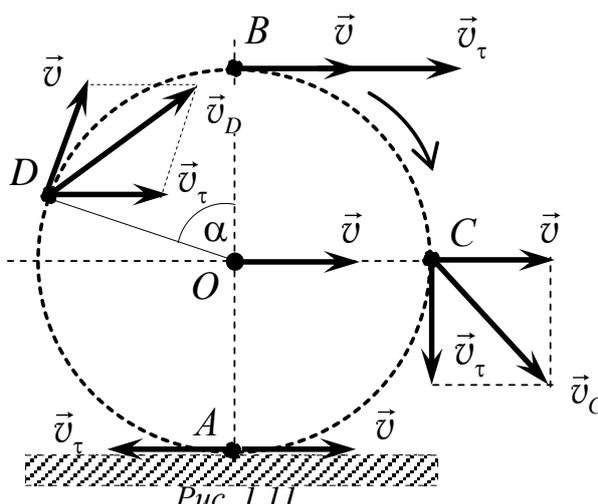


Рис. 1.11

Мгновенные скорости точек обода колеса, найдем, используя классический закон сложения скоростей, складывая \vec{v} и \vec{v}_τ ($|\vec{v}_\tau| = v$) по правилам сложения векторов (рис. 1.11).

Тогда скорость точки A относительно дороги

$$\vec{v}_A = \vec{v} + \vec{v}_\tau \quad (1)$$

В скалярной форме

$$v_A = v - v = 0; \quad v_A = 0.$$

Отсюда, при движении колеса по плоскости без скольжения, его центр масс движется по дороге с такой же по модулю скоростью, с какой движется точка A касания обода колеса и плоскости, так что скорость точки A относительно дороги равна нулю.

Скорость точки B сонаправлена с линейной скоростью точки O . Поэтому точка B , в соответствии с (1), движется относительно дороги с удвоенной скоростью поступательного движения колеса.

$$v_B = v + v = 2v; \quad v_B = 2v.$$

Скорость точки C относительно дороги, в соответствии с (1),

$$v_C = \sqrt{v^2 + v^2} = \sqrt{2v^2} = \sqrt{2}v = 1,4v.$$

Скорость точки D относительно дороги можно рассматривать как диагональ ромба со сторонами v и острым углом при вершине D , равным, по свойству углов со взаимно перпендикулярными сторонами, углу α . Тогда по теореме косинусов

$$v_D^2 = v^2 + v^2 - 2vv\cos(180^\circ - \alpha). \quad (1)$$

После преобразований, приведем уравнение (1) к виду

$$v_D = v\sqrt{2 + 2\cos\alpha} = v\sqrt{2(1 + \cos\alpha)}. \quad (2)$$

Используя формулу приведения $\cos\frac{\alpha}{2} = \sqrt{\frac{1 + \cos\alpha}{2}}$, получим

$$v_D = 2v\cos\frac{\alpha}{2}.$$

Примечание. Скорость точки D можно найти, используя свойства скалярного произведения векторов $(\vec{A}\vec{B}) = AB\cos\angle(\vec{A}\vec{B})$. В нашем случае имеем $\vec{v}_D = \vec{v} + \vec{v}$. Возведем левую и правую части векторного уравнения в квадрат

$$v_D^2 = v^2 + v^2 + 2(\vec{v}\vec{v}) = v^2 + v^2 + 2v^2\cos\alpha = 2v^2(1 + \cos\alpha).$$

Отсюда
$$v_D = v\sqrt{2(1 + \cos\alpha)} = 2v\cos\frac{\alpha}{2}.$$

1.11. Центростремительное ускорение. При увеличении в 4 раза радиуса круговой орбиты искусственного спутника Земли его период увеличивается в 8 раз. Во сколько раз изменяются скорость спутника на орбите и его центростремительное ускорение?

Дано: $T_2 = 8T_1, R_2 = 4R_1.$

Определить $v_2/v_1, a_{цс2}/a_{цс1}.$

Решение. Движение спутника по круговой орбите (окружности) радиусом R с линейной скоростью v является движением с центростремительным ускорением $\vec{a}_{цс}$, равным по модулю,

$$a_{цс} = \frac{v^2}{R}. \quad (1)$$

Линейная скорость и период спутника до и после их изменения определяются формулами

$$v_1 = 2\pi R_1/T_1, \quad (2)$$

$$v_2 = 2\pi R_2/T_2. \quad (3)$$

Разделив левые и правые части уравнений (2) и (3) друг на друга и заменив в полученном выражении R_2 на $4R_1$ и T_2 на $8T_1$, получим искомое соотношение скоростей:

$$\frac{v_2}{v_1} = \frac{2\pi R_2 \cdot T_1}{T_2 \cdot 2\pi R_1} = \frac{4R_1 \cdot T_1}{8T_1 \cdot R_1} = \frac{1}{2}. \quad (4)$$

Используя формулу (1), запишем выражения для центростремительного ускорения спутника до и после изменения его линейной скорости и периода:

$$a_{\text{ис1}} = \frac{v_1^2}{R_1}, \quad (5)$$

$$a_{\text{ис2}} = \frac{v_2^2}{R_2}. \quad (6)$$

Разделив левые и правые части уравнений (6) и (5) друг на друга, получим:

$$\frac{a_{\text{ис2}}}{a_{\text{ис1}}} = \frac{v_2^2 \cdot R_1}{R_2 \cdot v_1^2} = \frac{R_1}{4R_1} \left(\frac{v_2}{v_1} \right)^2. \quad (7)$$

Подставив (4) в (7), найдем $\frac{a_{\text{ис2}}}{a_{\text{ис1}}} = \frac{1}{16}$.

1.12*. На каком наименьшем расстоянии l от точки O (рис. 1.12) нужно бросить камень с уровня Земли, чтобы он перелетел через шар радиусом $R = 7,5$ м, коснувшись его только в высшей точке. Ответ представьте в единицах СИ и округлите до целого числа.

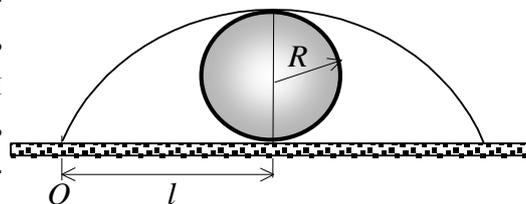


Рис. 1.12

Д а н о : $R = 7,5$ м, $g = 10$ м/с².

О п р е д е л и т ь l .

Решение. Примем, что движение камня происходит в прямоугольной системе координат xOy с началом отсчета в точке O , из которой был брошен камень (рис. 1.13). У поверхности Земли все тела движутся под действием силы тяжести $m\vec{g}$ с постоянным ускорением \vec{g} , направленным вертикально вниз. Поэтому проекции ускорения камня на оси Ox и Oy во всё время движения равны:

$$a_x = 0; \quad a_y = -g.$$

Тело, брошенное под углом к горизонту, участвует одновременно в двух независимых движениях: в движении по оси Ox с постоянной скоростью, равной начальной скорости $v_{0x} = v_0 \cos \alpha$, и в равноускоренном движении по оси Oy с начальной скоростью $v_{0y} = v_0 \sin \alpha$ и ускорением $-g$.

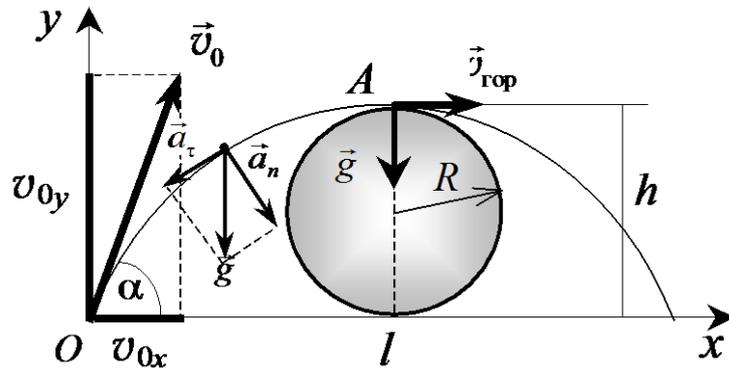


Рис. 1.13

Поскольку движение по горизонтали равномерное, обозначив $v_{0x} = v_{гор}$, можно записать

$$l = v_{гор} t. \quad (1)$$

Для определения времени t полета камня используем законы равноускоренного прямолинейного движения с начальной скоростью, описывающие движение по оси Oy . При этом учтем, что в высшей точке траектории (окружности в нашем случае) вертикальная составляющая скорости равна нулю,

$$h = v_0 (\sin \alpha) \cdot t - \frac{gt^2}{2}; \quad v_0 \sin \alpha - gt = 0; \quad v_0 \sin \alpha = gt.$$

Отсюда

$$h = gt^2/2, \quad t = \sqrt{2h/g}.$$

По условию задачи $h = 2R$. Поэтому выражение для времени полета камня представим в виде

$$t = \sqrt{4R/g}. \quad (2)$$

Полное ускорение материальной точки, совершающей криволинейное движение в любой точке траектории, можно представить в виде суммы двух составляющих

$$\vec{a} = \vec{a}_\tau + \vec{a}_n,$$

где \vec{a}_τ – тангенциальное ускорение материальной точки, характеризующее изменение ее скорости по величине и направленное по касательной к траектории, \vec{a}_n – нормальное ускорение материальной точки, характеризующее ее изменение по направлению и направленное по нормали (перпендикулярно) к траектории, рис. 1.13.

В нашем случае полное ускорение камня на всей траектории полета: $\vec{a} = \vec{g}$.

В высшей точке траектории тангенциальное ускорение камня равно нулю. Поэтому нормальное ускорение камня равно его полному ускорению, то есть $a_n = g$. Следовательно, можно записать

$$a_n = g = v_{\text{гор}}^2 / R, \text{ откуда } v_{\text{гор}} = \sqrt{gR}. \quad (3)$$

Подставив (2) и (3) в (1), найдем:

$$l = \sqrt{gR} \cdot \sqrt{\frac{4R}{g}} = 2R = 15 \text{ м.}$$

Задачи для самостоятельного решения

1.1.

1.1.1. Необходимо проехать на лодке туда и обратно одинаковое расстояние один раз по стоячей воде, другой раз по реке. Одинаковое ли время потребуется в обоих случаях, если скорость лодки относительно воды в обоих случаях одинакова? Ответ обоснуйте. [Не одинаковое]

1.1.2. Тело переместилось из точки A с координатами x, y $(-4; 3)$ м в точку B с координатами $(4; 3)$ м, а затем – в точку C с координатами $(4; -3)$ м. Определите путь, пройденный телом, и модуль перемещения $|\Delta\vec{r}|$. Ответ представьте в единицах СИ. [14; 10]

1.1.3. В момент начала наблюдения ракета находилась в точке с координатами $x_0 = 500$ м и $y_0 = 0$ и двигалась равномерно и прямолинейно со скоростью $0,8$ км/с под углом 60° к горизонту. Напишите законы движения ракеты $x = x(t)$ и $y = y(t)$ и уравнение её траектории $y = y(x)$.
 $[x(t) = 500 + 400 \cdot t; y(t) = 400 \sqrt{3} \cdot t; y(x) = \sqrt{3} \cdot (x - 500)$ при $x \geq x_0]$

1.1.4. Турист поднялся на возвышенность высотой $h = 10$ м с углом при основании 30° , а затем спустился с этой же высоты по уклону с углом при основании 60° (рис. 1.14). Чему равны путь и модуль перемещения туриста? Ответ представьте в единицах СИ и округлите до целого числа. [32; 23]

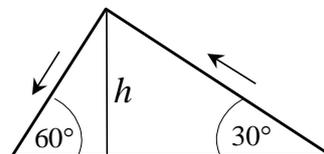


Рис. 1.14

1.1.5. Скорость автомобиля-лидера относительно следующего за ним автомобиля в гонке «Формула-1» на прямолинейном участке трассы равна v_1 , а относительно поверхности дороги v_2 . Получите формулу для расстояния, которое пройдет следующий за лидером автомобиль за время t . $[(v_2 - v_1) \cdot t]$

1.1.6. Получите формулу для средней скорости равнозамедленного движения тела, начальная скорость которого v_0 , а конечная v . $[(v_0 + v)/2]$

1.1.7. Закон движения материальной точки, движущейся прямолинейно, имеет вид $x = 5 + 7t + 8t^2$. Покажите, что ускорение материальной точки не зависит от времени и определите (в единицах СИ) его величину. [16]

1.1.8. Тело, имеющее начальную скорость v_0 , движется с ускорением a в течение времени t . Получите формулу, по которой можно вычислить среднюю скорость движения. $[(2v_0 + at)/2]$

1.1.9. Уравнение прямолинейного движения тела имеет вид:
 $x = v_0t + \frac{at^2}{2}$. Получите формулу для скорости движения тела. $[v_0 + at]$

1.1.10. Путь, пройденный автомобилем после начала торможения до полной остановки, равен s . Считая ускорение автомобиля постоянным и равным по модулю a , получите формулу для определения скорости автомобиля в момент начала торможения. $[\sqrt{2as}]$

1.1.11. Получите формулу, выражающую закон движения $y(t)$ для свободно падающего тела: а) без начальной скорости, если ось Oy направлена вертикально вниз; б) с начальной скоростью, если ось Oy направлена вертикально вверх.

1.1.12. Тело падает с высоты H с нулевой начальной скоростью. Получите формулу для определения средней скорости тела на второй половине пути. $[(\sqrt{gH}/2)(1 + \sqrt{2})]$

1.1.13. С высоты H свободно падает тело без начальной скорости. Одновременно с поверхности Земли бросают тело вертикально вверх с начальной скоростью v_0 . Получите зависимость расстояния между телами от времени. $[H - v_0t]$

1.1.14. Тело брошено вертикально вверх со скоростью 50 м/с. Что описывает функция $y(t) = 50t - 4,9t^2$: координату или пройденный телом путь? [Координату]

1.1.15. Получите формулу, выражающую закон движения $y(t)$ для тела, брошенного вертикально вверх с начальной скоростью v_0 , если ось Oy направлена вертикально вверх и $y(t=0) = 0$. [$v_0t - gt^2/2$]

1.1.16. Несколько тел брошены горизонтально с одной высоты h с различными скоростями. Все они падают на одну и ту же горизонтальную поверхность. Различно или одинаково время движения этих тел? Ответ обоснуйте. [Одинаково, $t = \sqrt{2h/g}$]

1.1.17. Как изменяется модуль скорости v тела, брошенного горизонтально в поле силы тяжести со скоростью v_0 ? Ответ обоснуйте. [Увеличивается, $v = \sqrt{v_0^2 + (gt)^2}$]

1.1.18. Тело брошено горизонтально с отвесного обрыва высотой h с начальной скоростью v_0 . На каком расстоянии s от основания обрыва тело упадет на Землю? [$s = v_0\sqrt{2h/g}$]

1.1.19. Одинаково ли возрастет дальность полета Δs горизонтально брошенного с высоты h тела при увеличении его начальной скорости в одном случае с 10 м/с до 15 м/с, а в другом с $v_1 = 15$ м/с до $v_2 = 20$ м/с? Ответ обоснуйте. [Одинаково, $\Delta s = (v_2 - v_1)\sqrt{2h/g}$]

1.1.20. Лыжник (рис. 1.15) съезжает с горы высотой h . Получите формулу, по которой можно рассчитать время спуска. Трением пренебречь. [$\frac{1}{\sin \alpha} \cdot \sqrt{\frac{2h}{g}}$]

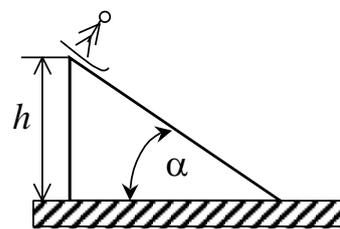
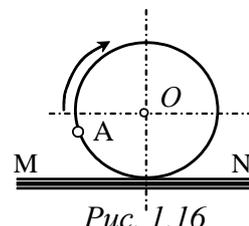


Рис. 1.15

1.1.21. Тело брошено вверх под углом α к горизонту с высоты h_0 с начальной скоростью v_0 . Получите закон изменения высоты в зависимости от времени. [$h = h_0 + v_0 \sin \alpha \cdot t - gt^2/2$]

1.1.22. Тело, брошенное под углом к горизонту, упало на Землю на расстоянии 10 м от точки бросания. Максимальная высота подъема тела над Землей в процессе движения составила 5 м. Чему равен (в метрах) модуль перемещения тела? Ответ обоснуйте. [10]

1.1.23. Диск радиусом R катится без скольжения по плоскости вдоль прямой MN , рис. 1.16. Чему равен модуль перемещения точки A за один оборот диска? [2πR]



1.1.24. Получите формулу для центростремительного ускорения тела, находящегося на поверхности Земли, если известно, что Земля совершает 1 оборот за время T . Радиус Земли обозначьте буквой R_3 . [$a_{\text{цс}} = (2\pi/T)^2 \cdot R_3$]

1.1.25. Угол поворота колеса радиусом $R = 1$ м изменяется по закону $\varphi = 5t$, где φ – в радианах, t – в секундах. Определите угловую и линейную скорости колеса. Ответы представьте в единицах СИ. [5; 5]

1.2.

1.2.1. Сформулируйте закон движения. Постройте график $x(t)$ равномерного прямолинейного движения материальной точки, если $x_0 = 0$, а проекция скорости на ось x : а) $v_x > 0$ и б) $v_x < 0$. От чего зависит угол наклона графика $x(t)$ к оси времени? [От v_x]

1.2.2. На рис. 1.17 представлены графики зависимости скоростей различных тел от времени t . Какое из тел (1, 2, 3 или 4) двигалось с наибольшим по величине ускорением? Ответ обоснуйте. [1]

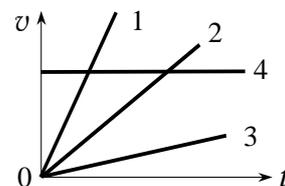


Рис. 1.17

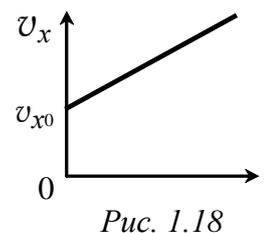
1.2.3. Постройте графики движения двух тел, описываемых уравнениями $x_1 = (-1 + 2t)$ см и $x_2 = (2 + t)$ см, в одной системе координат. По графикам определите, через какое время от момента $t = 0$ координата этих тел станет одинаковой и какой она будет? Время t выразите в секундах, а координату x – в сантиметрах. [3; 5]

1.2.4. Напишите формулу пути s прямолинейного равноускоренного движения материальной точки с начальной скоростью равной нулю, считая, что s_0 тоже равно нулю. Постройте график зависимости пути от времени для данного вида движения. Определите вид этой зависимости? [$s = at^2/2$, парабола]

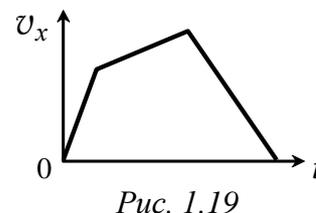
1.2.5. Уравнение координат материальной точки $x = 2t$ и $y = 2 + t$, где x – в метрах, t – в секундах. Получите уравнение траектории $y = f(x)$, постройте график траектории и определите ее вид. Найдите скорость v материальной точки. Ответ представьте в единицах СИ и округлите до десятых. [Прямая; 2,2]

1.2.6. При движении материальной точки движется в плоскости xOy ее координаты изменяются с течением времени по закону $x = 2\sin\omega t$ и $y = 2\cos\omega t$, где ω – константа. Получите уравнение траектории $y = f(x)$, постройте график траектории и определите ее вид. [Окружность]

1.2.7. Тело движется вдоль оси Ox . На рис. 1.18 представлен график зависимости проекции скорости тела на ось Ox от времени. Определите характер движения тела. Постройте график зависимости пути от времени для данного вида движения. [Равноускоренное]



1.2.8. Тело движется вдоль оси Ox . На рис. 1.19 представлен график зависимости проекции скорости тела на ось Ox от времени. Постройте график зависимости проекции ускорения тела на ось Ox от времени.



1.2.9. Первое тело движется равноускоренно без начальной скорости с ускорением 2 м/с^2 , а второе тело – равнозамедленно с начальной скоростью 5 м/с и ускорением $-0,5 \text{ м/с}^2$. Постройте графики зависимости от времени их координат и по графикам определите, в какой момент времени t их скорости станут одинаковы и какой путь пройдет каждое тело за это время. Ответы представьте в единицах СИ. [2; 4; 9]

1.2.10. По одному направлению из одной точки одновременно начали двигаться два тела: одно равномерно со скоростью v_0 , другое равноускоренно без начальной скорости. Нарисуйте графики зависимости

пройденного телами пути от времени. Для построения графиков принять численное значение ускорения в два раза больше численного значения скорости v_0 .

1.2.11. Ракетная тележка движется вдоль оси Ox . Проекция ускорения ракетной тележки на ось Ox от старта до остановки в течение первых 6 с составляет 100 м/с^2 , затем в течение 7 с она движется без ускорения, а последние 3 с тележка имеет отрицательное ускорение, равное -200 м/с^2 . Постройте графики зависимости от времени координаты, проекций ускорения и скорости тележки на ось Ox .

1.2.12. На рис. 1.20 представлен график зависимости проекции ускорения тела на ось Ox от времени. Постройте график зависимости проекции скорости тела на ось Ox от времени. Найдите путь (в единицах СИ), пройденный телом за 8 с. Начальная скорость тела равна нулю. [64]

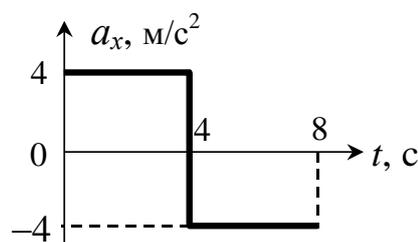


Рис. 1.20

1.2.13. Тело движется вдоль оси Ox . На рис. 1.21 изображен график зависимости проекции ускорения тела a_x от времени. В начальный момент времени $t = 0$ проекция скорости тела $v_{0x} = 3 \text{ м/с}$. Чему равна проекция скорости v_x тела в момент времени $t = 2 \text{ с}$? [2]

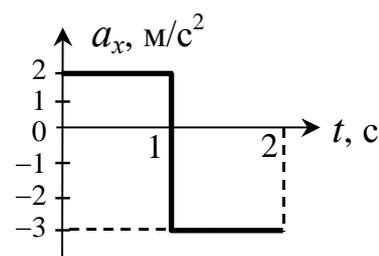


Рис. 1.21

1.2.14. Материальная точка движется прямолинейно. Модуль скорости точки зависит от времени по закону $v = bt$, где b – постоянная величина. Постройте график зависимости модуля ускорения материальной точки от времени.

1.2.15. Тело движется вдоль оси Ox . На рис. 1.22 приведен график (парабола) зависимости координаты тела от времени. В момент времени $t = 0$ скорость тела $v_{0x} = 0$. Чему равна скорость тела в момент времени 4 с? [8]

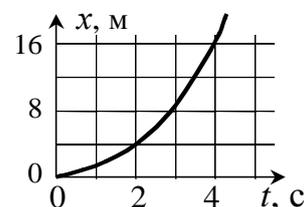
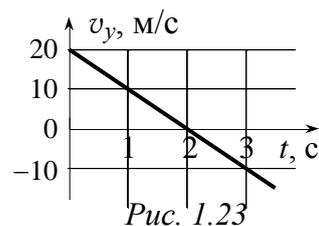


Рис. 1.22

1.2.16. Тело свободно падает без начальной скорости. По какому закону изменяется скорость тела? Постройте график зависимости скорости тела от времени.

1.2.17. Мяч бросили вертикально вверх с начальной скоростью. В течение первых 3 с движения его скорость изменялась, как показано на рис. 1.23. Найдите путь (в метрах) мяча за первые 3 с движения. [25]



1.2.18. Скорость камня, брошенного вертикально вверх, изменяется, как показано на рис. 1.23. Найдите координату камня y через 3 с после начала движения, считая начальную координату равной 0. Ответ представьте в единицах СИ. [15]

1.2.19. Нарисуйте график зависимости от времени проекции скорости на ось Oy тела, брошенного вертикально вверх и вернувшегося в исходную точку.

1.2.20. Шарик бросили вертикально вверх с начальной скоростью 10 м/с. Найдите (в единицах СИ) максимальную высоту, на которую поднимется шарик. Постройте график зависимости максимальной высоты подъема шарика от величины его начальной скорости. [5]

1.2.21. Тело, брошенное вертикально вверх с начальной скоростью v_0 , через некоторое время упало на Землю. Нарисуйте график зависимости проекции скорости v_y на вертикальную ось Oy от времени для указанного движения, если система отсчета связана с Землей, а ось Oy направлена вертикально вверх.

1.2.22. Тело брошено под углом к горизонту. С каким ускорением движется тело? Постройте график зависимости модуля ускорения тела от времени. [$g(t) = \text{const}$]

1.2.23. На рис. 1.24 представлен график траектории движения тела, брошенного под углом α к горизонту. Укажите направление векторов скорости и ускорения в точках А, В, С траектории.

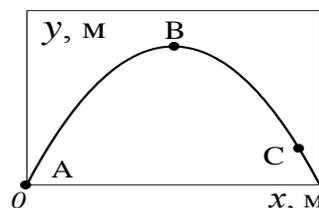


Рис. 1.24

1.2.24. Напишите формулу, по которой можно вычислить дальность s_{max} полета тела, брошенного с поверхности Земли под углом α к горизонту

с начальной скоростью v_0 в зависимости от угла α . Нарисуйте график зависимости дальности полета тела от угла бросания α . $[s_{\max} = \frac{v_0^2 \cdot \sin 2\alpha}{g}]$

1.2.25. На рис. 1.25 изображена зависимость пройденного пути от времени для прямолинейного движения материальной точки. Определите среднюю скорость точки за первые 15 с. Ответ представьте в единицах СИ. [0,4]

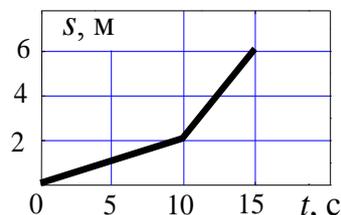


Рис. 1.25

1.3.

1.3.1. Из состояния покоя два тела одновременно начинают падать на Землю с одной и той же высоты. В какой системе отсчета, связанной: с Землей (1), с точкой начала падения тел (2), со вторым телом (3), траектория движения первого тела принимает вид точки (т.е. тело не движется)? [3]

1.3.2. Каким следует считать движение материальной точки, зависимость координаты x которой от времени t описывается уравнением $x = 4 + 2t + t^2$? [Равноускоренным]

1.3.3. На графиках 1 и 2 (рис. 1.26) представлены зависимости проекции скорости двух тел на ось Ox от времени. Определите на основании этих графиков отношение путей, пройденных телами за одинаковое время. Ответ обоснуйте. Считать $|v_1| = |v_2|$. [1]

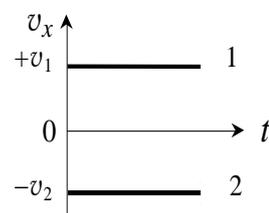


Рис. 1.26

1.3.4. На рис. 1.27 дан график зависимости модуля скорости тела от времени. Определите характер движения тела. Постройте график зависимости модуля ускорения тела от времени.

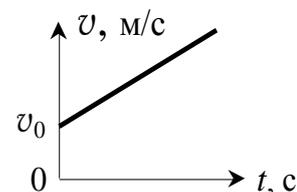


Рис. 1.27

1.3.5. Автомобиль, движущийся прямолинейно и равноускоренно, переместился из пункта А в пункт В (рис. 1.28) за 20 с. Определите величину (в м/с^2) и направление ускорения этого автомобиля. Ответ обоснуйте. [1; влево]

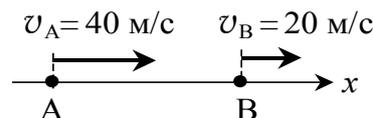


Рис. 1.28

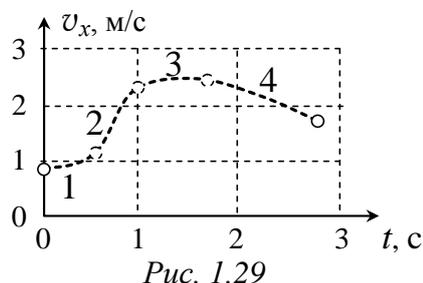
1.3.6. Может ли человек, находясь на движущемся эскалаторе метро, находиться в покое в системе отсчета, связанной с Землей? Ответ обоснуйте. [Может]

1.3.7. Пассажир равномерно поднимающегося лифта роняет книгу. В какой системе отсчета, связанной: с пассажиром (1), лифтом (2), Землей (3), скорость книги в начале движения будет уменьшаться? Ответ обоснуйте. [3]

1.3.8. Человек бежит вверх по равномерно поднимающемуся со скоростью v эскалатору с ускорением a относительно эскалатора. Чему равно ускорение человека относительно поверхности Земли, если эскалатор составляет угол α с горизонтом? Ответ обоснуйте. [$a \cos \alpha$]

1.3.9. Из окна железнодорожного вагона свободно падает тело. Будут ли равны (1) или нет (2) между собой времена падения тела в случаях: а) вагон неподвижен; б) вагон движется с постоянной скоростью; в) вагон движется с постоянным горизонтальным ускорением? Силой сопротивления воздуха пренебречь. Ответ обоснуйте. [1]

1.3.10. На рис. 1.29 представлен график зависимости проекции скорости тела на ось Ox от времени движения. На каком из участков (1, 2, 3 или 4) этого графика величина ускорения тела максимальна? Ответ обоснуйте. [2]



1.3.11. Два тела из состояния покоя начали двигаться с ускорениями a_1 и a_2 , причем $a_1 > a_2$. Какое тело 1 или 2 прошло больший путь за одинаковое время t и во сколько раз? Ответ обоснуйте. [1 в a_1/a_2 раз]

1.3.12. Два тела из состояния покоя начали двигаться из одной точки с ускорениями a_1 и a_2 , причем $a_1 < a_2$. Какое тело 1 или 2 достигнет быстрее пункта назначения, если тела движутся прямолинейно? Ответ обоснуйте. [2]

1.3.13. Тело с нулевой начальной скоростью падает с некоторой высоты. Во сколько раз увеличится конечная скорость тела, если высоту падения увеличить в 4 раза? Ответ обоснуйте. [2]

1.3.14. Три тела брошены вертикально вверх с начальными скоростями v_1, v_2, v_3 , причем $v_1 > v_2 > v_3$. Какое из тел (1, 2 или 3) поднимется на наибольшую высоту? Ответ обоснуйте. [1]

1.3.15. Покажите, что для тела, брошенного с поверхности Земли вертикально вверх, время подъема равно времени падения.

1.3.16. Покажите, что для тела, брошенного с поверхности Земли вертикально вверх, начальная скорость v_0 равна по величине конечной скорости v тела при его падении на Землю. Силой сопротивления воздуха пренебречь.

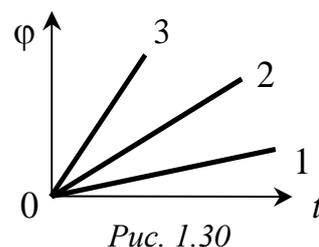
1.3.17. Как направлено и чему равно ускорение тела, брошенного под углом α к горизонту, если силой сопротивления воздуха можно пренебречь? Ответ обоснуйте. [Вертикально вниз и равно g]

1.3.18. Скорость – векторная величина и может изменяться как по величине (по модулю), так и по направлению. Какой из этих параметров изменяется при ускоренном движении материальной точки по окружности? Ответ обоснуйте. [Величина и направление]

1.3.19. Является ли равномерное движение материальной точки по окружности ускоренным движением? Ответ обоснуйте. [Является]

1.3.20. Самолет движется с постоянной по модулю скоростью по горизонтальной окружности. Как направлен вектор ускорения самолета при таком движении? Ответ обоснуйте. [К центру окружности]

1.3.21. На рис. 1.30 представлены графики зависимости угла поворота φ при равномерном движении трех тел по окружности от времени. Какое из трех тел (1, 2 или 3) движется с наибольшей угловой скоростью ω ? Ответ обоснуйте. [3]



1.3.22. Во сколько раз угловая скорость минутной стрелки больше угловой скорости часовой стрелки обычных часов? [12]

1.3.23. Какой вид имеет траектория движения точки на конце лопасти винта вертолета, поднимающегося равномерно вертикально вверх, в

системе отсчета, связанной с корпусом вертолета? Ответ обоснуйте. [Окружность]

1.3.24. Если нить, на которой раскручивается шарик в вертикальной плоскости, обрывается, когда шарик находится в точке A , по какой траектории и с каким по модулю ускорением он полетит дальше (рис. 1.31)? Ответ обоснуйте. [Вертикально вверх с ускорением $-g$]

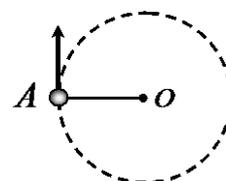


Рис. 1.31

1.3.25. Тело движется со скоростью v по окружности радиусом R . Во сколько раз изменится величина центростремительного ускорения тела, если скорость тела и радиус окружности увеличить в 2 раза? [2]

1.4.

1.4.1. Поезд идет со скоростью 108 км/ч. Пассажир этого поезда, сидящий у окна, видит в течение 18 с встречный поезд, длина которого 900 м. Какова скорость встречного поезда? Ответ представьте в единицах СИ. [20]

1.4.2. Скорость движения теплохода вниз по реке 21 км/ч, а вверх по реке – 17 км/ч. Определите скорость теплохода в стоячей воде. Ответ представьте в км/ч. [19]

1.4.3. Пассажир идет относительно вагона против движения поезда со скоростью 3 км/ч. Чему равна скорость пассажира относительно поверхности Земли, если поезд движется со скоростью 75 км/ч? Ответ представьте в единицах СИ. [20]

1.4.4. Два тела движутся взаимно перпендикулярными курсами соответственно со скоростями $v_1 = 8$ м/с и $v_2 = 6$ м/с (рис. 1.32). Чему равна величина скорости первого тела относительно второго? Ответ представьте в единицах СИ. [10]

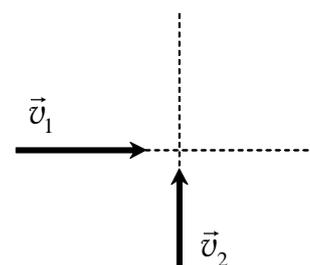


Рис. 1.32

1.4.5. Самолет проходит взлетную полосу за 10 с и в момент отрыва от Земли его скорость равна 100 м/с. Какой путь проходит самолет за это время? Ответ представьте в единицах СИ. [500]

1.4.6. За какое время автомобиль, двигаясь из состояния покоя с ускорением $0,6 \text{ м/с}^2$, пройдет путь 30 м ? Ответ представьте в единицах СИ. [10]

1.4.7. Известно, что тело за 10 с прошло путь 30 м , причем его скорость увеличилась в 5 раз. Считая движение равноускоренным, найдите величину ускорения тела. Ответ представьте в единицах СИ. [0,4]

1.4.8. Тело в течение времени 10 с движется с постоянной скоростью 10 м/с (рис. 1.33). Затем скорость его линейно возрастает со временем так, что в момент времени 20 с она равна 20 м/с . Определите путь, пройденный телом за время 12 с . [122]

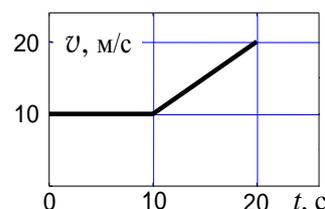


Рис. 1.33

1.4.9. Первый вагон поезда, начавшего двигаться равноускоренно, прошел мимо наблюдателя за 2 с . За какое время пройдет мимо него весь поезд, состоящий из 16 -и вагонов? Ответ представьте в единицах СИ. [8]

1.4.10. Конеч m стержня mn движется с постоянной скоростью v вдоль оси координат Oy к точке O (рис. 1.34). Начальная координата конца m на оси Oy равна y_0 , длина стержня l . Найдите зависимость координаты x конца n стержня от времени. Будет ли движение конца n равномерным? [$x = \sqrt{l^2 - (y_0 - vt)^2}$; не будет]

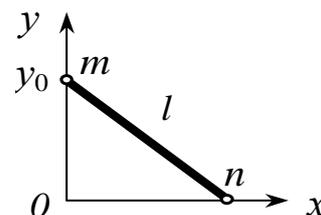


Рис. 1.34

1.4.11. Какой путь пройдет тело за первую секунду свободного падения без начальной скорости? Ответ представьте в единицах СИ. [5]

1.4.12. Тело свободно падает с высоты 5 м без начальной скорости. С какой скоростью тело достигнет поверхности Земли? Ответ представьте в единицах СИ. [10]

1.4.13. Камень брошен вертикально вверх со скоростью 20 м/с . На какую максимальную высоту поднимется камень? Ответ представьте в единицах СИ. [20]

1.4.14. С горы длиной 30 м санки скатились за время 10 с . Какую скорость приобрели санки в конце горы? Движение считать равноускоренным. Ответ представьте в единицах СИ. [6]

1.4.15. Из окопа на уровне Земли под углом 45° к горизонту брошена граната с начальной скоростью 10 м/с. Определите расстояние между точками бросания и падения гранаты. Ответ представьте в единицах СИ и округлите до целого числа. [10]

1.4.16. Мяч брошен с начальной скоростью 20 м/с под углом 30° к горизонту. Чему равна максимальная высота подъема мяча? Ответ представьте в единицах СИ. [5]

1.4.17. Во сколько раз возрастет дальность полета камня, брошенного под некоторым углом α к горизонту, если его начальную скорость увеличили в 2 раза? Ответ обоснуйте. [4]

1.4.18. Выразите в радианах угол, на который поворачивается минутная стрелка за 24 часа. Ответ округлите до десятых. [150,7]

1.4.19. За 10 с материальная точка, двигаясь равномерно по окружности, прошла половину ее длины. Определите угловую скорость движения этой точки. Ответ представьте в единицах СИ и округлите до десятых. [0,3]

1.4.20. За 10 с материальная точка, двигаясь равномерно по окружности, радиус которой 50 см, прошла половину ее длины. Определите линейную скорость движения этой точки. Ответ представьте в единицах СИ и округлите до сотых. [0,16]

1.4.21. Сколько оборотов сделает колесо, имеющее угловую скорость 4 рад/с за 50 с? Ответ округлите до целого числа. [32]

1.4.22. Определите центростремительное ускорение материальной точки, движущейся равномерно по окружности радиусом $0,5$ м со скоростью 2 м/с. Ответ представьте в единицах СИ. [8]

1.4.23. Частота вращения винта самолета 1800 об/мин. Какой путь пролетел самолет, двигаясь прямолинейно и равномерно, за время, в течение которого винт сделал $5 \cdot 10^4$ оборотов при скорости самолета 270 км/ч? Ответ выразите в километрах. [125]

1.4.24. С какой скоростью автомобиль должен проходить середину выпуклого моста радиусом 40 м, чтобы центростремительное ускорение равнялось ускорению свободного падения? Ответ представьте в единицах СИ. [20]

1.4.25. Скорость точек экватора Солнца при его вращении вокруг своей оси 2 км/с. Найдите центростремительное ускорение точек экватора. Ответ представьте в единицах СИ и округлите до тысячных. [0,006]

1.5.

1.5.1. По оси Ox движутся в одном направлении два тела: первое по закону $x_1 = 8 + 2t$, второе по закону $x_2 = 4 + 3t$. (Все величины даны в единицах СИ). В какой момент времени тела окажутся в одной точке? [4]

1.5.2. Найдите время, за которое электричка длиной 200 м, движущаяся со скоростью 20 м/с, обгонит товарный поезд длиной 400 м, движущийся со скоростью 15 м/с по параллельному пути. Ответ представьте в минутах. [2]

1.5.3. Эскалатор метро движется со скоростью 0,75 м/с. Человек идет в направлении движения эскалатора со скоростью 0,75 м/с относительно эскалатора. За какое время человек переместится на 30 м относительно Земли? Ответ представьте в единицах СИ. [20]

1.5.4. Материальная точка движется вдоль оси Ox со скоростью, проекция v_x которой на эту ось зависит от времени t по закону $v_x = 10 - 2t$. (Все величины даны в единицах СИ). Найдите среднюю скорость на пути, пройденном за время от $t_1 = 0$ с до $t_2 = 10$ с. [5]

1.5.5. Определите координату x места соударения двух частиц, движущихся вдоль оси Ox друг за другом. Скорость первой частицы 10 м/с, скорость второй 5 м/с. Первая частица в момент времени $t = 0$ имела координату $x = 0$, а вторая в момент времени $t = 0$ – координату $x = 10$ м. Ответ представьте в единицах СИ. [20]

1.5.6. При аварийном торможении автомобиль, движущийся со скоростью 72 км/ч, останавливается через 5 с. Найдите тормозной путь. Ответ представьте в единицах СИ. [50]

1.5.7. Поезд через 10 с после начала движения приобрел скорость 0,6 м/с. Через какое время после начала движения скорость поезда станет равной 3 м/с? Ответ представьте в единицах СИ. [50]

1.5.8. При скорости 15 км/ч тормозной путь автомобиля равен 1,5 м. Каким будет тормозной путь при скорости 90 км/ч? Ускорение в обоих случаях одинаково. Ответ представьте в единицах СИ. [54]

1.5.9. Чтобы оторваться от Земли, самолет должен иметь скорость 360 км/ч. На каком расстоянии от места начала разгона на взлетной полосе самолет достигнет такой скорости, если его ускорение 5 м/с^2 ? Ответ представьте в километрах. [1]

1.5.10. Вагон движется равнозамедленно, имея начальную скорость 54 км/ч и ускорение $0,3 \text{ м/с}^2$. Какое расстояние вагон пройдет до остановки? Ответ представьте в единицах СИ. [375]

1.5.11. Во сколько раз скорость пули при вылете из ствола больше, чем в середине ствола? Считать, что движение пули в стволе происходит с постоянным ускорением. Ответ представьте в единицах СИ и округлите до десятых. [1,4]

1.5.12. Тело, свободно падая из состояния покоя, достигнет поверхности Земли за 2 с. Определите высоту, с которой падало тело. Ответ представьте в единицах СИ. [20]

1.5.13. Свободно падающее тело на высоте 100 м имело скорость 50 м/с. На какой высоте оно будет через 1 с? На какой высоте оно было на 1 с ранее? Ответ представьте в единицах СИ и округлите до целого числа. [45; 145]

1.5.14. С вертолета, находящегося на высоте 64 м, сброшен груз. Определите время, через которое груз достигнет Земли, если вертолет опускается со скоростью 4 м/с. Ответ представьте в единицах СИ и округлите до целого числа. [3]

1.5.15. Тело брошено вертикально вверх с высоты 20 м с начальной скоростью 3 м/с. На какой высоте оно окажется через 2 с после начала движения? Ответ представьте в единицах СИ. [6]

1.5.16. Тело, брошенное вертикально вверх, вернулось на Землю через 4 с. На какую высоту поднялось тело? Сопротивление воздуха не учитывать. Ответ представьте в единицах СИ. [20]

1.5.17. Тело брошено горизонтально. Через время 5 с после броска угол между направлениями скорости и ускорения стал равным 45° . Определите скорость тела в этот момент. Ответ представьте в единицах СИ и округлите до десятых. [70,7]

1.5.18. Самолет летит горизонтально со скоростью 360 км/ч на высоте 500 м. Когда самолет пролетает над точкой O , с него сбрасывают пред-

мет. На каком расстоянии от точки O предмет упадет на Землю? Сопротивление воздуха не учитывать. Ответ представьте в единицах СИ. [1000]

1.5.19. Определите $\sin\alpha$, под которым тело брошено к горизонту, если через время 5 с его скорость была направлена горизонтально. Начальная скорость тела равна 100 м/с. [0,5]

1.5.20. С какой минимальной скоростью следует бросить под углом 45° к горизонту камень, чтобы он достиг высоты 2,5 м? Ответ представьте в единицах СИ и округлите до целого числа. [10]

1.5.21. Дальность полета тела равна высоте его подъема над поверхностью Земли. Под каким углом к горизонту было брошено тело? Ответ представьте в градусах и округлите до целого числа. [76]

1.5.22. Какова линейная скорость конца минутной стрелки часов на Спасской башне Московского Кремля, если длина стрелки равна 3,5 м? Ответ представьте в единицах СИ и округлите до тысячных. [0,006]

1.5.23. Маховое колесо диаметром 1,8 м совершает 50 оборотов в минуту. Определите ускорение точек на ободе колеса. Ответ представьте в единицах СИ. [25]

1.5.24. Закон изменения угла поворота точки, вращающейся по окружности радиусом 0,2 м, в зависимости от времени имеет вид $\varphi = At^2 + Bt + C$, где $C = 0,1$ рад, $B = 2$ рад/с; $A = 0,5$ рад/с². Определите центростремительное ускорение точки в момент времени 3 с. Ответ представьте в единицах СИ. [5]

1.5.25. При увеличении в 4 раза радиуса круговой орбиты искусственного спутника Земли период его обращения увеличился в 8 раз. Во сколько раз изменяется скорость движения спутника по орбите? Ответ обоснуйте. [2]

1.6.

1.6.1. Законы движения материальных точек выражаются уравнениями $x_1 = 2 - 2t + t^2$ и $x_2 = 20 + 2t - 4t^2$, где x – в метрах, t – в секундах. В какой момент времени скорости этих точек будут одинаковыми? Чему равны скорости этих точек в этот момент времени? Ответ представьте в единицах СИ. [0,4; -1,2]

1.6.2. Автоколонна длиной 2 км движется со скоростью 40 км/ч. Мотоциклист выехал из хвоста колонны со скоростью 60 км/ч. За какое время он достигнет головной машины? Ответ представьте в часах. [0,1]

1.6.3. Скорость лодки относительно воды в n раз больше скорости течения реки. Во сколько раз больше времени занимает поездка на лодке против течения, чем по течению? $[(n + 1)/(n - 1)]$

1.6.4. Мотоциклист проехал четверть пути по горизонтальному участку шоссе со скоростью v_1 . Следующие три четверти пути он ехал в гору, двигаясь с постоянным по модулю ускорением, причем конечная скорость оказалась равной v_2 . Какова средняя скорость движения мотоциклиста? $[v_{cp} = 4v_1(v_1 + v_2)/(7v_1 + v_2)]$

1.6.5. Автомобиль, трогаясь с места, через 5 с равноускоренного движения прошел путь 25 м. После этого был выключен мотор и автомобиль стал двигаться равнозамедленно с таким же по величине ускорением до полной остановки. Найдите среднюю скорость автомобиля на всем пройденном пути. Ответ представьте в единицах СИ. [5]

1.6.6. Автомобиль, начиная движение из состояния покоя и двигаясь по прямой, проходит первый километр с ускорением a_1 , а второй – с ускорением a_2 . При этом на первом километре его скорость увеличивается на 10 м/с, а на втором километре на 5 м/с. Какое ускорение a_1 или a_2 больше и во сколько раз? $[a_2 / a_1 = 1,25]$

1.6.7. За время 3 с после начала равноускоренного движения первый вагон поезда проходит мимо наблюдателя, стоящего в начальный момент времени у начала этого вагона. За какое время пройдет мимо наблюдателя весь поезд, состоящий из 9 вагонов? Промежутками между вагонами пренебечь. Ответ представьте в единицах СИ. [9]

1.6.8. От пункта A электричка двигалась равномерно со скоростью 20 м/с в течение 100 с. Затем она начала торможение с отрицательным ускорением -1 м/с^2 и через 20 с остановилась в пункте B . Определите расстояние между пунктами A и B . Ответ представьте в единицах СИ. [2200]

1.6.9. Тело движется из состояния покоя равноускоренно. Во сколько раз путь, пройденный телом за восьмую секунду, будет больше пути, пройденного за третью секунду? [3]

1.6.10. Два шарика, находящиеся на расстоянии 10 м друг от друга, одновременно пускают навстречу друг другу с начальными скоростями 3 м/с и 2 м/с. Шарика движутся с одинаковыми ускорениями 5 м/с^2 каждый. Найдите время от начала движения до столкновения шариков. Направление ускорения каждого шарика совпадает с направлением его начальной скорости. Ответ представьте в единицах СИ. [1]

1.6.11. С неподвижного аэростата сбросили два груза с начальной скоростью, равной нулю. Второй груз сбросили на 1 с позже первого. Определите расстояние между грузами через 2 с после начала падения первого груза. Ответ представьте в единицах СИ. [15]

1.6.12. С аэростата, находящегося на высоте 300 м, упал камень. Определите время, через которое камень достигнет поверхности Земли, если аэростат опускается со скоростью 5 м/с. Сопротивлением воздуха пренебречь. Ответ представьте в единицах СИ и округлите до десятых. [7,3]

1.6.13. С балкона вертикально вверх брошен мяч с начальной скоростью 8 м/с. Через 2 с мяч упал на Землю. Определите высоту балкона над землей? Ответ представьте в единицах СИ. [4]

1.6.14. Мяч брошен вертикально вверх со скоростью 20 м/с. На какой высоте скорость мяча будет в 2 раза меньше, чем в начале движения? Ответ представьте в единицах СИ. [15]

1.6.15. Над колодцем глубиной 10 м бросают вертикально вверх камень с начальной скоростью 14 м/с. Через сколько времени и с какой скоростью камень достигнет дна колодца? Ответ представьте в единицах СИ и округлите до десятых. [3,4; 19,9]

1.6.16. Звук выстрела и пуля одновременно достигают высоты 680 м. Какова начальная скорость пули? Выстрел произведен вертикально вверх. Сопротивление воздуха движению пули не учитывать. Ответ представьте в единицах СИ. [350]

1.6.17. На рис. 1.35 представлен график зависимости скорости движения лифта от времени. Определите высоту, на которую поднимется лифт. Ответ представьте в единицах СИ. [18]

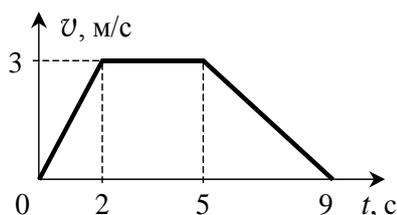


Рис. 1.35

1.6.18. С платформы поезда бросают камень со скоростью 20 м/с, направленной под углом 60° к горизонту в направлении, противоположном движению поезда. С какой скоростью движется поезд, если начальная скорость камня относительно Земли оказалась направленной вертикально? Ответ представьте в единицах СИ. [10]

1.6.19. Два тела брошены с одинаковыми начальными скоростями под углами α и $(90^\circ - \alpha)$ к горизонту. Найдите отношение наибольших высот подъема этих тел. $[\text{tg}^2\alpha]$

1.6.20. Определите радиус маховика, если при вращении линейная скорость точек на его ободе 5 м/с, а точек, находящихся на 20 см ближе к оси вращения, равна 4,5 м/с. Ответ представьте в единицах СИ. [2]

1.6.21. Линейная скорость точек обода вращающегося колеса 3 м/с, а точек, находящихся на 10 см ближе к оси вращения, равна 2 м/с. Определите частоту вращения колеса. Ответ представьте в единицах СИ и округлите до десятых. [1,6]

1.6.22. Вагон движется с постоянной по модулю скоростью по рельсам, проложенным по дуге окружности радиусом 100 м. Ускорение вагона равно $0,25 \text{ м/с}^2$. За какое время вагон пройдет путь, равный 150 м? Ответ представьте в единицах СИ. [30]

1.6.23. Тонкостенный шар радиусом 1 м вращается с угловой скоростью 628 рад/с относительно оси, проходящей через его центр. С какой максимальной скоростью должна лететь пробивающая шар пуля, чтобы в оболочке шара было только одно отверстие? Траектория пули проходит через центр шара. Ответ представьте в единицах СИ. [400]

1.6.24. Какую горизонтальную скорость нужно сообщить телу, чтобы оно летело параллельно поверхности Земли вдоль экватора? Ответ представьте в километрах за секунду и округлите до целого числа. [8]

1.6.25. Материальная точка, начав двигаться равноускоренно по окружности радиусом 1 м, прошла за 10 с путь 50 м. С каким центростремительным ускорением двигалась материальная точка спустя 5 с после начала движения? Ответ представьте в единицах СИ. [25]

1.7.

1.7.1. Из начала координат одновременно начинают движение две точки. Первая движется по оси Oy со скоростью 3 м/с, а другая по оси Ox со скоростью 4 м/с. С какой скоростью они удаляются друг от друга? Ответ представьте в единицах СИ. [5]

1.7.2. Велосипедист проехал половину пути со скоростью 10 м/с, половину оставшегося времени со скоростью 8 м/с, а затем до конца пути он ехал со скоростью 4 м/с. Определите среднюю скорость велосипедиста на всем пути. Ответ представьте в единицах СИ. [7,5]

1.7.3. Эскалатор метро спускает идущего по нему вниз человека за 60 с. Если человек будет идти вдвое быстрее, он спустится за 45 с. Определите время, за которое спускается человек, стоящий на эскалаторе. Ответ представьте в единицах СИ. [90]

1.7.4. Пассажирский катер на подводных крыльях проходит расстояние 150 км между пристанями по течению за 2 часа, а против течения – за 3 часа. Определите скорость катера в стоячей воде. Ответ представьте в км/ч. [62,5]

1.7.5. Колонна автомобилей движется по шоссе со скоростью 90 км/ч. Длина каждого автомобиля 10 м. На ребристом участке шоссе автомобили движутся со скоростью 15 км/ч. Каким должен быть минимальный интервал между автомобилями, чтобы автомобили не сталкивались при въезде на ребристый участок шоссе? Ответ представьте в единицах СИ. [50]

1.7.6. Капли дождя на окне неподвижного вагона оставляют полосы, наклоненные под углом 30° к вертикали. При движении вагона со скоростью 18 км/ч полосы от дождя вертикальны. Определите скорость капель в безветренную погоду и скорость ветра. Ответы представьте в единицах СИ; значение скорости капель округлите до сотых. [8,66; 5]

1.7.7. Тело имело начальную скорость 5 м/с и прошло за пятую секунду путь, равный 4,5 м. Определите ускорение тела. Ответ представьте в единицах СИ и округлите до десятых. [−0,1]

1.7.8. Пуля, летящая со скоростью 400 м/с, ударила о бревно и углубилась в него на 20 см. Сколько времени пуля двигалась внутри бревна и с каким ускорением? Какова была её скорость на глубине 10 см? Ответы представьте в единицах СИ. [10^{-3} ; $-4 \cdot 10^5$; 283]

1.7.9. Автомобиль начинает движение из состояния покоя. Двигаясь по прямой, первый километр он проходит с ускорением a_1 , а второй – с ускорением a_2 . При этом на первом километре его скорость увеличивается на 10 м/с, а на втором километре – на 5 м/с. Найдите среднюю скорость движения автомобиля. Ответ представьте в единицах СИ и округлите до десятых. [7,1]

1.7.10. Тело начинает двигаться вдоль прямой с постоянным ускорением. Через 30 мин ускорение тела изменяется по направлению на противоположное, оставаясь таким же по величине. Через какое время от начала движения тело вернется в исходную точку? Ответ представьте в минутах и округлите до десятых. [102,4]

1.7.11. Корабль выходит из пункта A и идет со скоростью \vec{v} , составляющей угол α с линией AB (рис. 1.36). Под каким углом β к линии AB следует выпустить из пункта B торпеду, чтобы она поразила корабль? Торпеду нужно выпустить в тот момент, когда корабль находится в пункте A . Скорость торпеды равна \vec{u} . [$\beta = \arcsin\left(\frac{v}{u} \sin \alpha\right)$]

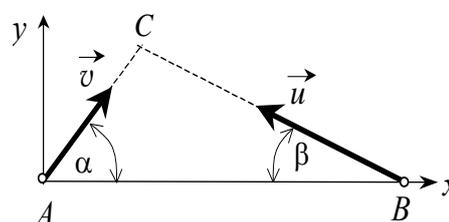


Рис. 1.36

1.7.12. Тело, свободно падая с некоторой высоты, последние 196 м пролетело за 4 с. Определите время падения тела. Ответ представьте в единицах СИ и округлите до целого числа. [7]

1.7.13. Тело свободно падает из состояния покоя с высоты 2000 м. Какой путь пройдет тело за последнюю секунду своего падения? Ответ представьте в единицах СИ. [195]

1.7.14. Тело свободно падает из состояния покоя с высоты 2000 м. За какое время тело пройдет последние 100 м своего пути? Ответ представьте в единицах СИ и округлите до десятых. [0,5]

1.7.15. Стрела, пущенная из лука вертикально вверх, упала на Землю через 6 с. Определите путь, пройденный стрелой за 5 с. Ответ представьте в единицах СИ. [65]

1.7.16. Стрела, пущенная из лука вертикально вверх, упала на Землю через 6 с. Определите модуль перемещения стрелы за 5 с. Ответ представьте в единицах СИ. [25]

1.7.17. Два тяжелых шарика брошены с одинаковыми начальными скоростями из одной точки вертикально вверх, один через 3 с после другого. Они встретились в воздухе через 6 с после вылета первого шарика. Определите начальную скорость шариков. Сопротивлением воздуха пренебречь. Ответ представьте в единицах СИ. [45]

1.7.18. Два тела бросают с высоты 20 м со скоростью 15 м/с каждое. С какими скоростями (в м/с) тела упадут на Землю, если первое тело брошено вертикально вверх, а второе горизонтально? [25]

1.7.19. Камень, брошенный горизонтально на высоте 2,45 м над Землей, упал на расстоянии 7 м от места бросания (по горизонтали). Определите конечную скорость камня. Ответ представьте в единицах СИ и округлите до десятых. Сопротивление воздуха не учитывать. [12,2]

1.7.20. Окружность лежит в вертикальной плоскости (рис. 1.37). Из верхнего конца O вертикального диаметра D по желобам, расположенным вдоль различных хорд (OA , OB , OC и т.д.), скатываются одинаковые тела. Докажите, что время движения тел не зависит от длины хорды. Трением пренебречь.

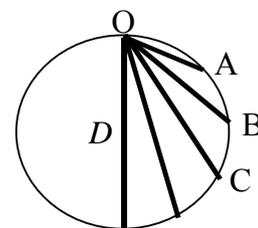


Рис. 1.37

1.7.21. В конической лунке с вертикальной осью симметрии и углом раствора $2\alpha = 90^\circ$ прыгает шарик (рис. 1.38), ударяясь в противоположные точки A и B , расположенные на одной горизонтали, через одно и то же время $\tau = 1$ с. Найдите максимальную и минимальную скорости шарика. Ответы представьте в единицах СИ и округлите до целого числа. [7; 5]

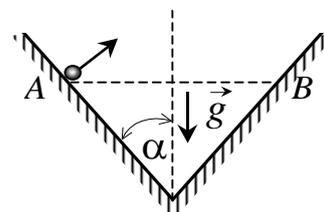


Рис. 1.38

1.7.22. Велосипедист едет с постоянной скоростью так, что угловая скорость вращения колес, радиус которых 45 см, равна 10 рад/с. Чему равна скорость верхней точки обода колеса относительно Земли? Ответ представьте в единицах СИ. [9]

1.7.23. На горизонтальном валу, вращающемся с частотой 200 с^{-1} , на расстоянии 20 см друг от друга закреплены два тонких диска. Горизонтально летевшая пуля пробила оба диска на одинаковом расстоянии от оси вращения. Определите среднюю скорость пули при ее движении между дисками, если угловое смещение пробоин оказалось равным 18° . Ответ представьте в единицах СИ. [800]

1.7.24. Колесо радиусом R катится по горизонтальной плоскости без скольжения. Центр колеса движется со скоростью v . Угол между вертикалью и направлением из центра колеса на точку обода равен φ . Найдите модуль скорости точки на ободу колеса. [$2v \cdot \cos(\varphi/2)$ или $v\sqrt{2(1 + \cos\varphi)}$]

1.7.25. Шарик подвешен на нити длиной 1 м. Шарик раскрутили так, что он начал двигаться равномерно по окружности в горизонтальной плоскости с периодом 1,57 с. При этом угол, образованный нитью с вертикалью, равен $\pi/6$ рад. Определите линейную скорость и центростремительное ускорение при движении шарика по окружности. Ответ представьте в единицах СИ. [2; 8]

1.7.26. Цилиндр радиусом 20 см вращается вокруг своей оси с частотой 20 об/мин. Вдоль образующей поверхности цилиндра движется тело с постоянной скоростью 30 см/с относительно поверхности цилиндра. Определите полную скорость этого тела. Ответ представьте в единицах СИ и округлите до десятых. [0,5]

1.7.27. Пропеллер самолета диаметром 3 м вращается при посадке с частотой 2000 мин^{-1} . Посадочная скорость самолета относительно Земли равна 162 км/ч. Определите скорость точки на конце пропеллера при посадке. Ответ представьте в единицах СИ и округлите до целого числа. [317]

1.7.28. Горизонтально летевшая пуля пробила вращающийся с частотой 10 с^{-1} вертикальный барабан по его диаметру, равному 1 м. Какова скорость пули внутри барабана, если расстояние по окружности между пробоинами оказалось равным 0,942 м? Ответ представьте в единицах СИ и округлите до целого числа. [50]

1.7.29. При снижении вертолет опускался вертикально с постоянной скоростью 19 м/с. Начиная с некоторой высоты h и до посадки, он опускался равнозамедленно с ускорением $0,2 \text{ м/с}^2$. Сколько оборотов сделал винт вертолета за время снижения с высоты h до посадки, если угловая скорость вращения винта $31,4 \text{ рад/с}$? [475]

1.8.

1.8.1. Легковой автомобиль движется со скоростью 20 м/с за грузовым, скорость которого 16,5 м/с. В момент начала обгона водитель легкового автомобиля увидел встречный автобус, движущийся со скоростью 25 м/с. При каком наименьшем расстоянии до автобуса можно начинать обгон, если в начале обгона легковая машина была в 15 м от грузовой, а к концу обгона она должна быть впереди грузовой на 20 м? Ответ представьте в единицах СИ. [450]

1.8.2. Частица движется в одной плоскости. По графикам зависимости от времени проекций v_y и v_x скорости, представленных на рис. 1.39, постройте траекторию частицы $y(x)$, если $x(0) = 2$ м, $y(0) = 1$ м. [5]

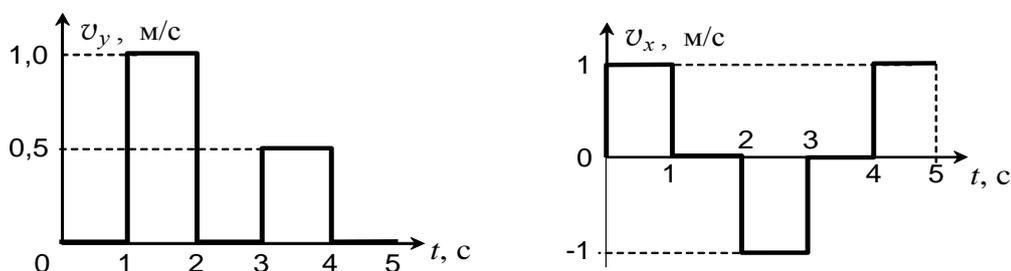


Рис. 1.39

1.8.3. Моторная лодка, проходя под мостом, обогнала плот. Через 45 мин, пройдя расстояние 15 км, она повернула обратно. В 6 км от моста лодка поравнялась с плотом. Найдите скорость течения и скорость моторной лодки относительно воды. Ответы представьте в км/ч и округлите до целого числа. [4; 16]

1.8.4. По прямой дороге с постоянной скоростью 72 км/ч движется автомобиль. На расстоянии 100 м от дороги и 500 м от автомобиля находится человек. С какой минимальной скоростью должен бежать человек, чтобы успеть выбежать к дороге в том месте, где будет проезжать автомобиль? Ответ представьте в единицах СИ и округлите до целого числа. [4]

1.8.5. Корабль идет на запад со скоростью 6,5 м/с. Известно, что ветер дует с юго-запада. Скорость ветра, зарегистрированного приборами относительно палубы корабля, равна 9,3 м/с. Определите (в единицах СИ) скорость ветра относительно Земли. Ответ округлите до десятых. Какое направление ветра (в градусах) показывали приборы относительно курса корабля? [3,5; 165]

1.8.6. Спортсмен-спринтер способен бежать короткие дистанции после разгона с максимальной скоростью 14,8 м/с. Во сколько раз средняя скорость спортсмена на дистанции 200 м больше, чем на дистанции 100 м, если время ускорения на обеих дистанциях одинаково и равно 3 с, и спортсмен бежит дистанцию после разгона с максимальной скоростью? Ответ округлите до десятых. [1,1]

1.8.7. Тело одну четвертую часть пути двигалось со скоростью 12 м/с, затем третью часть оставшегося пути – с постоянной скоростью 1 м/с, а оставшуюся часть пути – с постоянным ускорением и в конце пути имело скорость 7 м/с. Определите среднюю скорость за время движения. Ответ представьте в единицах СИ и округлите до десятых. [2,5]

1.8.8. Некоторое тело последовательно совершило два перемещения со скоростями v_1 и v_2 . Первое перемещение направлено под углом φ_1 к некоторому выбранному направлению, второе – под углом φ_2 . Известно также, что модуль первого перемещения в n раз меньше модуля второго. Определите среднюю скорость изменения модуля перемещения. $[v_{cp} = Nv_1/(1+n(v_1/v_2))]$, где $N = \sqrt{1+n^2+2n\cos(\varphi_2-\varphi_1)}$

1.8.9. Пассажир первого вагона поезда прогуливался по перрону. Когда он был рядом с последним вагоном, поезд начал двигаться с ускорением $0,2 \text{ м/с}^2$. Пассажир сразу же побежал со скоростью 6 м/с. Через какое время он догонит свой вагон, если длина поезда без локомотива равна 60 м? Ответ представьте в единицах СИ и округлите до целого числа. [13]

1.8.10. Навстречу друг другу едут два велосипедиста: один, имея начальную скорость 4 м/с, равнозамедленно поднимается в гору с ускорением $0,1 \text{ м/с}^2$, другой, имея начальную скорость 1 м/с, равноускоренно спускается с горы с ускорением $0,4 \text{ м/с}^2$. Какой путь проедет первый велосипедист до встречи, если расстояние между ними в начальный момент равно 150 м? Ответ представьте в единицах СИ и округлите до целого числа.[58]

1.8.11. По графику зависимости ускорения тела от времени (рис. 1.40) определите его скорость в момент времени 15 с, если в момент времени 1 с скорость равна 3 м/с. [423]

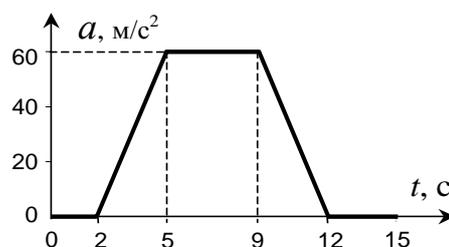
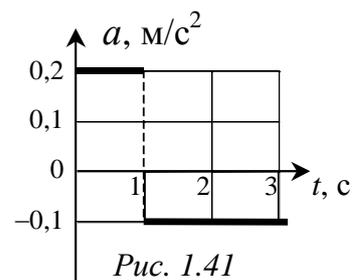


Рис. 1.40

1.8.12. По графику зависимости ускорения от времени (рис. 1.41) постройте графики зависимости от времени скорости и координаты этого движения. Определите скорость и координату в момент времени 3 с, если в начальный момент времени скорость была равна 5 м/с. Ответ представьте в единицах СИ. [5; 15,3]



1.8.13. Тело начинает двигаться прямолинейно и равноускоренно с ускорением a без начальной скорости. Через время t вектор ускорения изменяет направление на 90° , оставаясь таким же по величине. Определите закон изменения скорости в зависимости от времени $v(t)$ и угол α (в градусах) отклонения от первоначального направления через время $2t$ после начала движения. [$v = \sqrt{2} \cdot at$; $\alpha = 45^\circ$]

1.8.14. Время отправления электрички по расписанию 12 часов дня. Вы подошли к тому месту, где должно находиться начало первого вагона. На Ваших часах 12⁰⁰, но мимо Вас уже начинает проезжать предпоследний вагон, который движется мимо в течение 10 с. Электричка отправилась вовремя и движется равноускоренно. На сколько секунд отстают Ваши часы, если электричка состоит из 4-х вагонов? Ответ представьте в единицах СИ и округлите до десятых. [44,5]

1.8.15. Тело бросили вертикально вверх со скоростью 30 м/с. Некоторую точку A тело проходит дважды с разницей во времени 2 с. Определите высоту, на которой находится точка A . Ответ представьте в единицах СИ. [40]

1.8.16. С воздушного шара, опускающегося вниз с постоянной скоростью 2 м/с, бросили вертикально вверх груз со скоростью 18 м/с относительно Земли. Определите расстояние между шаром и грузом в момент, когда груз достигнет высшей точки своего подъема. Ответ представьте в единицах СИ. [19,8]

1.8.17. С высоты 10 м над Землей падает камень. Одновременно с высоты 8 м вертикально вверх бросают другой камень. С какой начальной скоростью был брошен второй камень, если камни столкнулись на высоте 5 м над Землей? Сопротивление воздуха не учитывать. Ответ представьте в единицах СИ. [2]

1.8.18. Самолет летит по дуге окружности радиусом 1 км, сохраняя одну и ту же высоту 1,5 км. С интервалом времени 10,5 с с него сбрасы-

вают два мешка. На каком расстоянии друг от друга эти мешки упадут на Землю, если скорость самолета 100 м/с? Сопротивлением воздуха пренебречь. Ответ представьте в километрах и округлите до целого числа. [2]

1.8.19. Два тела одновременно бросили из одной точки. Начальная скорость первого тела равна 10 м/с и направлена вертикально вверх, скорость второго тела равна 20 м/с и направлена под углом 30° к горизонту. Определите расстояние между телами через 1 с после начала движения. Ответ представьте в единицах СИ и округлите до десятых. [17,3]

1.8.20. Тело *A* брошено вертикально вверх со скоростью 20 м/с, тело *B* брошено горизонтально со скоростью 4 м/с с высоты 20 м одновременно с телом *A*. Расстояние по горизонтали между исходными положениями тел равно 4 м. Определите скорость тела *A* в момент его столкновения с телом *B*. Ответ представьте в единицах СИ. [10]

1.8.21. Шарик, брошенный вверх по наклонной плоскости, прошел последовательно два равных отрезка длиной 50 см каждый и продолжал двигаться дальше. Первый отрезок шарик прошел за 1,5 с, второй – за 2,0 с. Найдите скорость шарика в конце второго отрезка. Ответ представьте в единицах СИ и округлите до десятых. [0,2]

1.8.22. С какой наименьшей скоростью следует бросить тело под углом 56° к горизонту, чтобы оно перелетело через вертикальную стену высотой 5,6 м, если стена находится от точки бросания на расстоянии 5 м? Ответ представьте в единицах СИ и округлите до десятых. [14,9]

1.8.23. Снаряд вылетает из орудия под углом 45° к горизонту с начальной скоростью 500 м/с. Для момента времени, равного 20 с после начала движения, найдите: а) модуль скорости снаряда (в единицах СИ); б) угол (в градусах), который составляет вектор скорости с осью *Ox*; в) модули нормального и тангенциального ускорений снаряда (в единицах СИ); г) радиус кривизны траектории (в километрах) в точке, соответствующей этому моменту времени. Ответы округлите до целого числа. [385; 23; 9 и 4; 16]

1.8.24. Начальная скорость камня, брошенного под некоторым углом к горизонту, равна 10 м/с, а спустя время 0,5 с скорость камня равна 7 м/с. На какую максимальную высоту над начальным уровнем поднимется камень? Сопротивление воздуха не учитывать. Ответ представьте в единицах СИ и округлите до десятых. [2,9]

1.8.25. Маленький шарик падает с высоты 50 см на наклонную плоскость, составляющую угол 45° к горизонту. Найдите расстояние между точками первого и второго ударов шарика о плоскость. Соударения считать абсолютно упругими. Ответ представьте в единицах СИ и округлите до десятых. [2,8]

1.8.26. С высоты 2 м вниз под углом к горизонту 60° брошен мяч с начальной скоростью 8,7 м/с. Определите расстояние между двумя последовательными ударами мяча о Землю. Удары считать абсолютно упругими. Ответ (в метрах) округлите до десятых. Задачу решите без использования закона сохранения механической энергии. [8,6]

1.8.27. Тело бросают с высоты 4 м вверх под углом 45° к горизонту так, что к поверхности Земли оно подлетает под углом 60° . Какое расстояние (в метрах) по горизонтали пролетит тело? Ответ округлите до десятых. [10,9]

1.8.28. Мяч, брошенный со скоростью 10 м/с под углом 45° к горизонту, ударяется о стену, находящуюся на расстоянии 3 м от места бросания. Определите модуль скорости мяча после удара о стенку. Удар считайте абсолютно упругим. Ответ представьте в единицах СИ и округлите до десятых. [7,6]

1.8.29. С вершины холма бросили камень под углом к горизонту со скоростью 10 м/с. В момент падения камня на склон холма угол между направлением скорости камня и горизонтом составил 60° , а разность высот точек бросания и падения оказалась равной 5 м. Найдите угол между направлением начальной скорости камня и горизонтом. Ответ представьте в градусах. [45]

1.8.30. Два тела бросили одновременно из одной точки: одно – вертикально вверх, другое – под углом 60° к горизонту. Начальная скорость каждого тела 25 м/с. Пренебрегая сопротивлением воздуха, найдите расстояние между телами через 1,7 с. Ответ представьте в единицах СИ и округлите до целого числа. [22]

1.8.31. Спортсмен прыгает с 10-метровой вышки вверх под углом к горизонту и через 2 с погружается в воду на расстоянии 3 м (по горизонтали) от края вышки. Определите скорость спортсмена в момент прыжка. Ответ представьте в единицах СИ и округлите до десятых. [5,2]

1.8.32. С высоты 30 м свободно падает стальной шарик. При падении он сталкивается с неподвижной плитой, плоскость которой наклонена под углом 30° к горизонту, и взлетает на высоту 15 м над поверхностью Земли. Каково время падения шарика до удара о плиту? Удар шарика о плиту считать абсолютно упругим. Ответ представьте в единицах СИ и округлите до целого числа. [2]

1.8.33. Колесо катится без проскальзывания по ленте транспортера, движущейся горизонтально со скоростью $v_0 = 1$ м/с в направлении движения ленты (рис. 1.42). Известно, что относительно неподвижного наблюдателя скорость точки B , находящейся на ободе колеса на его горизонтальном диаметре, составляет с горизонтом угол $\alpha = 30^\circ$. Найдите скорость центра O колеса относительно неподвижного наблюдателя. Ответ представьте в единицах СИ и округлите до десятых. [2,4]

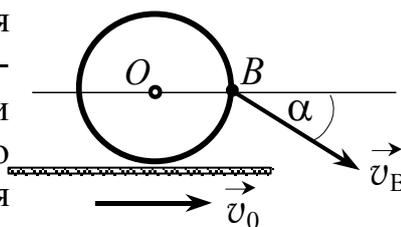


Рис. 1.42

1.8.34. Цилиндрический каток радиусом 1 м помещен между двумя параллельными рейками (рис. 1.43). Рейки движутся в одну сторону со скоростями $v_1 = 4$ м/с и $v_2 = 2$ м/с. Определите угловую скорость вращения катка. Ответ представьте в единицах СИ. [1]

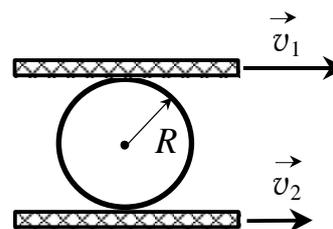


Рис. 1.43

1.8.35. *Муравей бежит из муравейника по прямой так, что его скорость обратно пропорциональна расстоянию до центра муравейника. В тот момент, когда муравей находится в точке A на расстоянии $l_1 = 1$ м от центра муравейника, его скорость $v_1 = 2$ см/с. За какое время t муравей добежит от точки A до точки B , которая находится на расстоянии $l_2 = 2$ м от центра муравейника? Ответ представьте в единицах СИ и округлите до целого числа. [75]

2. ДИНАМИКА. СТАТИКА. ЗАКОНЫ СОХРАНЕНИЯ В МЕХАНИКЕ

Содержание раздела

Инерциальные системы отсчета. Первый закон Ньютона. Принцип относительности Галилея. Масса тела. Плотность вещества. Сила. Принцип суперпозиции сил. Второй закон Ньютона. Третий закон Ньютона. Закон всемирного тяготения. Сила тяжести. Невесомость. Сила упругости. Сила трения. Импульс. Закон сохранения импульса. Механическая работа. Кинетическая энергия. Потенциальная энергия. Полная механическая энергия. Закон сохранения полной механической энергии. Момент силы. Условия равновесия твердого тела.

Основные законы и формулы

- Равнодействующая сил $\vec{F}_1, \vec{F}_2, \dots, \vec{F}_n$, действующих на материальную точку,

$$\vec{F}_{\text{равн}} = \sum_{i=1}^n \vec{F}_i = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n.$$

- Равнодействующая двух сил F_1 и F_2 , действующих на материальную точку и направленных под углом α друг к другу,

$$F_{\text{рав}} = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2F_1F_2 \cdot \cos \alpha}$$

- Второй закон Ньютона – произведение массы m тела на его ускорение \vec{a} равно векторной сумме всех действующих на него сил.

$$\vec{a} = \frac{\sum \vec{F}_i}{m} \quad \text{или} \quad m\vec{a} = \sum \vec{F}_i.$$

- Третий закон Ньютона $\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$,
где \vec{F}_{12} и \vec{F}_{21} – силы взаимодействия двух тел.

- Сила трения скольжения

$$F_{\text{тр}} = \mu \cdot N,$$

где μ – коэффициент трения, N – модуль силы реакции опоры.

- Закон Гука для продольного растяжения (сжатия) стержня

$$\frac{F}{S} = E \frac{\Delta l}{l},$$

где F – растягивающая (сжимающая) сила, E – модуль Юнга для данного тела, S – площадь поперечного сечения стержня, Δl – абсолютное удлинение (сжатие) стержня, l – длина стержня до деформации.

- Закон Гука при деформации пружины

$$F_{\text{упр}x} = -k \cdot x,$$

где $F_{\text{упр}x}$ – проекция силы упругости пружины на ось x , k – жесткость пружины, x – деформация пружины.

- Закон всемирного тяготения

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2},$$

где F – сила гравитационного взаимодействия двух материальных точек, m_1, m_2 – массы материальных точек, r – расстояние между материальными точками, G – гравитационная постоянная

- Сила тяжести – гравитационная сила, действующая на тело.
- Ускорение свободного падения на поверхности планеты

$$g = G \frac{M}{R^2},$$

и на высоте h над поверхностью планеты

$$g_h = G \frac{M}{(R+h)^2},$$

где M – масса планеты, R – радиус планеты.

- Первая космическая скорость тела для планеты массой M и радиусом R

$$v_1 = \sqrt{\frac{GM}{R}} = \sqrt{gR}.$$

- Вторая космическая скорость тела для планеты массой M и радиусом R

$$v_2 = \sqrt{\frac{2GM}{R}} = \sqrt{2gR}.$$

- Импульс тела (количество движения)

$$\vec{p} = m\vec{v},$$

где m – масса тела, \vec{v} – скорость движения тела.

- Изменение импульса тела

$$\Delta\vec{p} = \vec{p}_2 - \vec{p}_1.$$

- Связь импульса силы и изменения импульса тела

$$\vec{F}\Delta t = m\Delta\vec{v},$$

где $m\Delta\vec{v}$ – изменение импульса тела.

- Закон сохранения импульса замкнутой системы:

Суммарный импульс замкнутой системы остается постоянным при любых взаимодействиях тел системы между собой: $\sum m_i \vec{v}_i = \text{const}.$

Закон сохранения импульса для системы из двух тел

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

где $m_1\vec{v}_1, m_2\vec{v}_2$ – импульсы тел до взаимодействия, $m_1\vec{u}_1, m_2\vec{u}_2$ – импульсы тел после взаимодействия.

- Механическая работа

$$A = F \cdot \Delta r \cdot \cos\alpha,$$

где F – постоянная сила, Δr – перемещение тела, α – угол между векторами силы и перемещения.

- Средняя мощность

$$P = \frac{E}{t}, \quad P = \frac{A}{t}, \quad P = Fv,$$

где E – энергия, затраченная за время t , A – работа, совершенная за время t , F – постоянная сила, v – средняя скорость.

- Мгновенная мощность – скалярная физическая величина, равная отношению работы к промежутку времени Δt (при $\Delta t \rightarrow 0$), в течении которого она совершена. Также, мгновенная мощность равна произведению проекции силы, действующей на тело, и мгновенной скорости в направлении его перемещения: $P = F_x v_x$.

- Работа силы тяжести

$$A = mg \cdot (h_1 - h_2),$$

где h_1, h_2 – начальная и конечная высота тела массой m относительно начала отсчета.

- Кинетическая энергия тела

$$E_k = \frac{mv^2}{2},$$

где v – скорость тела массой m .

- Связь между кинетической энергией и импульсом

$$E_k = \frac{p^2}{2m}.$$

- Потенциальная энергия тела массой m , поднятого над Землей на высоту h ,

$$E_p = mgh.$$

- Потенциальная энергия взаимодействия двух материальных точек сила массами m_1 и m_2 находящихся на расстоянии r друг от друга

$$E_p = -G \frac{m_1 m_2}{r}.$$

- Потенциальная энергия упруго деформированной пружины

$$E_p = \frac{kx^2}{2}.$$

- Работа консервативных сил (сил упругости, гравитационных сил)

$$A = -\Delta E_p = E_{p1} - E_{p2}.$$

- Работа сил упругости

$$A = \frac{kx_1^2}{2} - \frac{kx_2^2}{2},$$

где k – жесткость пружины, x_1, x_2 – начальная и конечная длина пружины.

- Теорема об изменении кинетической энергии (работа равнодействующей силы равна изменению кинетической энергии тела)

$$\sum A_i = \Delta E_k = \frac{mv_2^2}{2} - \frac{mv_1^2}{2}.$$

- Полная механическая энергия тела

$$E = E_k + E_p.$$

- Закон сохранения механической энергии: в замкнутой консервативной системе полная механическая энергия сохраняется

$$E_k + E_p = \text{const.}$$

- Закон сохранения механической энергии для системы тел, в которой действуют только консервативные силы (например, сила тяжести или сила упругости)

$$\frac{mv_1^2}{2} + mgh_1 = \frac{mv_2^2}{2} + mgh_2, \quad \frac{mv_1^2}{2} + \frac{kx_1^2}{2} = \frac{mv_2^2}{2} + \frac{kx_2^2}{2}.$$

- Коэффициент полезного действия (КПД) механизма

$$\eta = \frac{A_n}{A} \cdot 100\%,$$

где A_n – полезная работа, A – затраченная работа.

- Момент силы (вращающий момент)

$$M = F \cdot d,$$

где d – плечо силы F относительно оси вращения.

- Условия равновесия тел

$$\sum_{i=1}^n \vec{F}_i = 0, \quad \sum_{i=1}^n M_i = 0,$$

где $\vec{F}_1, \vec{F}_2, \dots, \vec{F}_n$ – силы, действующие на материальную точку, $\sum_{i=1}^n M_i$ – алгебраическая сумма моментов сил относительно оси вращения тела.

- Условие равновесия тела с закрепленной осью вращения

$$M_1 + M_2 = 0, \quad F_1 \cdot d_1 = F_2 \cdot d_2,$$

где $M_1 = F_1 \cdot d_1 > 0$ – при вращении тела против часовой стрелки,
 $M_2 = F_2 \cdot d_2 < 0$ – при вращении тела по часовой стрелке.

- Координата центра масс системы материальных точек

$$x_{\text{цм}} = \frac{m_1 x_1 + m_2 x_2 + \dots}{m_1 + m_2 + \dots},$$

где x_1, x_2, \dots – координаты материальных точек массой m_1, m_2, \dots , составляющих систему.

Примеры решения задач

Существует стандартный подход, который целесообразно использовать для успешного решения задач на второй закон Ньютона.

- 1) Изобразите на рисунке все силы, действующие на тело, и ускорение.
- 2) Выберите тело отсчета и свяжите с ним систему координат таким образом, чтобы одна из координатных осей совпадала с направлением вектора ускорения тела или системы тел, или одного из них.
- 3) При движении тела по окружности одну из координатных осей удобно направить по направлению центростремительного ускорения, т.е. к центру окружности.
- 4) Запишите в векторном виде основное уравнение динамики (1).
- 5) Запишите уравнение (1) в проекциях на оси координат и получите систему уравнений (2), (3) в скалярной форме.
- 6) Если на тело действует сила трения, то запишите формулу расчета силы трения (формула (4)).
- 7) Используя, в случае необходимости, формулы кинематики и законы сохранения, решите полученную систему уравнений и определите искомые величины.

$$\sum_{i=1}^N \vec{F}_i = m\vec{a}. \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^N F_{ix} = ma_x, \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^N F_{iy} = ma_y, \quad (3)$$

$$F_{\text{тр}} = \mu N. \quad (4)$$

2.1. Второй закон Ньютона. Работа сил трения. Груз массой 50 кг перемещается горизонтально под действием силы, равной 200 Н и направленной под углом 30° к горизонту. Коэффициент трения груза о плоскость равен 0,1. Определите скорость тела через 10 с после начала действия силы, силу трения и путь за указанное время. Ответы представьте в единицах СИ.

Дано: $m = 50$ кг, $\alpha = 30^\circ$, $F = 200$ Н, $t = 10$ с, $\mu = 0,1$, $g = 10$ м/с.

Определить v , $F_{\text{тр}}$, s .

Решение. На тело действуют четыре силы: внешняя сила \vec{F} , сила тяжести $m\vec{g}$, сила реакции опоры \vec{N} , сила трения $\vec{F}_{\text{тр}}$. Выберем систему координат так, чтобы ось Ox совпадала с направлением вектора ускорения \vec{a} тела (рис. 2.1).

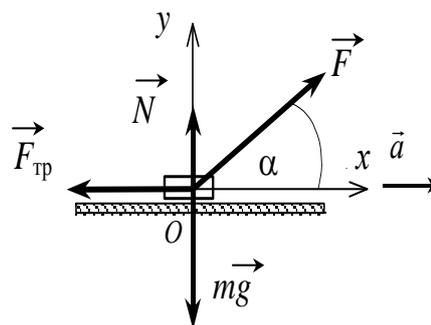


Рис. 2.1

Основное уравнение динамики в векторной форме запишется в виде

$$\vec{F} + m\vec{g} + \vec{N} + \vec{F}_{\text{тр}} = m\vec{a}. \quad (1)$$

В проекциях на оси координат уравнение (1) имеет вид:

$$\left. \begin{array}{l} \text{на ось } Ox: \\ \text{на ось } Oy: \end{array} \right\} \begin{array}{l} F \cdot \cos\alpha - F_{\text{тр}} = ma, \\ F \cdot \sin\alpha + N - mg = 0. \end{array} \quad (2) \quad (3)$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{Сила трения} \end{array} \right\} F_{\text{тр}} = \mu N. \quad (4)$$

Решая систему уравнений (2) – (4), найдем ускорение a :

$$N = mg - F \cdot \sin\alpha; \quad F_{\text{тр}} = \mu \cdot (mg - F \cdot \sin\alpha);$$

$$F \cdot \cos\alpha - \mu(mg - F \cdot \sin\alpha) = ma;$$

$$F(\cos\alpha + \mu \cdot \sin\alpha) - \mu \cdot mg = ma;$$

$$a = \frac{F(\cos\alpha + \mu \cdot \sin\alpha)}{m} - \mu g = 2,66 \text{ м/с}^2.$$

Тогда скорость тела в момент времени t :

$$v = at = \left[\frac{F(\cos\alpha + \mu \cdot \sin\alpha)}{m} - \mu g \right] \cdot t = 26,6 \text{ м/с}.$$

Сила трения находится из решения системы уравнений (3) и (4):

$$F_{\text{тр}} = \mu N = \mu \cdot (mg - F \cdot \sin\alpha) = 40 \text{ Н}.$$

Путь s , пройденный телом за время t , равен:

$$s = \frac{at^2}{2} = \left[\frac{F(\cos \alpha + \mu \cdot \sin \alpha)}{m} - \mu g \right] \cdot \frac{t^2}{2} = 133,2 \text{ м.}$$

2.2. Движение тела по окружности. Автомобиль делает поворот радиусом 25 м. Какую наибольшую скорость (в м/с) может развивать автомобиль, чтобы его не «занесло», если коэффициент трения скольжения 0,8? Ответ округлите до десятых.

Дано: $R = 25 \text{ м}$, $\mu = 0,8$, $g = 10 \text{ м/с}^2$.

Определить v_{\max} .

Решение. На автомобиль, движущийся по окружности радиусом R , действуют сила реакции опоры \vec{N} , сила тяжести $m\vec{g}$ и сила трения покоя $\vec{F}_{\text{тр}}$. Выберем систему координат, так чтобы ось Ox совпадала с направлением вектора нормального (центростремительного) ускорения тела \vec{a}_n , рис. 2.2.

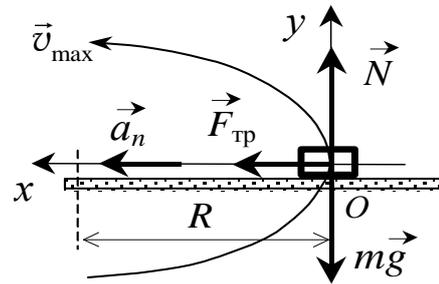


Рис. 2.2

Основное уравнение динамики для этого тела запишется в виде

$$m\vec{g} + \vec{N} + \vec{F}_{\text{тр}} = m\vec{a}_n. \quad (1)$$

В проекциях на оси координат уравнение (1) имеет вид:

$$\text{на ось } Ox: \quad F_{\text{тр}} = ma_n, \quad (2)$$

$$\text{на ось } Oy: \quad N - mg = 0. \quad (3)$$

$$a_n = v^2/R. \quad (4)$$

Максимальное значение силы трения покоя равно силе трения скольжения

$$F_{\text{тр}} = \mu \cdot N. \quad (5)$$

Решая систему уравнений (2) – (5), относительно v , найдем:

$$\mu mg = mv^2/R \Rightarrow v = \sqrt{\mu g R} \approx 14,1 \text{ м/с.}$$

Следовательно, $v_{\max} = v = 14,1 \text{ м/с}$.

2.3. Второй закон Ньютона. По наклонной плоскости с углом наклона 30° соскальзывает тело в течение 2 с. Коэффициент трения тела о плоскость равен 0,1. Чему равна длина (в метрах) наклонной плоскости? Ответ округлите до десятых.

Дано: $\alpha = 30^\circ$, $t = 2 \text{ с}$, $\mu = 0,1$, $g = 10 \text{ м/с}^2$.

Определить l .

Решение. На тело действуют сила трения скольжения $\vec{F}_{\text{тр}}$, сила тяжести $m\vec{g}$ и сила реакции опоры \vec{N} (рис. 2.3).

Второй закон Ньютона в векторной форме для этого тела

$$m\vec{g} + \vec{N} + \vec{F}_{\text{тр}} = m\vec{a}.$$

Запишем в проекциях на оси Ox и Oy второй закон Ньютона:

$$\left. \begin{aligned} Ox: & \quad -F_{\text{тр}} + mg \sin \alpha = ma; & (1) \\ Oy: & \quad N - mg \cos \alpha = 0; & (2) \\ & \quad F_{\text{тр}} = \mu N. & (3) \end{aligned} \right\}$$

Решая полученную систему уравнений (1) – (3) относительно a , найдем:

$$a = g(\sin \alpha - \mu \cos \alpha).$$

Путь, пройденный телом при спуске (длина наклонной плоскости),

$$l = \frac{at^2}{2} = \frac{gt^2(\sin \alpha - \mu \cdot \cos \alpha)}{2} \approx 8,3 \text{ м.}$$

2.4. Движение системы тел. Два груза, масса которых $m_1 = 4$ кг и $m_2 = 5$ кг, связаны через блок нерастяжимой нитью. В начальный момент оба груза неподвижны и второй груз находится выше первого на $h = 4$ м. Через какое время (в секундах) после начала движения грузы будут находиться на одинаковой высоте? Массами блока и нити пренебречь. Ответ округлите до десятых.

Дано: $m_1 = 4$ кг; $m_2 = 5$ кг; $h = 4$ м; $g = 10$ м/с².

Определить t .

Решение. При рассмотрении движения системы тел уравнения движения надо записывать для каждого тела системы.

Отсутствие силы трения в блоке, а также невесомость и нерастяжимость нити позволяют считать, что силы натяжения нити в любой точке нити и ускорения обоих тел системы равны по модулю, но векторы сил натяжения и ускорений противоположны по направлению, поэтому на рис. 2.4

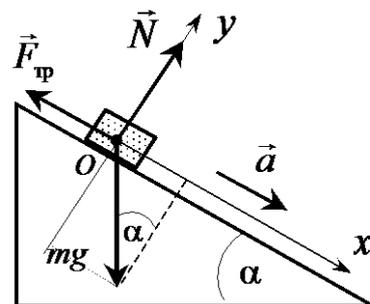


Рис. 2.3

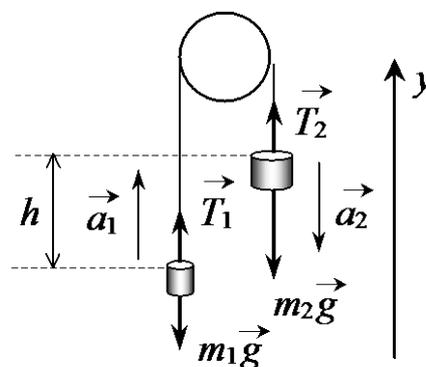


Рис. 2.4

имеют различные индексы.

Основное уравнение динамики (2-й закон Ньютона) для этих грузов запишется в виде:

$$m_1 \vec{g} + \vec{T}_1 = m_1 \vec{a}_1, \quad (1)$$

$$m_2 \vec{g} + \vec{T}_2 = m_2 \vec{a}_2. \quad (2)$$

Ось y направим вертикально вверх, рис. 2.4.

Тогда в проекциях на ось y уравнения (1) и (2) примут вид:

$$T_1 - m_1 g = m_1 a_1; \quad (3)$$

$$T_2 - m_2 g = -m_2 a_2. \quad (4)$$

Учитывая, что ускорения $a_1 = a_2 = a$ и силы $T_1 = T_2 = T$, уравнения (3) и (4) можно переписать в виде

$$T - m_1 g = m_1 a, \quad T - m_2 g = -m_2 a.$$

Отсюда находим
$$a = g \frac{m_2 - m_1}{m_1 + m_2}.$$

Грузы будут находиться на одинаковой высоте, когда каждый из них пройдет путь $s = h/2$. Учитывая, что в начальный момент оба груза были неподвижны, уравнение пути равноускоренного движения грузов имеет вид

$$s = \frac{h}{2} = \frac{at^2}{2} = g \frac{m_2 - m_1}{m_1 + m_2} \cdot \frac{t^2}{2}.$$

Отсюда получим:

$$t = \sqrt{\frac{h}{g} \cdot \frac{m_1 + m_2}{m_2 - m_1}} \approx 1,9 \text{ с}.$$

2.5. Движение системы тел. Брусок массой $M = 300$ г соединен с грузом массой $m = 200$ г невесомой и нерастяжимой нитью, перекинутой через невесомый блок (рис. 2.5). Брусок скользит без трения по неподвижной наклонной плоскости, составляющей угол 30° с горизонтом. Чему равна (в ньютонах) сила T натяжения нити?

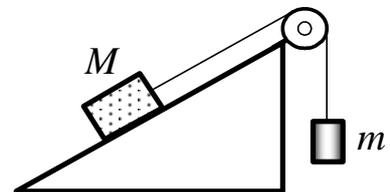


Рис. 2.5

Д а н о : $\alpha = 30^\circ$, $M = 0,3$ кг, $m = 0,2$ кг, $g = 10$ м/с².

О п р е д е л и т ь T .

Решение. По третьему закону Ньютона сила T натяжения нити равна силе F_y упругости нити.

На брусок действуют сила тяжести $M\vec{g}$, сила реакции со стороны наклонной плоскости \vec{N} , сила упругости нити \vec{F}_y , рис. 2.6.

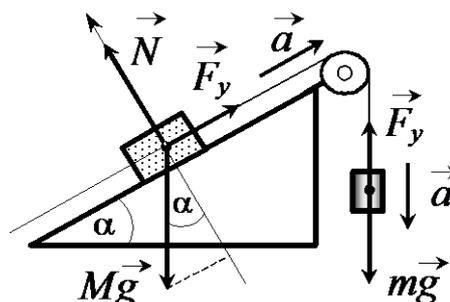


Рис. 2.6

На груз действуют две силы: сила тяжести $m\vec{g}$ и сила упругости нити \vec{F}_y . Сила упругости одинакова по всей длине нити, т.к. нить нерастяжима. Поскольку блок и нить невесомы, ускорения груза и бруска равны по модулю.

Для каждого из тел запишем второй закон Ньютона:

$$M\vec{g} + \vec{F}_y + \vec{N} = M\vec{a}; \quad m\vec{g} + \vec{F}_y = m\vec{a}.$$

Спроецировав оба уравнения на направления ускорений каждого из тел системы, получим систему из двух уравнений:

$$F_y - Mg \sin \alpha = Ma; \quad (1)$$

$$mg - F_y = ma. \quad (2)$$

Решая систему уравнений (1) – (2), найдем:

$$T = F_y = \frac{Mmg(1 + \sin \alpha)}{M + m} = 1,8 \text{ Н}.$$

2.6. Закон Гука. Коэффициент жесткости резинового шнура длиной l_0 равен k_0 . Чему равен коэффициент жесткости, если этот резиновый шнур сложить в $n = 2$ раза?

Д а н о : $l_0, k_0, n = 2$.

О п р е д е л и т ь k_n .

Решение. Покажем, что жесткость k_n резинового шнура, сложенного вдвое, не равна, как это может показаться, $2k_0$. По закону Гука

$$\frac{F}{S_0} = E \frac{\Delta l}{l_0} \quad \Rightarrow \quad F = \frac{E \cdot S_0}{l_0} \Delta l = k_0 \cdot \Delta l, \quad (1)$$

где F – растягивающая сила, E – модуль Юнга для материала шнура, S_0 – площадь поперечного сечения шнура, Δl – абсолютное удлинение шнура, l_0 – длина резинового шнура до деформации, k_0 – исходная жесткость шнура.

Так как $F = k_0 \Delta l$, из (1) имеем

$$k_0 = \frac{E \cdot S_0}{l_0}. \quad (2)$$

При сложении резинового шнура площадь сечения системы увеличивается в n раз, т.е. $S_n = nS_0$, а длина уменьшается тоже в n раз $l_n = l_0/n$.

С учетом (2), получим:

$$k_n = \frac{E \cdot S_n}{l_n} = \frac{E \cdot nS_0}{(l_0/n)} = n^2 \frac{E \cdot S_0}{l_0} = n^2 k_0.$$

По условию задачи $n = 2$, следовательно, $k_n = 4k_0$.

2.7. Закон всемирного тяготения. Какое ускорение сообщает Земля Луне своим притяжением? Расстояние до Луны примерно в 60 раз превышает радиус Земли. Масса Луны в 81 раз меньше массы Земли. Ответ выразите в $\text{мм}/\text{с}^2$ и округлите до целых.

Д а н о : $r = 60R_3$, $m_{\text{л}} = M_3/81$, $g = 10 \text{ м}/\text{с}^2$.

О п р е д е л и т ь $a_{\text{л}}$.

Решение. Так как Луна обращается вокруг Земли, ускорение $a_{\text{л}}$, которое сообщает Земля Луне, будет центростремительным. Это ускорение возникает за счет гравитационной силы притяжения Луны Землей. Из закона всемирного тяготения следует, что

$$G \frac{m_{\text{л}} M_3}{r^2} = m_{\text{л}} a_{\text{л}} \quad \text{или} \quad a_{\text{л}} = G \frac{M_3}{r^2} = \frac{1}{60^2} \cdot \frac{GM_3}{R_3^2}.$$

Учитывая, что $GM_3/R_3^2 = g$, получим:

$$a_{\text{л}} = \frac{g}{60^2} = \frac{10}{3600} \approx 3 \text{ мм}/\text{с}^2.$$

2.8. Второй закон Ньютона и закон сохранения энергии. Шарик движется без трения по наклонному желобу, а затем описывает "мертвую петлю" радиуса R . Масса шарика равна 100 г, а высота, с которой он начинает движение, равна $4R$. С какой силой (в ньютонах) давит шарик на желоб в верхней точке петли? Как найти силу давления шарика на желоб в любой точке окружности?

Д а н о : $m = 0,1 \text{ кг}$, $h = 4R$, $g = 10 \text{ м}/\text{с}^2$.

О п р е д е л и т ь $F_{\text{д}}$.

Решение. На шарик, движущийся со скоростью \vec{v} по окружности радиусом R , в точке C действуют: сила тяжести $m\vec{g}$ и сила реакции \vec{N} со стороны желоба, направленная к центру петли (рис. 2.7).

По третьему закону Ньютона сила нормального давления $\vec{F}_д$ шарика на петлю желоба по величине равна силе реакции \vec{N} опоры (петли желоба) на шарик, но противоположна ей по направлению.

Примечание. Силы, действующие на опору, на рис. 2.7 не указаны.

Запишем второй закон Ньютона в векторной форме

$$\vec{N} + m\vec{g} = m\vec{a}_{цс}. \quad (1)$$

Направим ось Sy так, чтобы ее направление совпадало с направлением вектора центростремительного ускорения $\vec{a}_{цс}$. В проекциях на ось Sy уравнение (1) запишется в виде

$$N + mg = ma_{цс} = m \frac{v^2}{R},$$

где $a_{цс} = v^2/R$ – центростремительное ускорение, v – скорость шарика в точке C .

Сила реакции опоры

$$N = m \frac{v^2}{R} - mg. \quad (2)$$

Скорость тела v в точке C найдем, используя закон сохранения механической энергии, согласно которому полная механическая энергия шарика в точке A равна его полной механической энергии в точке C ,

$$mgh = mgh_1 + \frac{mv^2}{2},$$

где $h = 4R$, $h_1 = 2R$.

Откуда

$$v^2 = 4gR. \quad (3)$$

Подставляя (3) в (2), получим:

$$N = m \cdot \frac{4gR}{R} - mg = 3mg = 3 \text{ Н}.$$

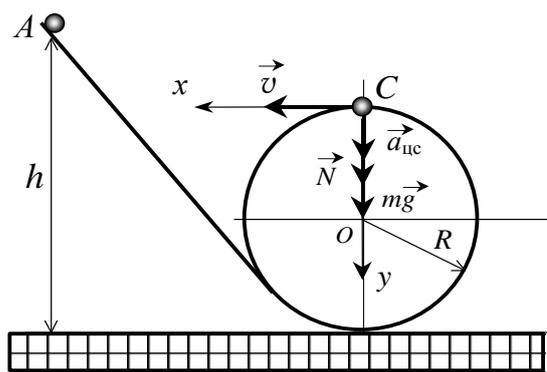


Рис. 2.7

Так как $|\vec{F}_d| = |\vec{N}|$, то сила нормального давления тела на желоб в точке C равна по величине $F_d = 3 \text{ Н}$.

Для определения силы давления шарика на желоб в любой точке окружности надо действовать по приведенной выше схеме, учитывая, что сила реакции опоры перпендикулярна поверхности желоба. Рационально второй закон Ньютона в скалярной форме записывать через проекции сил и ускорения на ось Oy , положительное направление которой нужно выбрать совпадающим с направлением ускорения.

2.9. КПД полезного действия. Моторы электровоза при движении со скоростью 72 км/ч потребляет мощность 800 кВт . КПД силовой установки электровоза равен 80% . Определите силу тяги электровоза. Ответ представьте в килоньютонах.

Дано: $v = 20 \text{ м/с}$, $P = 8 \cdot 10^5 \text{ Вт}$, $\eta = 0,8$.

Определить F .

Решение. Коэффициент полезного действия механизма (электровоза) определяется формулой

$$\eta = A_{\text{п}}/A_3, \quad (1)$$

где $A_{\text{п}}$ – полезная работа, A_3 – затраченная работа.

Полезная работа на пути s

$$A_{\text{п}} = F \cdot s = F \cdot v \cdot t. \quad (2)$$

Затраченная работа

$$A_3 = P \cdot t. \quad (3)$$

Подставляя (2) и (3) в (1), получим: $\eta = \frac{Fvt}{Pt} = \frac{Fv}{P}$.

Отсюда $F = \frac{\eta P}{v} = 32 \text{ кН}$.

2.10. Закон сохранения энергии. Груз падает на пружину с высоты h (рис.2.8). Результаты исследования квадрата сжатия пружины x^2 от высоты представлены на рис.2.9. Каково будет сжатие (в миллиметрах), если груз упадет на пружину с высоты 80 см ?

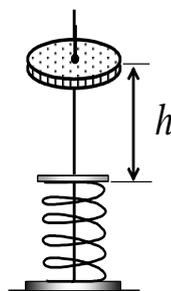


Рис. 2.8

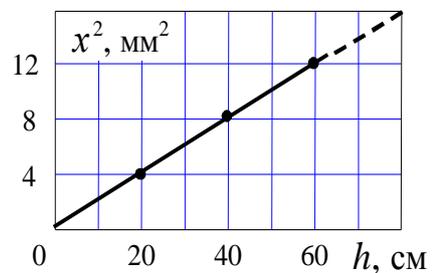


Рис. 2.9

Дано: график $x^2 = f(h)$, $h_1 = 80$ см.

Определить x_1 .

Решение. Так как функция (рис.2.9) линейна (следствие закона сохранения энергии $kx^2/2 = mgh$), ее можно экстраполировать. При экстраполяции для координаты $h_1 = 80$ см из графика получим значение $x_1^2 = 16$ мм².

Следовательно, $x_1 = 4$ мм.

2.11. Закон сохранения механической энергии. Стальной шар массой 0,1 кг привязали к нити длиной 1 м. Нить с грузом отвели от вертикали на угол 45° и отпустили. Какова скорость (в м/с) груза в момент, когда нить образует с вертикалью угол 30° ? Сопротивлением воздуха пренебречь. Ответ округлите до целого числа.

Дано: $m = 0,1$ кг, $l = 1$ м, $\alpha_1 = 45^\circ$, $\alpha_2 = 30^\circ$, $g = 10$ м/с².

Определить v_2 .

Решение. Для решения задачи воспользуемся законом сохранения механической энергии

$$mgh_1 + \frac{mv_1^2}{2} = mgh_2 + \frac{mv_2^2}{2}, \quad (1)$$

где v_2 – скорость груза в момент, когда угол $\alpha_2 = 30^\circ$, а $v_1 = 0$ при $\alpha_1 = 45^\circ$.

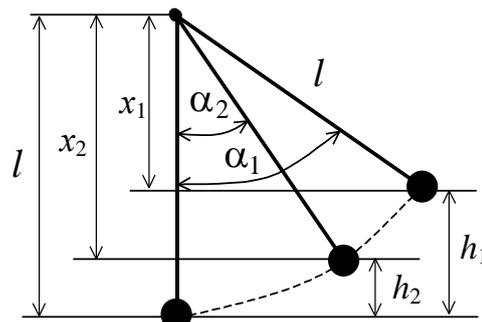


Рис. 2.10

Используя рис. 2.10, определим h_1 и h_2 :

$$h_1 = l - x_1 = l - l \cos \alpha_1 = l(1 - \cos \alpha_1); \quad (2)$$

$$h_2 = l - x_2 = l - l \cos \alpha_2 = l(1 - \cos \alpha_2). \quad (3)$$

Решая систему уравнений (1), (2), (3) относительно v_2 , найдем:

$$v_2 = \sqrt{2g(h_1 - h_2)} = \sqrt{2gl(\cos \alpha_2 - \cos \alpha_1)} \approx 2 \text{ м/с}.$$

2.12. Закон сохранения механической энергии. Тело массой 0,1 кг брошено под углом 30° к горизонту со скоростью 4 м/с. Какова потенциальная энергия тела (в джоулях) в высшей точке подъема?

Дано: $m = 0,1$ кг, $\alpha = 30^\circ$, $v_0 = 4$ м/с, $g = 10$ м/с².

Определить $E_{\text{п}}$.

Решение. По закону сохранения механической энергии полная механическая энергия тела в момент бросания равна полной механической энергии тела в высшей точке подъема, а именно:

$$\frac{mv_0^2}{2} = E_{1п} + \frac{mv_1^2}{2};$$

$$E_{1п} = \frac{m}{2}(v_0^2 - v_1^2), \quad (1)$$

где $E_{1п}$ и v_1 – потенциальная энергия и скорость тела в высшей точке подъема на высоте h (рис. 2.11).

Скорость тела в высшей точке подъема равна проекции на ось Ox его начальной скорости \vec{v}_0 .

$$v_1 = v_{0x} = v_0 \cos \alpha. \quad (2)$$

Подставляя (2) в (1), найдем:

$$E_{1п} = \frac{mv_0^2}{2}(1 - \cos^2 \alpha) = 0,2 \text{ Дж}.$$

2.13. Работа силы трения. Камень массой 1 кг, соскользнув с наклонной плоскости высотой 6 м, приобрел в конце её скорость 6 м/с. Найдите работу сил трения. Ответ представьте в единицах СИ.

Дано: $m = 1$ кг, $h = 6$ м, $v = 6$ м/с, $g = 10$ м/с.

Определить $A_{тр}$.

Решение. Работа сил трения заведомо нулю не равна. Поэтому закон сохранения механической энергии в системе “камень – Земля” применять нельзя, т.е. $\Delta E_K + \Delta E_{П} \neq 0$.

Знак неравенства обусловлен действием именно силы трения. Следовательно, изменение полной энергии системы “камень – Земля” будет равно работе этой силы, т.е.

$$\Delta E_K + \Delta E_{П} = A_{тр}. \quad (1)$$

Рассмотрим в отдельности значения слагаемых, входящих в левую часть уравнения (1).

Так как начальная скорость камня $v_0 = 0$, изменение его кинетической энергии равно:

$$\Delta E_K = \frac{mv^2}{2}, \quad (2)$$

а изменение потенциальной энергии:

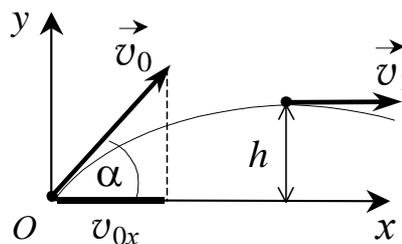


Рис. 2.11

$$\Delta E_{\text{п}} = -mgh. \quad (3)$$

Знак “минус” отражает тот факт, что потенциальная энергия системы уменьшилась.

Подставляя (2) и (3) в уравнение (1), найдем:

$$A_{\text{тр}} = \frac{mv^2}{2} - mgh = -42 \text{ Дж}.$$

2.14. Работа силы трения. Лыжник массой 60 кг спускается с горы высотой 20 м. После спуска он останавливается, проехав 200 м по горизонтальной лыжне. Каков коэффициент трения скольжения? (Считать, что по склону горы он скользит без трения.)

Дано: $m = 60$ кг, $h = 20$ м, $s = 200$ м, $g = 10$ м/с².

Определить μ .

Решение. После спуска с горы на горизонтальном участке лыжник движется равнозамедленно в результате действия на него силы трения скольжения. Работа силы трения

$$A_{\text{тр}} = -\mu mgs.$$

Приобретенная лыжником при спуске с горы кинетическая энергия уменьшается на горизонтальном участке до нуля (энергия затрачивается на работу против сил трения).

$$0 - \frac{mv^2}{2} = -\mu mg \cdot s \Rightarrow \mu = \frac{v^2}{2gs}. \quad (1)$$

где v – скорость лыжника после спуска с горы.

Для определения скорости лыжника после спуска с горы воспользуемся законом сохранения энергии.

$$mgh = \frac{mv^2}{2} \Rightarrow v^2 = 2gh. \quad (2)$$

Подставив (2) в (1), найдем:

$$\mu = \frac{2gh}{2gs} = \frac{h}{s} = \frac{20}{200} = 0,1.$$

2.15. Неупругий удар. Свинцовый брусок массой $m_1 = 500$ г, движущийся со скоростью 0,6 м/с, сталкивается с неподвижным восковым бруском массой $m_2 = 100$ г. После столкновения бруски слипаются и движутся вместе. Определите (в джоулях) изменение кинетической

энергии системы в результате столкновения. Какая часть (доля) механической энергии системы перейдет во внутреннюю энергию при столкновении? Трением пренебречь.

Дано: $m_1 = 0,5$ кг, $v_1 = 0,6$ м/с, $m_2 = 0,1$ кг, $v_2 = 0$.

Определить ΔE_k , $\delta = \Delta E_k / E_{k1}$.

Решение. При неупругом ударе закон сохранения механической энергии не выполняется. Суммарная кинетическая энергия свинцового и воскового брусков до удара E_{k1} и после удара E_{k2} :

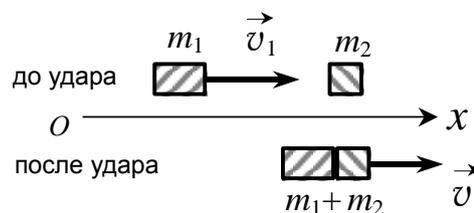


Рис. 2.12

$$E_{k1} = \frac{m_1 v_1^2}{2},$$

$$E_{k2} = \frac{(m_1 + m_2) v^2}{2}.$$

Изменение кинетической энергии ΔE_k системы в результате столкновения:

$$\Delta E_k = E_{k2} - E_{k1} = \frac{(m_1 + m_2) v^2}{2} - \frac{m_1 v_1^2}{2}. \quad (1)$$

Для нахождения скорости v слипшихся брусков воспользуемся законом сохранения импульса (рис. 2.12). В проекциях на ось Ox :

$$m_1 v_1 + 0 = (m_1 + m_2) v \Rightarrow v = \frac{m_1 v_1}{m_1 + m_2}. \quad (2)$$

Подставляя (2) в (1), найдем:

$$\Delta E_k = \frac{m_1 v_1^2}{2} \left(\frac{m_1}{m_1 + m_2} - 1 \right) = -0,015 \text{ Дж}. \quad (3)$$

Знак “минус” отражает тот факт, что кинетическая энергия системы в результате удара уменьшилась.

Из уравнения (3), получим: $\delta = \frac{|\Delta E_k|}{E_{k1}} = \left| \frac{m_1}{m_1 + m_2} - 1 \right| = 0,17$.

2.16. Неупругий удар. Работа силы трения. В тело массой $m_1 = 4,9$ кг, лежащее на гладком участке горизонтальной поверхности, попадает снаряд массой $m_2 = 0,1$ кг, летящий под углом $\alpha = 60^\circ$ к горизонту со скоростью $v_{02} = 60$ м/с, и застревает в нем. Какой путь (в метрах) пройдет тело до остановки, попав на шероховатую часть

поверхности, если коэффициент трения скольжения между телом и поверхностью $\mu = 0,25$?

Дано: $m_1 = 4,9$ кг, $m_2 = 0,1$ кг, $\alpha = 60^\circ$, $v_2 = 60$ м/с, $\mu = 0,25$, $g = 10$ м/с².

Определить s .

Решение. Тело, после попадания в него снаряда (рис. 2.13), пройдет путь s , который определяют из формулы для работы силы $F_{\text{тр}}$ трения при перемещении тела на расстояние s .

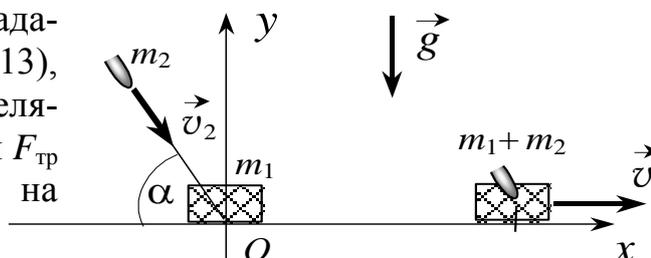


Рис. 2.13

$$A_{\text{тр}} = -F_{\text{тр}}s = -\mu(m_1 + m_2)gs, \quad (1)$$

где $(m_1 + m_2)$ – масса тела с застрявшим в нем снарядом.

С другой стороны, работа $A_{\text{тр}}$ силы трения равна изменению кинетической энергии тела на пути s (теорема об изменении кинетической энергии тела)

$$A_{\text{тр}} = E_{\text{к}} - E_{\text{н}},$$

где $E_{\text{к}}$ и $E_{\text{н}}$ – кинетическая энергия тела в конечный и начальный момент времени.

Так как $E_{\text{к}} = 0$, а $E_{\text{н}} = \frac{(m_1 + m_2)v^2}{2}$, то

$$A_{\text{тр}} = -\frac{(m_1 + m_2)v^2}{2}. \quad (2)$$

Приравнявая (1) и (2), получим

$$s = \frac{v^2}{2\mu g}. \quad (3)$$

Для определения скорости тела v запишем закон сохранения проекции на ось Ox импульса системы “тело + снаряд” (рис. 2.13).

$$0 + m_2v_2 \cdot \cos \alpha = (m_1 + m_2)v \Rightarrow v = \frac{m_2}{m_1 + m_2} \cdot v_2 \cos \alpha. \quad (4)$$

Подставляя (4) в (2), найдем:

$$s = \frac{1}{2\mu g} \left(\frac{m_2}{m_1 + m_2} \cdot v_2 \cos \alpha \right)^2 = 0,072 \text{ м}.$$

2.17. Законы сохранения импульса и энергии. Выпущенная из гранатомета граната массой $m = 2$ кг разорвалась на высоте $h = 30$ м над Землей на два осколка. Непосредственно перед разрывом скорость гранаты была направлена горизонтально и равна $v = 50$ м/с. Один из осколков массой $m_1 = 0,8$ кг полетел вертикально вниз и упал на Землю под местом взрыва со скоростью $v_1 = 60$ м/с. Чему равен модуль скорости v_{02} второго осколка m_2 сразу после взрыва? Ответ представьте в единицах СИ и округлите до целого числа.

Дано: $h = 30$ м, $m = 2$ кг, $m_1 = 0,8$ кг, $m_2 = 1,2$ кг, $v = 50$ м/с, $v_1 = 60$ м/с, $g = 10$ м/с.

Определить v_{02} .

Решение. По закону сохранения импульса $\vec{p} = \vec{p}_1 + \vec{p}_2$, из треугольника OAB (рис. 2.14) имеем

$$p_2 = \sqrt{p^2 + p_1^2}. \quad (1)$$

Здесь $p = mv$ – импульс гранаты до взрыва, равный суммарному импульсу осколков, $p_1 = m_1 v_{01}$ – импульс первого осколка после взрыва, $p_2 = m_2 v_{02}$ – импульс второго осколка после взрыва.

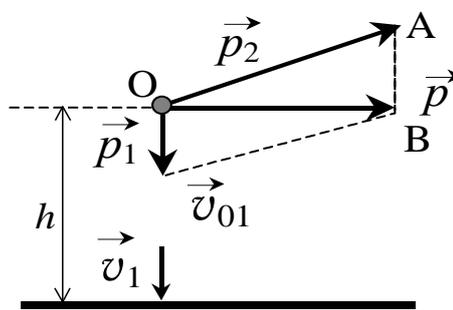


Рис. 2.14

Чтобы определить скорость v_{01} первого осколка сразу после взрыва по его известной скорости v_1 в момент падения на землю с высоты h , воспользуемся законом сохранения механической энергии

$$\frac{m_1 v_1^2}{2} - \frac{m_1 v_{01}^2}{2} = m_1 gh.$$

Отсюда найдем начальную скорость 1-го осколка

$$v_{01} = \sqrt{v_1^2 - 2gh}. \quad (2)$$

Решая систему уравнений (1) – (2) относительно v_{02} , получим:

$$v_{02} = \frac{\sqrt{(mv)^2 + m_1^2(v_1^2 - 2gh)}}{m_2} \approx 91 \text{ м/с}.$$

2.18. Центральный абсолютно упругий удар. Брусок массой $m_1 = 600$ г, движущийся со скоростью 2 м/с, сталкивается с неподвижным бруском массой $m_2 = 200$ г. Какой будет скорость (в м/с) первого и второго бруска после столкновения? Удар считать центральным и абсолютно упругим.

Дано: $m_1 = 0,6$ кг, $v_1 = 2$ м/с, $m_2 = 0,2$ кг, $v_2 = 0$.

Определить u_1 и u_2 .

Решение. Воспользуемся законом сохранения импульса (в проекциях на ось Ox , рис. 2.15) и, так как удар абсолютно упругий, законом сохранения механической энергии

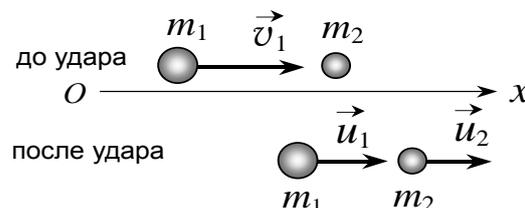


Рис. 2.15

$$m_1 v_1 + 0 = m_1 u_1 + m_2 u_2, \quad (1)$$

$$\frac{m_1 v_1^2}{2} + 0 = \frac{m_1 u_1^2}{2} + \frac{m_2 u_2^2}{2}. \quad (2)$$

Преобразуем уравнения (1) и (2)

$$m_1 (v_1 - u_1) = m_2 u_2, \quad (3)$$

$$m_1 (v_1^2 - u_1^2) = m_2 u_2^2. \quad (4)$$

Разделив почленно уравнение (4) на (3), получим

$$u_1 = u_2 - v_1 \quad \text{или} \quad u_2 = u_1 + v_1. \quad (5)$$

Подставляя (5) в (3), найдем:

$$u_2 = \frac{2m_1 v_1}{m_1 + m_2} = 3 \text{ м/с}; \quad u_1 = \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} v_1 = 1 \text{ м/с}.$$

2.19. Законы сохранения в механике. Брусок массой $M = 1$ кг может без трения скользить по горизонтальной поверхности. К бруску прикреплен невесомый стержень длины $l = 15$ см, на конце которого находится тело массой $m = 0,5$ кг (рис. 2.16). В начальный момент тело отклонили на угол $\alpha = 60^\circ$. Найдите скорость (в м/с) тела в момент, когда стержень занимает вертикальное положение.

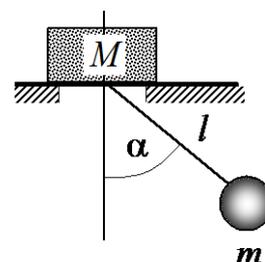


Рис. 2.16

Дано: $M = 1$ кг, $m = 0,5$ кг, $l = 0,15$ м, $\alpha = 60^\circ$, $g = 10$ м/с².

Определить v .

Решение. Запишем закон сохранения горизонтальной проекции импульса системы, согласно которому импульс системы в начальный момент времени (рис 2.17) равен импульсу системы в момент прохождения телом нижней точки траектории движения (рис 2.18):

$$0 = -Mu + mv;$$

$$mv = Mu. \quad (1)$$

Запишем формулы полной механической энергии для этих двух состояний системы:

в начальный момент, когда угол $\alpha = 60^\circ$ (рис 2.17),

$$E_{\text{п}} = mgh;$$

в момент, когда стержень вертикален (рис 2.18),

$$E_{\text{к}} = \frac{Mu^2}{2} + \frac{mv^2}{2}.$$

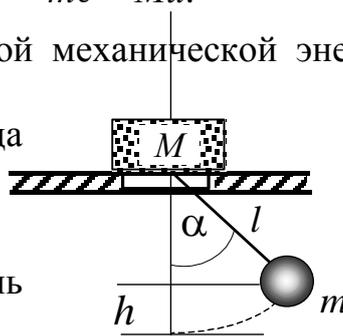


Рис. 2.17

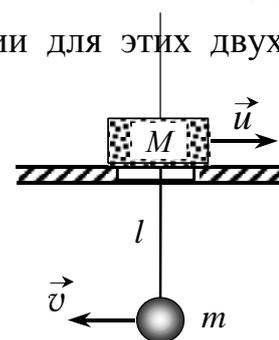


Рис. 2.18

Согласно закону сохранения механической энергии системы,

$$mgh = \frac{Mu^2}{2} + \frac{mv^2}{2}, \quad (2)$$

где $h = l(1 - \cos\alpha)$, рис. 2.17.

Решая систему уравнений (1), (2) относительно v , получим:

$$v = \sqrt{\frac{2gl(1 - \cos\alpha)}{1 + m/M}} = 1 \text{ м/с}.$$

2.20. Статика. Условие равновесия те.

Найдите силу F_1 , действующую на стержень АС если $AC = 2$ м, $AB = 1,5$ м, а в точке С подвешен груз массой $m = 30$ кг. В точке А стержень шарнирно прикреплен к стене, рис. 2.19. Вторым конц стержня удерживается тросом ВС. Ответ представьте в единицах СИ.

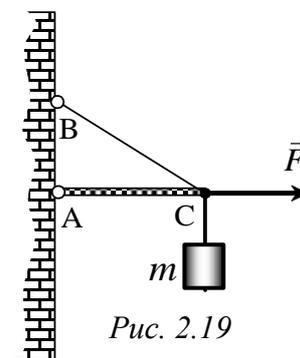


Рис. 2.19

Дано: $AC = 2$ м, $AB = 1,5$ м, $m = 30$ кг, $g = 10$ м/с.

Определить F_1 .

Решение. На стержень в точке С, рис. 2.20, действуют вес груза \vec{P} , равный по модулю силе тяжести ($P = mg$), сила реакции опоры \vec{F}_1 и сила упругости троса \vec{F}_2 .

Запишем условие равновесия стержня

$$\vec{P} + \vec{F}_1 + \vec{F}_2 = 0.$$

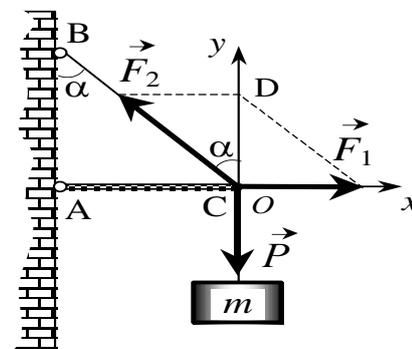


Рис. 2.20

В проекциях на оси:

$$Ox: \quad F_1 - F_2 \cdot \sin \alpha = 0, \quad (1)$$

$$Oy: \quad F_2 \cdot \cos \alpha - mg = 0. \quad (2)$$

Для нахождения F_1 решим систему уравнений (1), (2) и получим:

$$F_1 = mg \cdot \operatorname{tg} \alpha = mg \cdot \frac{AC}{AB} = 400 \text{ Н}.$$

Краткое решение. Равнодействующая сил \vec{F}_1 и \vec{F}_2 равна по модулю и противоположна по направлению вектору \vec{P} , рис. 2.20. Из точки С вертикально вверх откладываем вектор \vec{F} (равнодействующая сила F , численно равная $P = mg$) и раскладываем на составляющие \vec{F}_1 и \vec{F}_2 . Из подобия треугольников $F_1/P = AC/AB$. Отсюда $F_1 = mg \cdot AC/AB$.

2.21. Условие равновесия тела с закрепленной осью вращения. Однородная балка (рис. 2.21) длиной $L = 2$ м и массой $m = 10^3$ кг удерживается в горизонтальном положении с помощью двух опор А и В, расстояние между которыми $s = 0,5$ м. На конце балки в точке D действует сила $F = 1$ кН. Чему равна сила (в килоньютонах) реакции в опоре В?

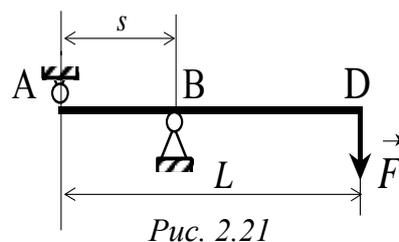


Рис. 2.21

Дано: $BA = s = 0,5$ м; $CA = L/2 = 1$ м; $DA = L = 2$ м; $m = 10^3$ кг; $F = 10^3$ Н, $g = 10$ м/с².

Определить F_B .

Решение. Условие равновесия твердого тела с закрепленной осью вращения: $\sum M_i = 0$ – сумма моментов всех сил, приложенных к телу, относительно любой оси вращения равна нулю. При этом моменты сил, стремящиеся повернуть тело в одном направлении (например, против часовой стрелки) берутся со знаком плюс, а моменты сил, стремящиеся повернуть тело в другом направлении (например, по часовой стрелке) берутся со знаком минус. *)

*) **Примечание.** Можно условие $\sum M_i = 0$ записать через равенство суммы моментов, вращающих тело по часовой стрелке, сумме моментов, вращающих тело против часовой стрелки.

На рис. 2.22 показаны силы, приложенные к балке. За ось вращения примем горизонтальную ось, проходящую через точку А, так как в этом случае момент силы F_A относительно этой оси равен нулю.

Запишем условие равновесия для моментов сил относительно оси, проходящей через точку А, (сумма моментов сил должна быть равна нулю)

$$F_B \cdot (BA) - mg \cdot (CA) - F \cdot (DA) = 0.$$

Подставляя значения для ВА, СА и DA, получим:

$$F_B \cdot s - mg \cdot (L/2) - F \cdot L = 0, F_B \cdot s = mg \cdot (L/2) + F \cdot L;$$

$$F_B = mg \cdot L / (2s) + F \cdot L / s = 24 \text{ кН.}$$

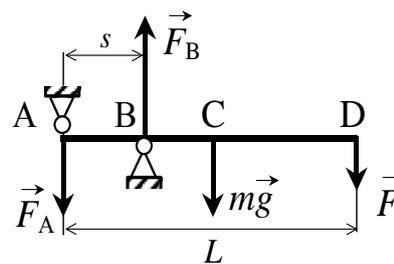


Рис. 2.22

Задачи для самостоятельного решения

2.1.

2.1.1. Тело массой m , подвешенное на тонкой нерастяжимой и невесомой нити, отклонили на угол α . Напишите в векторной форме выражение для силы, стремящейся вернуть тело в положение равновесия. [$\vec{F} = \vec{T} + m\vec{g}$]

2.1.2. Получите формулу для силы, действующей на тело массой m , если закон движения тела имеет вид: $x = A + Bt + Ct^2$, где A, B, C – постоянные. [$2Cm$]

2.1.3. Каковы границы применимости законов Ньютона? Ответ обоснуйте.

2.1.4. Тело массой m находится на горизонтальной поверхности. На тело подействовали силой F , направленной вдоль поверхности, но оно осталось неподвижным. Чему равна сила трения покоя? Ответ обоснуйте. [F]

2.1.5. Шайба массой m движется по ровной поверхности льда с небольшим трением (коэффициент трения равен μ), так что движение шайбы является равнозамедленным. Получите формулу, по которой можно вычислить силу трения шайбы о поверхность льда. [μmg]

2.1.6. По какой формуле можно определить вес тела, находящегося в лифте, движущемся с ускорением a , направленным: 1) вверх; 2) вниз? Ответ обоснуйте. [1) $m(g + a)$; 2) $m(g - a)$]

2.1.7. С каким ускорением a нужно поднимать гирию, чтобы вес её увеличился в два раза? [$a = g$]

2.1.8. Напишите уравнение, определяющее условие равновесия тела на наклонной плоскости при наличии силы трения. [$\vec{F}_{\text{тр}} + m\vec{g} + \vec{N} = 0$]

2.1.9. Напишите формулу, позволяющую вычислить линейную скорость движения материальной точки массой m по окружности радиусом r , если известна центростремительная сила F , под действием которой происходит данное вращение. [$\sqrt{F \cdot r/m}$]

2.1.10. Тело массой m равномерно вращается на тонкой нерастяжимой и невесомой нити длиной l с угловой скоростью ω на гладкой горизонтальной поверхности. Напишите формулу, по которой можно вычислить силу натяжения нити. [$m\omega^2 l$]

2.1.11. Получите формулу, по которой можно вычислить вес тела на экваторе. [$m(g - (2\pi/T)^2 R)$]

2.1.12. Сформулируйте закон сохранения импульса для системы материальных точек. Напишите формулу, выражающую закон сохранения импульса. [$\sum \vec{p}_i = \text{const}$; $\sum m_i \vec{v}_i = \text{const}$]

2.1.13. Напишите формулу, связывающую изменение импульса $\Delta \vec{p}$ тела и действующую силу \vec{F} . [$\Delta \vec{p} = \vec{F} \cdot \Delta t$]

2.1.14. Вагонетка массой M движется по рельсам со скоростью \vec{v}_1 . В вагонетку в направлении перпендикулярном ее движению прыгает человек массой m со скоростью \vec{v}_2 . Получите выражение для модуля скорости движения вагонетки вместе с человеком. [$Mv_1/(M + m)$]

2.1.15. Стрелок бомбардировщика попадает из пушки в летящий навстречу истребитель. Напишите формулу для кинетической энергии снаряда относительно истребителя, если масса снаряда m , скорость снаряда v_c , скорость бомбардировщика $v_б$, скорость истребителя $v_и$. [$m \cdot (v_c + v_б + v_и)^2 / 2$]

2.1.16. Напишите формулу для работы, совершаемой силой F при горизонтальном перемещении на Δx тела, если сила \vec{F} направлена под углом α к горизонту. [$F\Delta x \cdot \cos\alpha$].

2.1.17. Совершает ли работу сила притяжения Земли Солнцем? Ответ обоснуйте. [Не совершает]

2.1.18. Напишите выражение для работы силы тяжести. Чему равна работа силы тяжести на замкнутом пути? Ответ обоснуйте. [0]

2.1.19. Напишите формулу, с помощью которой можно вычислить работу, совершаемую силой тяжести при перемещении тела массой m с высоты h_1 на высоту h_2 ($h_1 > h_2$). [$mg \cdot (h_1 - h_2)$]

2.1.20. Если транспортное средство, на которое, действует сила F , движется со скоростью v , то с помощью какой формулы можно определить мощность двигателя транспортного средства? [$F \cdot v$]

2.1.21. Может ли тело **не** находиться в положении устойчивого равновесия в потенциальном поле, если его потенциальная энергия в этом положении равна нулю? Ответ обоснуйте. [Может]

2.1.22. Может ли тело, находящееся в покое, получив кинетическую энергию $\Delta E_k = 100$ Дж, совершить работу $A = 200$ Дж? Напишите формулу, с помощью которой можно показать, что это тело не может совершить работу такой величины. [$A = \Delta E_k$]

2.1.23. Жесткость пружины равна k . Чему равна жесткость половины этой пружины? Ответ обоснуйте. [$2k$]

2.1.24. Две пружины одинаковой длины и одинаковой жесткости k соединены параллельно. Получите формулу, с помощью которой можно определить коэффициент жесткости системы двух параллельно соединенных пружин. Ответ обоснуйте. [$2k$]

2.1.25. Напишите формулу, с помощью которой можно вычислить работу, совершаемую силой упругости при растяжении пружины жесткостью k на величину Δx . [$k(\Delta x)^2/2$]

2.2.

2.2.1. Напишите формулу, по которой можно вычислить момент силы относительно оси вращения. Постройте график зависимости момента M силы от плеча d силы (сила F постоянна). [$M = Fd$]

2.2.2. На рис. 2.23 представлена схема действия двух сил на тело с закрепленной осью O . Что называют плечом d силы F ? Укажите его на чертеже. Напишите условие равновесия для данного тела. [$F_1 d_1 = F_2 d_2$]

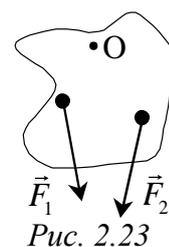


Рис. 2.23

2.2.3. Материальная точка движется вдоль оси x . Проекция скорости v_x изменяется в соответствии с графиком, представленным на рис. 2.24. Сравните силы F_1 и F_2 , действующие на тело в промежутки времени $[0, t_1]$ и $[t_1, t_2]$. [$F_1/F_2 = 9/2$]

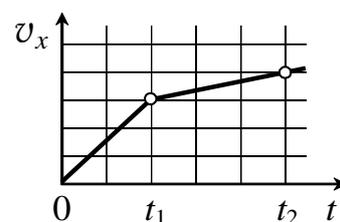


Рис. 2.24

2.2.4. На тело массой 2 кг действует постоянная сила $F = 4$ Н. Определите ускорение тела и постройте график зависимости ускорения от времени движения. [2]

2.2.5. Под действием силы 1 Н тело движется так, что его координата в направлении действия силы изменяется по закону $x = 100 + 5t + 0,5t^2$, записанному в СИ. Какова масса тела? [1]

2.2.6. На рис. 2.25 приведен график зависимости силы $F_{\text{тр}}$ трения скольжения от силы N нормального давления. Определите коэффициент трения. [0,2]

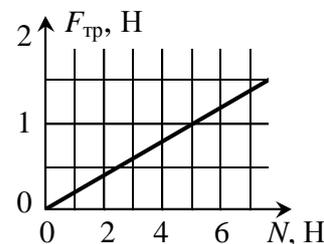


Рис. 2.25

2.2.7. Напишите формулу силы трения скольжения и нарисуйте график зависимости силы трения скольжения от величины силы нормального давления. [$F_{\text{тр}} = \mu F_{\text{н.д.}}$]

2.2.8. Тело брошено вертикально вверх. На рис. 2.26 показаны графики зависимости некоторых величин, характеризующих его движение, от времени t . На каком из графиков по оси ординат представлены: координата, кинетическая энергия, полная механическая энергия, проекция ускорения и проекция импульса на ось Oy , направленную вертикально вверх? [∂ ; e ; a ; \bar{b} ; \bar{v}]

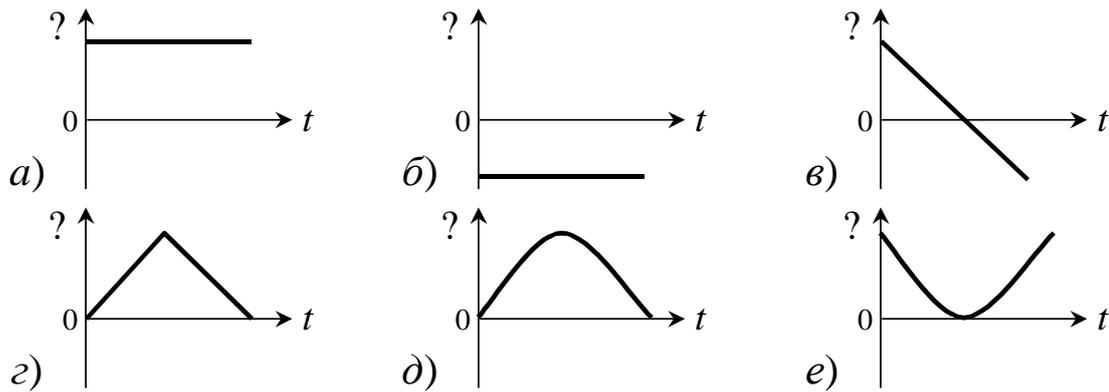


Рис. 2.26

2.2.9. В лифте, движущемся вниз равноускоренно с ускорением a , лежит на полу тело массой m . Напишите формулу для определения веса тела. Нарисуйте график зависимости веса тела от ускорения a . [$P = m(g - a)$]

2.2.10. В лифте установлен динамометр, на котором подвешено тело массой m . Нарисуйте график зависимости показаний динамометра от величины ускорения a лифта, который движется ускоренно вверх. [$F = m(g + a)$]

2.2.11. Тело массой m движется равномерно по дуге окружности постоянного радиуса R под действием сил, равнодействующая которых F направлена по радиусу к центру окружности. Получите формулу линейной скорости движения тела и постройте график зависимости линейной скорости движения тела от величины равнодействующей силы. [$v = \sqrt{FR/m}$]

2.2.12. Тело движется по окружности с постоянной по величине скоростью. Нарисуйте график зависимости модуля импульса тела от времени.

2.2.13. Напишите формулу, по которой можно вычислить изменение импульса тела за время t при действии на него постоянной силы F . Постройте график зависимости изменения импульса тела от времени действия силы. [$\Delta p = F \cdot \Delta t$]

2.2.14. Тело массой m брошено вертикально вверх со скоростью v_0 . Получите зависимость изменения модуля импульса от времени подъема тела и постройте график зависимости величины импульса тела p от времени t подъема тела. [$p = m(v_0 - gt)$]

2.2.15. Напишите формулу, по которой можно определить работу силы тяжести при падении тела с высоты h . Постройте график зависимости величины этой работы от высоты падения тела. [$A = mgh$]

2.2.16. На тело вдоль линии движения действует сила, зависимость которой от перемещения указана на рис. 2.27. На каком участке сила совершает большую работу? Ответ обоснуйте. [1 – 2]

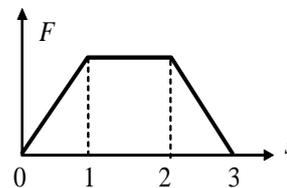


Рис. 2.27

2.2.17. На рис. 2.28 изображены графики (1 – 3) зависимости величины силы F , действующей на тело, от пути s , пройденного этим телом. На каком графике 1, 2 или 3 сила совершает на пути s_1 большую работу? Ответ обоснуйте. [2]

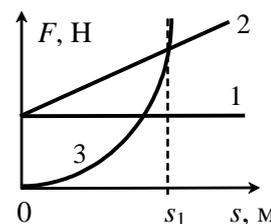


Рис. 2.28

2.2.18. Напишите формулу, по которой можно вычислить кинетическую энергию тела массой m , движущегося со скоростью v . Нарисуйте график зависимости кинетической энергии от v^2 . [$E_k = mv^2/2$]

2.2.19. На рис. 2.29 представлена траектория движения тела, брошенного под углом к горизонту. В какой из четырех точек (1, 2, 3 или 4), отмеченных на траектории, потенциальная энергия тела имеет минимальное значение? [4]

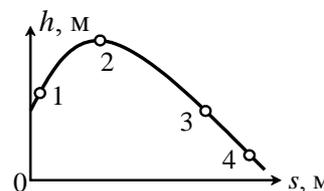


Рис. 2.29

2.2.20. На рис. 2.29 представлена траектория движения тела, брошенного под углом к горизонту. В какой из четырех точек (1, 2, 3 или 4), отмеченных на траектории, кинетическая энергия тела имеет минимальное значение? [2]

2.2.21. Напишите формулу для упругой силы. Постройте график зависимости модуля упругой силы от величины деформации тела. [$F_{упр} = kx$]

2.2.22. На рис. 2.30 представлены графики зависимости удлинения Δx от модуля приложенной силы F для медной (1) и стальной (2) проволок равной длины и диаметра. Жесткость какой проволоки (1 или 2) больше? Ответ обоснуйте. [2]

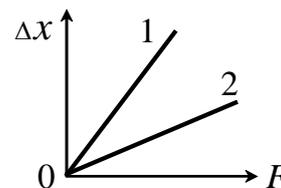


Рис. 2.30

2.2.23. Под действием внешней силы недеформированная пружина жесткостью k переведена из состояния равновесия (1) в состояние (2), рис. 2.31. Напишите формулу работы внешней силы. Постройте график зависимости работы от величины деформации x пружины. [$A = kx^2/2$]

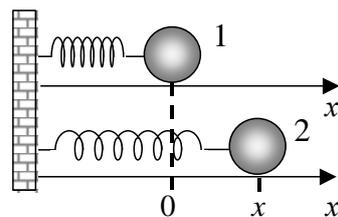


Рис. 2.31

2.2.24. Напишите формулу, по которой можно вычислить работу силы упругости при растяжении пружины жесткостью k от длины недеформированной пружины l_0 до длины l . Нарисуйте график зависимости работы силы упругости от величины растяжения пружины. [$A = -k(l - l_0)^2/2$]

2.2.25. Постройте график зависимости потенциальной энергии пружины от величины ее растяжения.

2.3.

2.3.1. Человек находится внутри шумонепроницаемого вагона с закрытыми окнами. С помощью каких из перечисленных ниже опытов: а) с помощью опытов с шариком, лежащим на полу вагона; б) с помощью опытов с грузиком на пружинке, прикрепленной к потолку вагона; в) с помощью опытов с математическим маятником, можно определить покоится вагон или движется равномерно и прямолинейно? Ответ обоснуйте. [Нельзя никакими опытами]

2.3.2. Тонкий однородный горизонтально расположенный стержень массой m и длиной L закреплен левым концом на горизонтальной оси вращения, а к правому концу привязана вертикальная нить (рис. 2.32). К точке стержня с координатой $x = L/2$ подвешен на нити груз массой m . На сколько изменится сила натяжения правой нити, если координату точки подвеса груза уменьшить до $L/4$? [Уменьшится на $mg/4$]

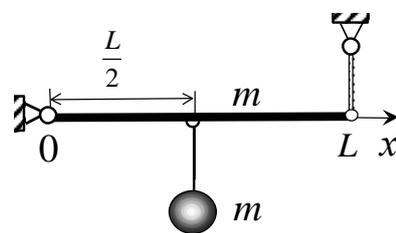


Рис. 2.32

2.3.3. Тонкий однородный стержень массой m и длиной L расположен горизонтально. Левый его конец закреплен на горизонтальной оси вращения, а к правому привязана вертикальная нить (рис. 2.33). К точке стержня с координатой $x = L/3$ подвешен на нити груз массой m . Как изменится момент силы натяжения правой нити относительно оси, проходящей через точку O , если массу груза увеличить в 2 раза? [Увеличится в 1,4 раза]

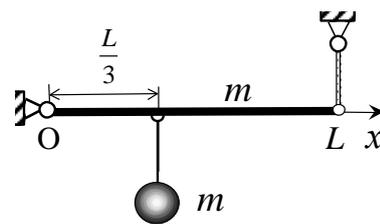


Рис. 2.33

2.3.4. Однородный куб опирается одним ребром о пол, другим – на вертикальную стену (рис. 2.34). Чему равно плечо силы упругости N_2 относительно точки B ? [OO_2]

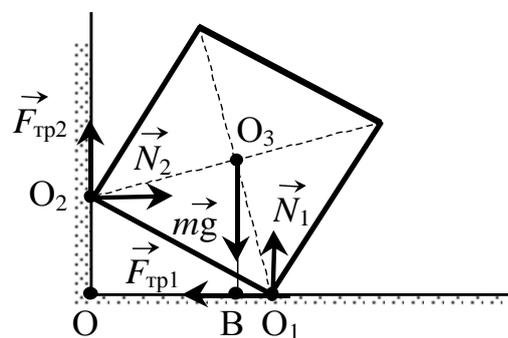


Рис. 2.34

2.3.5. Однородный куб опирается одним ребром на пол, другим – на вертикальную стену (рис. 2.34). Чему равно плечо силы тяжести относительно точки B ? [0]

2.3.6. Невесомый стержень длиной L , находящийся в ящике с гладким дном и стенками, составляет угол 45° с вертикалью (рис. 2.35). К стержню на расстоянии $a = L/4$ от левого его конца подвешен на нити шарик массой m . Какова величина силы упругости N , действующей на стержень со стороны левой стенки ящика? [$0,75mg$]

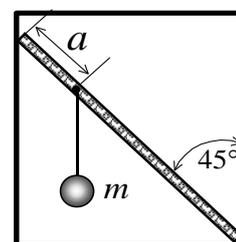


Рис. 2.35

2.3.7. На рис. 2.36 представлены векторы скорости и ускорения тела. Какой из четырех векторов на правом рисунке указывает направление вектора равнодействующей всех сил, действующих на это тело? Ответ обоснуйте. [2]

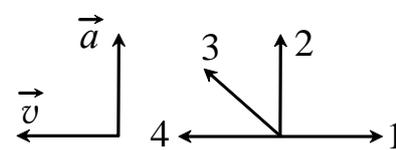


Рис. 2.36

2.3.8. Кабина лифта при подъеме движется сначала ускоренно (1), затем равномерно (2). В каком случае (1 или 2) сила натяжения троса во время движения больше? Ответ обоснуйте. [1]

2.3.9. Находясь в покое, динамометр с грузом показывает 4 Н, рис. 2.37, а. С каким ускорением движется динамометр с этим грузом, если его показания изменились, как изображено на рис. 2.37, б? Ответ представьте в единицах СИ. Ответ обоснуйте. [10]

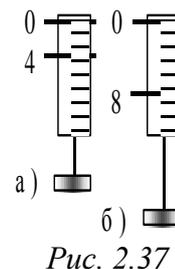


Рис. 2.37

2.3.10. Исчезнет (1) или нет (2) сила притяжения тела к Земле при переходе тела в состояние невесомости? Ответ обоснуйте. [2]

2.3.11. Изменится (1) или нет (2) вес тела, если оно из состояния покоя будет двигаться с ускорением в горизонтальном направлении? Ответ обоснуйте. [2]

2.3.12. В каком случае 1 или 2 изменение импульса мяча будет больше?
 1) Мяч ударяется нормально о стенку и упруго отскакивает от нее.
 2) Мяч ударяется о стенку под углом 30° и упруго отскакивает от нее.
 Ответ обоснуйте. [1]

2.3.13. Могут ли осколки разорвавшейся гранаты лететь в одном направлении, если до взрыва граната покоилась? Ответ обоснуйте. [Не могут]

2.3.14. Снаряд, летевший горизонтально, разорвался на два осколка, импульсы которых \vec{p}_1 и \vec{p}_2 составили между собой угол $\alpha = 60^\circ$. Нарисуйте векторную диаграмму, с помощью которой можно определить результирующий вектор \vec{p} для этих осколков. Напишите формулу, по которой можно вычислить модуль результирующего импульса.

$$[p = \sqrt{p_1^2 + p_2^2 + 2p_1p_2 \cdot \cos \alpha}]$$

2.3.15. Тележка массой 20 кг движется со скоростью 1,5 м/с. Мальчик массой 40 кг, бегущий со скоростью 3 м/с навстречу тележке, прыгает на нее. Найдите модуль скорости, с которой будет двигаться тележка после прыжка мальчика на нее. Ответ представьте в единицах СИ. [1,5]

2.3.16. Имеются две инерциальные системы отсчета 1 и 2, причем система 2 движется со скоростью v относительно системы 1 слева направо вдоль оси x . Оси x и x' совпадают, оси y и y' параллельны. В какой системе (1 или 2) импульс тела массой m , движущегося со скоростью v вдоль оси x слева направо, будет больше? Ответ обоснуйте. [1]

2.3.17. В каком из приведенных случаев (рис. 2.38) работа, совершаемая силой \vec{F} , отрицательна, если \vec{s} – перемещение? Укажите номер (1, 2, 3 или 4) правильного ответа. Ответ обоснуйте. [4]



Рис. 2.38

2.3.18. Может ли совершать работу сила нормальной реакции опоры? Ответ обоснуйте. [Не может]

2.3.19. Тело массой m поднимается на высоту h : 1) вертикально; 2) по гладкой наклонной поверхности; 3) по шероховатой наклонной поверхности. Определите отношение работ A_1/A_2 ; A_2/A_3 ; A_1/A_3 силы тяжести. [1; 1; 1]

2.3.20. Сравните работы свободно падающего тела за первую и вторую половины времени падения. [1:3]

2.3.21. Сравните работы, произведенные силой тяжести при падении тела с высоты h на Землю, в случае: 1) тело падает с высоты h на Землю вертикально без начальной скорости; 2) тело на той же высоте h бросили горизонтально к поверхности Земли с начальной скоростью $v_0 \neq 0$, и оно через некоторое время падает на Землю. Напишите в ответе значение отношения работ A_1/A_2 . Ответ обоснуйте. [1]

2.3.22. В каком случае (1) или (2) суммарная механическая энергия тела изменяется сильнее: 1) тело, находясь на высоте h над поверхностью Земли, падает вертикально вниз, а сопротивление атмосферы пренебрежимо мало; 2) тело, находясь на высоте h над поверхностью Земли, падает вертикально вниз, а сопротивлением атмосферы пренебречь нельзя? Ответ обоснуйте. [2]

2.3.23. В каком случае (1) или (2) и во сколько раз полная механическая энергия тела в точке А будет больше (рис. 2.39): 1) тело без начальной скорости соскальзывает (без трения) по наклонной плоскости с высоты h ; 2) тело без начальной скорости соскальзывает (без трения) по наклонной плоскости с высоты $2h$? Ответ обоснуйте.

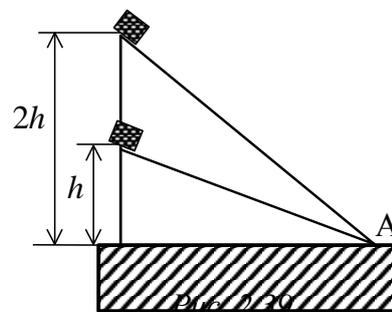
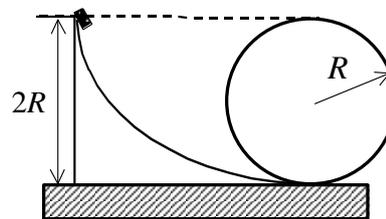


Рис. 2.39

[2]

2.3.24. Столб длиной l и массой m , лежащий на Земле, устанавливают вертикально. Какая при этом совершается работа? Ответ обоснуйте. [$mgl/2$]

2.3.25. Брусок массой m соскальзывает без трения с высоты h по желобу, свернутому в спираль радиусом R (рис. 2.40). Достигнет (1) или нет (2) брусок верхней точки спирали, если высота h составляет величину, равную диаметру спирали, т.е. $2R$? Ответ обоснуйте. [2]



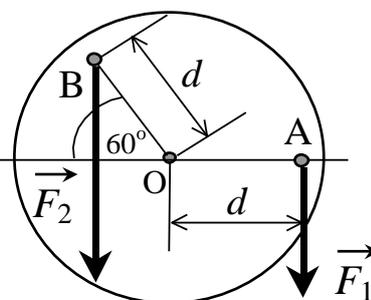
2.4.

2.4.1. На тело действуют две одинаковые силы по 1 Н каждая, угол между направлениями которых 120° . Чему равна равнодействующая этих сил? Ответ обоснуйте. [1]

2.4.2. Две силы $F_1 = 3$ Н и $F_2 = 4$ Н приложены к одной точке тела. Угол между векторами \vec{F}_1 и \vec{F}_2 равен 60° . Определите модуль равнодействующей этих сил. Ответ представьте в единицах СИ и округлите до десятых. [6,1]

2.4.3. Шар массой 3 кг висит на нити, прикрепленной к гладкой вертикальной стене. Определите силу давления шара на стену. Нить образует со стеной угол 15° и проходит через центр шара. Ответ представьте в единицах СИ и округлите до целого числа. [8]

2.4.4. Однородный диск может вращаться относительно оси, проходящей через центр тяжести диска O . К диску в точке A , находящейся на расстоянии d от оси диска, приложили силу $F_1 = 100$ Н. Чему равна сила F_2 , которую нужно приложить к диску в точке B , расположенной на диске, как показано на рис. 2.41, чтобы диск находился в равновесии? Ответ представьте в единицах СИ. [200]



2.4.5. Чему равен коэффициент полезного действия рычага, при помощи которого можно поднять груз массой 70 кг на высоту 10 см, приложив к другому концу силу 50 Н, опустив его на 1,5 метра? Ответ представьте в процентах и округлите до целого числа. [93]

2.4.6. На невесомом стержне длиной L закреплено два груза массами $2m$ и m , рис. 2.42. На каком расстоянии x от массы $2m$ его следует подвесить за точку O , для того, чтобы стержень остался в равновесии? [$L/3$]

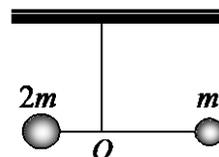


Рис. 2.42

2.4.7. Поезд массой 500 т, двигаясь равнозамедленно, в течение времени 1 мин уменьшает свою скорость от 40 км/ч до 28 км/ч. Найдите силу торможения. Ответ представьте в меганьютонах и округлите до сотых. [0,03]

2.4.8. На тело в течение 10 с действовала сила 4,9 Н. Найдите массу тела, если изменение скорости тела в результате действия силы составило 5 м/с. Ответ представьте в единицах СИ. [9,8]

2.4.9. На покоящееся тело массой 0,2 кг действует в течение 5 с сила 0,1 Н. Какой путь пройдет тело за указанное время? Ответ представьте в единицах СИ. [6,25]

2.4.10. Тепловоз развивает силу тяги 260 кН и ведет состав массой 250 т по горизонтальному участку пути. Определите ускорение, с которым движется состав, если на всем пути действует сила трения 10 кН. Ответ представьте в единицах СИ. [1]

2.4.11. Определите высоту наклонной плоскости, если тело, соскользнув с нее, приобретает скорость 4 м/с. Ответ представьте в единицах СИ. Трением пренебречь. Задачу решить без применения закона сохранения механической энергии. [0,8]

2.4.12. Какую скорость будет иметь тело, соскользнув с наклонной плоскости высотой 1,25 м? Трением пренебречь. Ответ представьте в единицах СИ. [5]

2.4.13. Во сколько раз уменьшится сила притяжения спутника к Земле при его удалении от поверхности Земли на расстояние, равное радиусу Земли? Ответ обоснуйте. [4]

2.4.14. Найти силу тяготения, действующую на тело массой 4 кг, поднятое над Землей на высоту, равную трети земного радиуса. Ответ представьте в единицах СИ. [22,5]

2.4.15. Тело массой 0,2 кг падает с высоты 1 м с ускорением 8 м/с^2 . Чему равен импульс тела в конце падения? Ответ представьте в единицах СИ. [0,8]

2.4.16. Тело массой 10 кг брошено с поверхности Земли вертикально вверх со скоростью 10 м/с. Найдите изменение потенциальной энергии тела за время его подъема до верхней точки. Ответ представьте в единицах СИ. [500]

2.4.17. Тело массой 5 кг свободно падает вниз. Определите скорость тела при ударе о Землю, если его кинетическая энергия в этот момент равна 490 Дж. Ответ представьте в единицах СИ. Сопротивление воздуха не учитывать. [14]

2.4.18. Кинетическая энергия тела в момент бросания вертикально вверх равна 400 Дж. Определите наибольшую высоту подъема этого тела, если его масса 2 кг. Ответ представьте в единицах СИ. [20]

2.4.19. Кинетическая энергия движущегося мотоциклиста 5 кДж, а импульс 1000 кг·м/с. Определите массу мотоциклиста. Ответ представьте в единицах СИ. [100]

2.4.20. Какую работу совершила сила тяги, равная 10 кН, если автомобиль, двигаясь с ускорением 2 м/с^2 , увеличил свою скорость от 4 м/с до 10 м/с? Ответ представьте в килоджоулях. [210]

2.4.21. Груз массой 50 кг свободно падает из состояния покоя в течение 10 с. Какую работу совершает сила тяжести за это время? Ответ представьте в килоджоулях. [250]

2.4.22. Подвешенный на нити грузик отклонили на некоторый угол от положения равновесия и отпустили. В момент прохождения нижней

точки траектории скорость грузика равна 4 м/с. Определите угол отклонения нити от положения равновесия. Длина нити 1,6 м. Ответ представьте в градусах. [60°]

2.4.23. Подвешенный на нити грузик отклонили от положения равновесия на угол $\alpha = 45^\circ$ и отпустили. Определите максимальную скорость грузика, если длина нити равна 1,5 м. Ответ представьте в единицах СИ и округлите до целого числа. [3]

2.4.24. Чему равна жесткость пружины, которая удлиняется на 5 см, если на ней уравновесить груз массой 2,5 кг? Ответ представьте в единицах СИ. [500]

2.4.25. С какой силой необходимо тянуть за конец проволоки, второй конец которой закреплен, чтобы удлинить ее на $5 \cdot 10^{-2}$ м? Жесткость проволоки равна $1 \cdot 10^3$ Н/м. Ответ представьте в единицах СИ. [50]

2.5.

2.5.1. Материальная точка массой 100 г движется под действием трех сил, модули которых равны 10 Н. Векторы сил лежат в одной плоскости и образуют два угла по 60° . С каким ускорением движется точка? Ответ представьте в единицах СИ. [200]

2.5.2. Определите силу давления человека массой 70 кг на пол кабины лифта, движущегося вертикально вверх с ускорением 1 м/с^2 . Ответ представьте в единицах СИ. [770]

2.5.3. Космическая ракета движется вертикально вверх с ускорением 5 м/с^2 . Определите вес космонавта, если его масса 75 кг. Ответ представьте в единицах СИ. [1125]

2.5.4. Сани со стальными полозьями перемещают равномерно по льду, прилагая горизонтальное усилие 4 Н. Определите массу саней, если коэффициент трения саней по льду равен 0,2. Ответ представьте в единицах СИ. [2]

2.5.5. Какая сила требуется, чтобы телу массой 2 кг, лежащему на горизонтальной поверхности, сообщить ускорение $0,2 \text{ м/с}^2$? Коэффициент трения между телом и поверхностью 0,02. Ответ представьте в единицах СИ. [0,8]

2.5.6. Поезд массой 10^5 кг тормозит. Начальная скорость поезда в момент торможения 72 км/ч, а тормозной путь 4 км. Определите силу трения. Ответ представьте в килоньютонах. [5]

2.5.7. Поезд массой $4 \cdot 10^3$ т трогается с места и движется по горизонтальному пути под действием постоянной силы тяги локомотива, равной 400 кН. Коэффициент трения 0,005. Определите ускорение поезда. Ответ представьте в единицах СИ. [0,05]

2.5.8. Автомобиль массой 3 т движется по горизонтальному пути со скоростью 36 км/ч. При выключении мотора под действием тормозящей силы 4 кН автомобиль останавливается. Определите расстояние, пройденное автомобилем при торможении до полной остановки. Ответ представьте в единицах СИ. [37,5]

2.5.9. Мотоцикл массой 100 кг движется по горизонтальному участку шоссе с ускорением 2 м/с^2 . При этом мотор развивает силу тяги 500 Н. Определите силу сопротивления движению. Ответ представьте в единицах СИ. [300]

2.5.10. На наклонной плоскости с углом наклона плоскости к горизонту 30° находится в состоянии покоя груз, сила тяжести которого 520 Н. Определите силу нормального давления груза на плоскость. Ответ представьте в единицах СИ и округлите до целого числа. [450]

2.5.11. Автомобиль движется со скоростью 72 км/ч по выпуклому мосту, имеющему форму дуги окружности. При каком значении радиуса этой окружности водитель испытает состояние невесомости в верхней точке моста? Ответ представьте в единицах СИ. [40]

2.5.12. Автомобиль массой 3 т движется равномерно со скоростью 10 м/с по мосту, который прогибается под тяжестью этого автомобиля, образуя дугу радиусом 50 м. Определите силу давления автомобиля на мост в средней его точке. Ответ представьте в килоньютонах (кН) и округлите до целого числа. [36]

2.5.13. На платформе, вращающейся с частотой 5 об/с, находится тело массой 0,1 кг, прикрепленное к центру платформы невесомой эластичной резинкой длиной 9 см. За счет вращения платформы резинка растянулась на 1 см. Определите силу натяжения резинки в этот момент.

Силой трения между телом и платформой пренебречь. Ответ представьте в единицах СИ и округлите до целого числа. [10]

2.5.14. На какой высоте, от поверхности Земли, ускорение силы тяжести составляет 25 % от ускорения силы тяжести на поверхности Земли? Ответ представьте в километрах. [6400]

2.5.15. Найдите силу, действующую на тело массой 1 кг, находящемуся на расстоянии 600 км от поверхности Земли. Ответ представьте в единицах СИ и округлите до десятых. [8,2]

2.5.16. Найдите первую космическую скорость для планеты, масса которой в 16 раз больше массы Земли, а радиус больше земного в 3 раза. Первую космическую скорость для Земли считать равной 8 км/с. Ответ представьте в км/с и округлите до десятых. [18,5]

2.5.17. Футболист, ударяя мяч массой 800 г, сообщил ему скорость 15 м/с. Длительность удара 0,02 с. Найдите среднюю силу удара. Ответ представьте в единицах СИ. [600]

2.5.18. Мяч массой 200 г падает с высоты 6 м без начальной скорости. Какова кинетическая энергия мяча на высоте 2 м над Землей, если сила сопротивления воздуха равна 0,05 Н? Ответ представьте в единицах СИ. [7,8]

2.5.19. К телу массой 4 кг, лежащему на поверхности Земли, приложена направленная вертикально вверх сила 50 Н. Определите кинетическую энергию тела в момент, когда оно окажется на высоте 10 м над Землей. Ответ представьте в единицах СИ. [98]

2.5.20. Тело массой 2 кг брошено с поверхности Земли под углом 30° к горизонту со скоростью 6 м/с. Какой будет потенциальная энергия тела, когда оно достигнет высшей точки подъема? Ответ представьте в единицах СИ. [9]

2.5.21. Электровоз массой 100 т при торможении движется равнозамедленно и уменьшает свою скорость с 54 км/ч до 3 м/с. Какая работа была совершена при этом силами трения? Ответ представьте в мегаджоулях. [-10,8]

2.5.22. Катер буксирует воднолыжника, прилагая к тросу силу 800 Н. Трос образует с горизонтальным направлением угол 30° . Какую работу производит мотор катера на пути 100 м? Ответ представьте в килоджоулях и округлите до десятых. [69,3]

2.5.23. Скорость свободно падающего тела массой 10 кг на некотором пути увеличивается с 3 м/с до 9 м/с. Найдите работу силы тяжести на этом пути. Ответ представьте в единицах СИ. [360]

2.5.24. Автомобиль, имеющий массу 800 кг, трогается с места и, двигаясь равноускоренно, проходит путь 20 м за время 2 с. Какую среднюю мощность в киловаттах (кВт) должен развивать мотор этого автомобиля? [80]

2.5.25. Две пружины равной длины, соединенные последовательно, растягивают за свободные концы руками. Жесткость одной из них 100 Н/м, а ее удлинение при этом 5 см. Какова жесткость другой пружины, если она удлинилась на 1 см? [500]

2.6.

2.6.1. Фонарь массой 10 кг подвешен над улицей на двух одинаковых тросах, угол между которыми 120° . Найдите силы натяжения тросов. Ответ представьте в единицах СИ. [100]

2.6.2. На конце стержня длиной $l = 30$ см укреплен шар радиусом $R = 6$ см (рис. 2.43). Где находится центр тяжести этой системы относительно свободного конца, если масса стержня вдвое меньше массы шара? Ответ представьте в сантиметрах. [29]

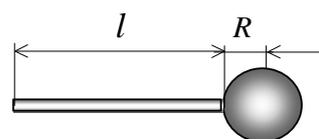


Рис. 2.43

2.6.3. Брусок, сила тяжести которого равна 4 Н, прижимают к вертикальной стене с силой 5 Н, направленной горизонтально. Чему равен коэффициент трения, если брусок не падает? [0,8]

2.6.4. Магнит массой 50 г прилип к стальной вертикальной плите. Для равномерного движения магнита вниз прикладывают силу 1,5 Н, направленную по вертикали. Какую силу надо приложить, чтобы пере-

мещать равномерно магнит по плите вертикально вверх? Ответ представьте в единицах СИ. [2,5]

2.6.5. Санки, скользящие по горизонтальной поверхности льда, остановились, пройдя расстояние 25 м. Найдите начальную скорость санок, если коэффициент трения скольжения равен 0,05. Ответ представьте в единицах СИ. [5]

2.6.6. Пуля массой 8 г, летящая со скоростью 400 м/с, пробивает бревно толщиной 20 см и вылетает из него со скоростью 100 м/с. Определите среднюю силу сопротивления движению пули в бревне. Ответ представьте в килоньютонах. [3]

2.6.7. Тело массой 1 кг с начальной скоростью 14 м/с падает с высоты 300 м и углубляется в песок на глубину 50 см. Найдите среднюю силу сопротивления почвы. Ответ представьте в килоньютонах и округлите до десятых [6,2]

2.6.8. По наклонной плоскости, расположенной под углом 30° к горизонту, скользит тело. Найдите его ускорение, если коэффициент трения равен 0,3. Ответ представьте в единицах СИ и округлите до десятых. [2,4]

2.6.9. По наклонной плоскости с углом наклона 30° соскальзывает тело в течение 2 с. Какова длина наклонной плоскости, если коэффициент трения равен 0,1? Ответ представьте в единицах СИ и округлите до десятых. [8,3]

2.6.10. На наклонной плоскости с углом наклона 30° находится тело массой 50 кг, на которое действует горизонтально направленная сила 294 Н. Определите ускорение тела в случае, когда горизонтально направленная сила действует: а) слева направо; б) справа налево. Трением пренебречь. Ответ представьте в единицах СИ и округлите до десятых.
[-0,1; 10,1]

2.6.11. Тело массой 1 кг лежит на горизонтальной плоскости. Коэффициент трения равен 0,1. На тело действует горизонтальная сила F . Определите силу трения для двух случаев: $F = 0,5$ Н и $F = 2$ Н. Ответ представьте в единицах СИ. [0,5; 1]

2.6.12. Горизонтально расположенный диск вращается вокруг вертикальной оси, совершая 15 об/мин. Наибольшее расстояние от оси вращения, на котором тело удерживается на диске, равно 10 см. Чему равен коэффициент трения тела о диск? Ответ округлите до тысячных. [0,025]

2.6.13. Автомобиль совершает поворот радиусом 16 м. Какую наибольшую скорость может развивать автомобиль, чтобы его не «занесло», если коэффициент трения скольжения 0,4? Ответ представьте в единицах СИ. [8]

2.6.14. Определите линейную скорость спутника, движущегося по окружности на высоте 270 км от поверхности Земли. Ответ представьте в км/с и округлите до сотых. [7,75]

2.6.15. Средняя угловая скорость движения Земли вокруг Солнца равна 1° в сутки. Определите массу Солнца. Ответ представьте в тоннах, поделите на 10^{27} и округлите до целого числа. [2]

2.6.16. Во сколько раз период обращения спутника, движущегося на расстоянии 21600 км от поверхности Земли, больше периода обращения спутника, движущегося на расстоянии 600 км от поверхности Земли? [8]

2.6.17. Какую работу нужно было бы совершить, чтобы вывести спутник массой 500 кг на круговую орбиту, проходящую вблизи поверхности Земли, если бы сопротивление воздуха отсутствовало? Ответ представьте в единицах СИ. [$1,6 \cdot 10^{10}$]

2.6.18. Мяч массой 1 кг ударяется абсолютно упруго о вертикальную стенку. Скорость его перед ударом равна 10 м/с и направлена под углом 30° к плоскости стенки. Найдите среднюю силу удара, если длительность удара равна 1 с. Ответ представьте в единицах СИ. [10]

2.6.19. Граната массой 10 кг, летевшая со скоростью 10 м/с, разорвалась на две части. Скорость большего осколка равна 25 м/с и направлена в сторону движения гранаты, скорость меньшего осколка равна 12,5 м/с и направлена в противоположную сторону. Найдите массу большего осколка. Ответ представьте в единицах СИ. [6]

2.6.20. Неподвижная лодка вместе с установленной на ней заряженной пушкой имеет массу 202 кг. Из пушки стреляют в горизонтальном направлении. Масса снаряда 2 кг, его скорость 400 м/с. Найдите кинетическую энергию лодки сразу же после выстрела. Ответ представьте в единицах СИ. [1600]

2.6.21. Частица налетает на неподвижную мишень и отражается назад с уменьшенной в 4 раза кинетической энергией. Определите отношение массы частицы к массе мишени, если соударение упругое. Ответ округлите до десятых. [0,3]

2.6.22. Камень массой 0,04 кг бросают вертикально вверх со скоростью 30 м/с. Определите потенциальную энергию камня в конце четвертой секунды. Потенциальная энергия камня в начальный момент времени равна нулю. Ответ представьте в единицах СИ. [16]

2.6.23. Начальная кинетическая энергия мяча массой 0,25 кг, подброшенного вертикально вверх с поверхности Земли, равна 50 Дж. На какой высоте (в метрах) его кинетическая энергия будет равна потенциальной? Потенциальную энергию на поверхности Земли считать равной нулю. Сопротивление воздуха не учитывать. [10]

2.6.24. Груз массой 50 кг перемещается горизонтально под действием силы, равной 300 Н и направленной под углом 30° к горизонту. Коэффициент трения груза о плоскость равен 0,1. Определите работу, совершенную силой трения за 10 с после начала действия силы. Ответ представьте в килоджоулях и округлите до десятых. [-7,7]

2.6.25. Брусок массой 10 кг равномерно втягивают за привязанную к нему веревку на высоту 1 м по доске, угол наклона которой к горизонту равен 30° . Веревка параллельна доске. Коэффициент трения бруска о доску равен 0,1. Найдите энергию, которая идет на нагревание доски и бруска. Ответ представьте в единицах СИ и округлите до десятых. [17,3]

2.6.26. Поезд массой 2000 т при торможении с ускорением $0,3 \text{ м/с}^2$ остановился через 50 с после начала торможения. Какое количество теплоты выделилось при торможении? Ответ представьте в мегаджоулях. [225]

2.6.27. Камень массой 2 кг падает с высоты 10 м и в момент падения на Землю имеет скорость 12 м/с. Какая работа по преодолению силы сопротивления воздуха была совершена при падении? Ответ представьте в единицах СИ. [56]

2.6.28. Пружина детского пистолета под действием силы 10 Н сжалась на 4 см. На какую высоту поднимется пулька массой 1 г при выстреле вертикально вверх? Сопротивлением воздуха пренебречь. Ответ представьте в единицах СИ. [20]

2.6.29. Тело массой 0,01 кг, прикрепленное к пружине длиной 0,3 м, равномерно вращается в горизонтальной плоскости. При каком числе оборотов в секунду пружина удлинится на $5 \cdot 10^{-2}$ м, если жесткость пружины равна 400 Н/м? Ответ представьте в единицах СИ и округлите до целого числа. [12]

2.6.30. Один конец резинового шнура длиной 0,4 м закреплен в точке A , к другому привязан камень массой 0,1 кг. При вращении шнура в горизонтальной плоскости вокруг точки A с угловой скоростью 6 рад/с шнур удлинился на 0,1 м. Найдите коэффициент жесткости шнура. Ответ представьте в единицах СИ. [18]

2.7.

2.7.1. Лестница прислонена к гладкой вертикальной стене под углом 30° к вертикали. Сможет ли человек подняться по лестнице до ее середины, прежде чем лестница начнет скользить, если коэффициент трения между горизонтальным полом и лестницей равен 0,3? Массой лестницы и трением о стену можно пренебречь. [Сможет]

2.7.2. Брусок массой 1 кг находится на наклонной плоскости с углом наклона к горизонту 45° . С какой наименьшей силой, направленной перпендикулярно плоскости, надо прижать брусок, чтобы он находился в покое? Коэффициент трения бруска о плоскость равен 0,2. Ответ представьте в единицах СИ и округлите до целого числа. [28]

2.7.3. Вертикально расположенная пружина соединяет два груза. Масса верхнего груза 2 кг, нижнего 3 кг. Когда система подвешена за верхний груз, длина пружины равна 10 см. Если же систему поставить верти-

кально на подставку, длина пружины равна 4 см. Определите длину ненапряженной пружины. Ответ представьте в сантиметрах. [6,4]

2.7.4. Грузовик взял на буксир легковой автомобиль массой $2 \cdot 10^3$ кг и, двигаясь равноускоренно, за 50 с проехал 400 м. Начальная скорость равна нулю. Найдите удлинение буксирного троса, соединяющего автомобиля, если его коэффициент упругости $2 \cdot 10^6$ Н/м. Трение и силу сопротивления не учитывать. Ответ представьте в миллиметрах. [0,32]

2.7.5. С башни высотой 25 м горизонтально брошен камень со скоростью 15 м/с. Найдите кинетическую и потенциальную энергию спустя 1 с после начала движения. Масса камня 0,2 кг. Сопротивление воздуха не учитывать. Ответ представьте в единицах СИ. [32,5; 40]

2.7.6. Камень массой 0,5 кг бросили вертикально вниз с высоты 30 м с начальной скоростью 25 м/с. В момент падения на Землю скорость камня составляла 30 м/с. Определите работу сил сопротивления воздуха при движении камня? Ответ представьте в единицах СИ. [−81,25]

2.7.7. Брусок массой $M = 10$ кг находится на гладкой горизонтальной поверхности, по которой он может двигаться без трения (рис. 2.44). На бруске лежит кубик массой $m = 4$ кг, которому приложена сила F . При каком минимальном значении этой силы кубик начнет скользить по бруску, если коэффициент трения между кубиком и бруском $\mu = 0,25$? [14]

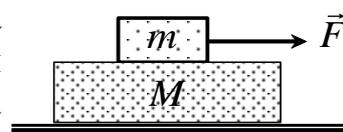


Рис. 2.44

2.7.8. Под действием некоторой силы тележка, двигаясь из состояния покоя, прошла путь 40 см. Когда на тележку положили груз массой 200 г, то под действием той же силы за то же время тележка прошла из состояния покоя путь 20 см. Какова масса тележки? Трением пренебречь. Ответ представьте в единицах СИ. [0,2]

2.7.9. Горизонтальная платформа длиной 2 м с покоящимся на ее краю грузом движется со скоростью 3 м/с и внезапно останавливается. Определите минимальный коэффициент трения между грузом и поверхностью платформы, если в момент соскальзывания груза с противоположного края платформы его скорость оказалась в 3 раза меньше первоначальной. [0,2]

2.7.10. Какова должна быть наименьшая скорость мотоциклиста, для того чтобы он мог ехать по внутренней поверхности вертикального кругового цилиндра радиусом 5 м по горизонтальной окружности? Коэффициент трения скольжения между шинами мотоцикла и поверхностью цилиндра равен 0,5. Ответ представьте в единицах СИ. [10]

2.7.11. Летчик давит на сиденье кресла самолета в нижней точке петли Нестерова с силой 7200 Н. Масса летчика равна 80 кг. Радиус петли 320 м. Определите линейную скорость движения самолета. Ответ представьте в единицах СИ и округлите до целого числа. [160]

2.7.12. Небольшое тело подвешено на нити длиной 2 м. Какую скорость надо сообщить этому телу, чтобы оно смогло совершить полный оборот вокруг точки подвеса? Ответ представьте в единицах СИ. [10]

2.7.13. Спутник движется по орбите так, что он все время находится над одной и той же точкой экватора и той же высоте. Каково расстояние от такого спутника до центра Земли? Ответ представьте в мегаметрах и округлите до целого числа. [42]

2.7.14. Два груза, масса которых 1 кг и 2 кг, связаны через неподвижный блок нитью. В начальный момент оба груза неподвижны и второй груз находится выше первого на 1 м. Через какое время после начала движения грузы будут находиться на одинаковой высоте? Ответ представьте в единицах СИ и округлите до сотых. [0,55]

2.7.15. К потолку лифта, движущемуся вертикально вверх с ускорением $1,2 \text{ м/с}^2$, прикреплен динамометр, к которому подвешен блок, свободно вращающийся вокруг горизонтальной оси. Через блок перекинута нить, к концам которой привязаны грузы массами 0,2 кг и 0,3 кг. Определите показание динамометра, считая блок и нити невесомыми. Ответ представьте в единицах СИ и округлите до десятых. [5,4]

2.7.16. Человек массой 70 кг находится на корме лодки, находящейся в озере. Длина лодки 5 м, масса лодки 280 кг. Человек переходит на нос лодки. На какое расстояние человек переместится относительно воды? Соппротивлением воды пренебречь. Ответ представьте в единицах СИ. [4]

2.7.17. Снаряд массой 10 кг, имевший в верхней точке траектории скорость 400 м/с, разорвался на два осколка с массами 7 кг и 3 кг. Большой осколок получил скорость 200 м/с в направлении вертикально вниз. Определите скорость меньшего осколка сразу после взрыва? Ответ представьте в км/с и округлите до десятых. [1,4]

2.7.18. Пуля, летящая горизонтально, попадает в шар, подвешенный на невесомом жестком стержне. Масса пули 5 г, масса шара 0,5 кг, скорость пули 500 м/с. Определите расстояние от точки подвеса до центра шара, если удар абсолютно неупругий и после удара, шар поднимается до верхней точки траектории. Ответ представьте в единицах СИ и округлите до десятых. [0,6]

2.7.19. Шар массы m (с энергией E_0) налетает на покоящийся шар массы M . Найдите, как зависит от отношения масс шаров энергия E , которую теряет налетающий шар при упругом центральном столкновении. [$E = 4kE_0/(k + 1)^2$, $k = M/m$]

2.7.20. Тело массой 3 кг брошено вертикально вниз со скоростью 2 м/с. Вычислите работу сил сопротивления, совершенную в течение 10 с, если известно, что в конце этого промежутка времени тело имело скорость 50 м/с. Ответ представьте в единицах СИ. [-4056]

2.7.21. Тело начинает скользить по наклонной плоскости, составляющей с горизонтом угол 45° . Пройдя по ней расстояние 35,5 см, тело приобрело скорость 2 м/с. Определите коэффициент трения тела о плоскость. Ответ округлите до десятых. [0,2]

2.7.22. С горки высотой 2 м и основанием 5 м съезжают санки, которые затем останавливаются, пройдя по горизонтали путь 35 м от основания горки. Найдите коэффициент трения. Считать коэффициент трения на наклонном и горизонтальном участках одинаковым. [0,05]

2.7.23. По наклонной плоскости, расположенной под углом 30° к горизонту, равномерно поднимают груз массой 200 кг. Сила трения скольжения груза о плоскость 680 Н. Найдите совершенную работу, если длина наклонной плоскости 8 м. Ответ представьте в килоджоулях и округлите до десятых. [13,4]

2.7.24. Начальная скорость пули 600 м/с, ее масса 10 г. Под каким углом к горизонту она вылетела из дула ружья, если ее кинетическая энергия в высшей точке траектории 450 Дж? Ответ представьте в градусах. [60]

2.7.25. Речное судно на подводных крыльях развивает мощность 1500 кВт при коэффициенте полезного действия 30%. Сколько сжигается горючего (в килограммах) на пути 1 км при скорости 72 км/ч? Удельная теплота сгорания горючего $5 \cdot 10^7$ Дж/кг. [5]

2.7.26. Железнодорожный вагон массой $6 \cdot 10^4$ кг движется со скоростью 0,1 м/с. При встрече с неподвижным упором обе буферные пружины вагона сжимаются, каждая на 5 см. Определите среднее значение силы, действующей на каждую пружину. Ответ представьте в килоньютонах. [3]

2.7.27. Мальчик, стреляя из рогатки, растянул её так, что длина резиновых шнуров стала на 0,1 м больше. Какая работа совершается и с какой скоростью при этом полетел камень массой 0,02 кг? Коэффициент упругости резинового шнура 1000 Н/м. Сопротивлением воздуха при движении камня пренебречь. Ответы представьте в единицах СИ и округлите до целого числа. [10; 32]

2.7.28. К лежащему на горизонтальной поверхности бруску массой 12 кг прикреплен пружина жесткостью 300 Н/м. Коэффициент трения равен 0,4. К свободному концу пружины приложена сила под углом 30° к горизонту, под действием которой груз равномерно перемещается на расстояние 4 м. Определите совершенную работу. Ответ представьте в единицах СИ и округлите до целого числа. [159]

2.7.29. Акробат прыгает с высоты 10 м на растянутую сетку. На сколько прогнется при этом сетка? Когда акробат стоит неподвижно на сетке, ее прогиб составляет 5 см. Ответ представьте в сантиметрах и округлите до целого числа. [105]

2.7.30. На какую высоту нужно отвести от положения равновесия груз массой 640 г, закрепленный на пружине жесткостью 0,4 кН/м, чтобы он проходил положение равновесия со скоростью 1 м/с? Ответ представьте в сантиметрах и округлите до целого числа. [4]

2.8.

2.8.1. На платформе, масса которой 5 кг, лежит груз массой 500 г. Коэффициент трения между грузом и платформой равен 0,1. Платформу тянут с силой 7 Н. Определите ускорения платформы и груза, если платформа движется по абсолютно гладкой поверхности. Ответ представьте в единицах СИ. [1,3; 1,0]

2.8.2. Футбольный мяч при движении в воздухе испытывает силу сопротивления, пропорциональную квадрату скорости мяча относительно воздуха. Перед ударом футболиста мяч двигался в воздухе горизонтально со скоростью $v_1 = 20$ м/с и ускорением $a_1 = 13$ м/с². После удара мяч полетел вертикально вверх со скоростью $v_2 = 10$ м/с. Каково ускорение a_2 мяча сразу после удара? Ответ представьте в единицах СИ и округлите до целого числа. [12]

2.8.3. Мяч массой 0,1 кг, брошенный со скоростью 10 м/с под углом 45° к горизонту, ударяется о стенку, находящуюся на расстоянии 3 м от места бросания. На какой высоте мяч ударится в стенку (считая от высоты, с которой брошен мяч). Определите на этой высоте кинетическую и потенциальную энергию мяча. Ответ представьте в единицах СИ и округлите до десятых. [2,1; 2,9; 2,1]

2.8.4. С какой наименьшей скоростью следует бросить с уровня Земли камень, чтобы он смог перелететь через вертикальную стену высотой 20 м и шириной 10 м? Сопротивлением воздуха пренебречь. Ответ представьте в единицах СИ и округлите до десятых. [22,4]

2.8.5. Работа, затраченная на толкание ядра, брошенного под углом 15° к горизонту, равна 800 Дж. Масса ядра 8 кг. На каком расстоянии от места бросания ядро упадет на Землю? Ответ представьте в единицах СИ. [10]

2.8.6. Тело массой 10 кг находится на наклонной плоскости, составляющей угол 30° с плоскостью горизонта. Коэффициент трения равен 0,6. Какую силу, направленную вдоль наклонной плоскости, нужно приложить к телу, чтобы перемещать его вниз по наклонной плоскости с ускорением 2 м/с²? Ответ представьте в единицах СИ и округлите до целого числа. [22]

2.8.7. Автомобиль массой 1000 кг, двигаясь в гору с уклоном 30° , на пути 1000 м увеличил свою скорость от 10 м/с до 20 м/с. Считая коэффициент трения между дорогой и колесами равным 0,1, найдите силу тяги, развиваемую двигателем автомобиля. Ответ представьте в килоньютонах и округлите до целого числа. [6]

2.8.8. Небольшое тело пустили снизу вверх по наклонной плоскости, составляющей угол 15° с горизонтом. Время подъема тела оказалось в два раза меньше времени спуска. Принять $\operatorname{tg}15^\circ = 0,268$. Найдите коэффициент трения. Ответ округлите до сотых. [0,16]

2.8.9. Конькобежец массой 45 кг, находящийся в начале ледяной горки с углом наклона 10° , бросает в горизонтальном, противоположном от горки направлении, камень массой 5 кг со скоростью 18 м/с. На какое расстояние вдоль горки поднимется конькобежец, если известно, что коэффициент трения лезвий коньков о лед равен 0,02? Ответ представьте в единицах СИ и округлите до целого числа. [1]

2.8.10. Бусинка (рис. 2.45) может скользить по обручу радиусом 4,5 м, который вращается относительно вертикальной оси, проходящей через его центр и лежащей в плоскости обруча, с угловой скоростью 2 рад/с. На какую максимальную высоту относительно нижней точки обруча может подняться бусинка? Ответ представьте в единицах СИ и округлите до целого числа. [2]

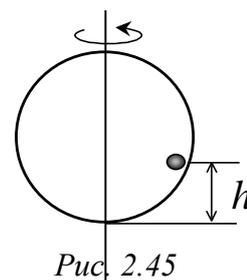


Рис. 2.45

2.8.11. На внутренней поверхности сферы радиусом 0,1 м, вращающейся вокруг вертикальной оси, находится небольшой предмет (рис. 2.46). С какой постоянной частотой должна вращаться сфера, чтобы предмет находился в точке, направление на которую составляет угол 45° ? Коэффициент трения между предметом и поверхностью сферы равен 0,2. Ответ представьте в единицах СИ и округлите до сотых. [1,55]

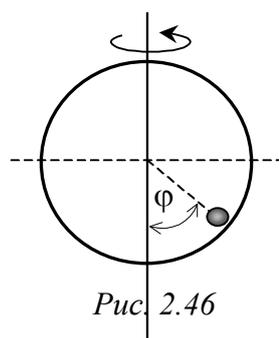


Рис. 2.46

2.8.12. На сколько следует приподнять наружный рельс по отношению к внутреннему на закруглении пути при скорости движения поезда 54 км/ч и радиусе кривизны 300 м? Ширина пути 1,524 м. Ответ представьте в сантиметрах и округлите до десятых. [11,4]

2.8.13. Через невесомый блок (рис. 2.47) перекинута невесомая и нерастяжимая нить, к концам которой подвешены грузы массами 1 кг и 2 кг. На второй из грузов положен перегрузок массой 0,5 кг. С какой силой будет действовать этот перегрузок на тело, на котором он лежит, если вся система придет в движение? Ответ представьте в единицах СИ. [2,8]

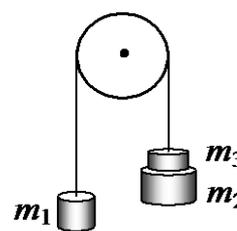


Рис. 2.47

2.8.14. К грузу массой 7 кг подвешен на веревке груз массой 5 кг. Определите (в ньютонах) модуль силы натяжения середины веревки, если всю систему поднимать вертикально с силой 240 Н, приложенной к большему грузу. Веревка однородна и ее масса равна 4 кг. [105]

2.8.15. Орудие, имеющее массу ствола 500 кг, стреляет в горизонтальном направлении. Масса снаряда 5 кг, его начальная скорость 460 м/с. После выстрела ствол откатывается на 40 см. Определите среднее значение силы торможения, возникающей в противооткатном устройстве. Ответ представьте в килоньютонах и округлите до десятых. [13,2]

2.8.16. Тело массой 8 кг начинает с трением скользить с вершины наклонной плоскости высотой 4,9 м с углом наклона 60° . У основания наклонной плоскости стоит тележка с песком массой 90 кг. С какой скоростью начинает двигаться тележка, когда тело упадет на нее? Коэффициент трения 0,1. Ответ представьте в единицах СИ и округлите до десятых. [0,4]

2.8.17. На бруске, находящемся на гладкой горизонтальной поверхности стола, укреплена жесткая изогнутая трубка (рис. 2.48). В трубке на высоте $H = 10$ см, считая от ее правого горизонтального конца, удерживают шарик, который может скользить по трубке без трения. Система покоится. Шарик отпускают. В результате брусок движется поступательно, не отрываясь от стола, и после вылета шарика из трубки приобретает скорость 1 м/с. Масса бруска с трубкой 10 кг. Найдите массу шарика. Ответ представьте в единицах СИ. [10]

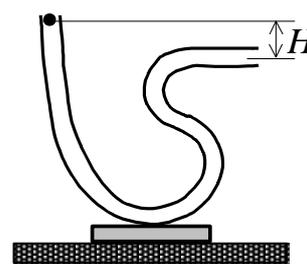


Рис. 2.48

2.8.18. Граната массой 1 кг разорвалась на высоте 6 м над землей на два осколка. Непосредственно перед разрывом скорость гранаты была

направлена горизонтально и равна 10 м/с. Один из осколков массой 0,4 кг полетел вертикально вниз и упал на землю под местом взрыва со скоростью 40 м/с. Чему равен модуль скорости (в м/с) второго осколка сразу после взрыва? Ответ округлите до десятых. [30,6]

2.8.19. Тело массы 1 кг, движущееся со скоростью v , налетает на покоящееся второе тело и после упругого удара отлетает от него со скоростью $2/3 v$ под углом 90° к первоначальному направлению движения. Определите массу второго тела. Ответ представьте в единицах СИ. [2,6]

2.8.20. Два тела, массы которых одинаковы, движутся навстречу друг другу, при этом скорость одного тела в 2 раза больше скорости второго. Какая часть кинетической энергии системы перейдет во внутреннюю энергию при центральном абсолютно неупругом ударе? [0,9]

2.8.21. Пуля ударяет со скоростью 400 м/с в центр шара, подвешенного на нити длиной 4 м, и застревает в нем. Определите косинус угла, на который отклоняется нить, если масса пули 20 г, масса шара 5 кг. Ответ округлите до сотых. [0,97]

2.8.22. Из двух соударяющихся абсолютно упругих шаров шар большей массы до удара покоился. В результате прямого удара меньший шар потерял $3/4$ своей кинетической энергии. Во сколько раз масса одного шара больше массы второго шара? [3]

2.8.23. Человек, сидящий в лодке, бросает камень вдоль нее под углом 45° к горизонту. Масса камня 10 кг, масса человека и лодки 100 кг, начальная скорость камня относительно берега 10 м/с. Найдите расстояние между точкой падения камня и лодкой в момент, когда камень коснется воды. Считать, что во время полета камня, лодка движется равномерно. Ответ представьте в единицах СИ. [11]

2.8.24. С края гладкой закрепленной полусферы (рис. 2.49) соскальзывает небольшое тело массой $m_1 = 1$ кг и ударяет неупруго в тело массой $m_2 = 2$ кг, лежащее на дне полусферы. Найдите угловую амплитуду (угол φ) качания тел после удара. Ответ представьте в градусах и округлите до целого числа. [27]

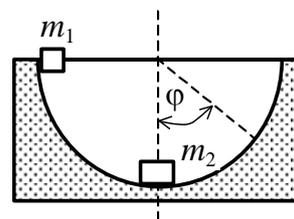


Рис. 2.49

2.8.25. Легкий шарик начинает свободно падать и, пролетев расстояние 0,8 м, сталкивается с тяжелой плитой, движущейся вверх со скоростью 1 м/с. Считая удар шарика о плиту абсолютно упругим, определите на какую высоту подскочит шарик после удара. Ответ представьте в единицах СИ. [1,8]

2.8.26. На гладком горизонтальном столе (рис. 2.50) лежит шар массой 1 кг, прикрепленный к пружине жесткостью 25 Н/м. В шар попадает пуля массой 10 г, имеющая в момент удара скорость 10 м/с. Пренебрегая массой пружины и сопротивлением воздуха, определите максимальное смещение шара. Удар считать абсолютно неупругим. Ответ представьте в единицах СИ и округлите до сотых. [0,02]

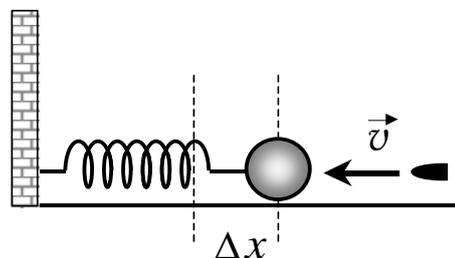


Рис. 2.50

2.8.27. На гладком горизонтальном столе (рис. 2.50) лежит шар массой 1 кг, прикрепленный к пружине жесткостью 25 Н/м. В шар попадает пуля массой 10 г, имеющая в момент удара скорость 10 м/с. Считая удар абсолютно упругим и пренебрегая массой пружины и сопротивлением воздуха, определите максимальное смещение шара. Ответ представьте в единицах СИ и округлите до сотых. [0,04]

2.8.28. *Маленький шарик, брошенный с начальной скоростью $v_0 = 10$ м/с под углом 30° к горизонту, ударяется о вертикальную стенку, движущуюся ему навстречу с горизонтально направленной скоростью $v = 2$ м/с, и отскакивает в точку, из которой был брошен. Определите, через какое время t после броска произошло столкновение шарика со стенкой. Ответ представьте в единицах СИ и округлите до сотых. [0,59]

2.8.29. *Тонкий обод массой $m = 1$ кг и радиусом $r = 0,5$ м скатывается с наклонной плоскостью (рис. 2.51), образующей угол $\alpha = 30^\circ$ с горизонтом, наматывая на себя тонкую ленту, линейная плотность ρ которой равна 0,1 кг/м. В начальный момент обод находится на высоте $h = 10$ м над горизонтальной поверхностью. Определите, на каком расстоянии s от основания наклонной плоскости обод остановится. Считать переход

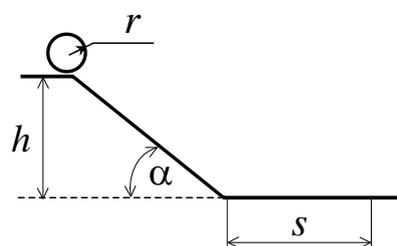


Рис. 2.51

от наклонной поверхности плавным. Ответ представьте в единицах СИ. [380]

2.8.30. *Грузы массами $M = 10$ кг и $m = 5$ кг при помощи нерастяжимой нити подвешены на блоке. С каким ускорением относительно Земли нужно двигать блок в вертикальном направлении, чтобы ускорения грузов относительно Земли были направлены в одну сторону? Грузы двигаются по вертикали. Ответ представьте в единицах СИ. [≥ 5]

2.8.31. *На гладкой горизонтальной поверхности (рис. 2.52) около стенки покоится симметричный брусок массой $0,2$ кг с углублением полусферической формы радиусом $0,2$ м. Из начального положения без трения соскальзывает маленькая шайба массой $0,2$ кг. Найдите максимальную скорость бруска при его последующем движении. Ответ представьте в единицах СИ. [2]

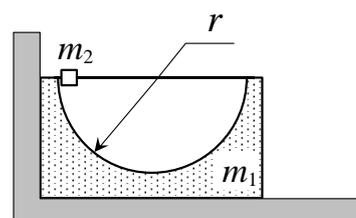


Рис. 2.52

2.8.32. *Пуля массы 10 г, летевшая с начальной скоростью 400 м/с, пробивает один подвешенный груз массой 10 г и застревает во втором подвешенном грузе той же массы. Пренебрегая временем взаимодействия пули с грузом и потерей энергии пули в пространстве между грузами, найдите количество теплоты, выделившееся в первом грузе, если во втором выделилось 100 Дж. Ответ представьте в единицах СИ. [400]

2.8.33. *Под каким углом к горизонту надо направить струю воды из брандспойта, чтобы она падала на расстоянии $l = 10$ м от него? Площадь отверстия $S = 3,54 \cdot 10^{-2}$ м², мощность насоса $P = 100$ кВт, КПД насоса $\eta = 0,5$. Высоту отверстия над землей принять равной нулю. Ответ представьте в градусах и округлите до целого числа. [15]

2.8.34. *Космический корабль движется к Луне под влиянием ее притяжения. На большом расстоянии от Луны скорость корабля относительно нее была нулевой. На какой высоте от поверхности Луны должен быть включен тормозной двигатель для осуществления мягкой посадки, если считать, что двигатель создает пятикратную перегрузку ($5g$)? Ускорение свободного падения на поверхности Луны ($g_{\text{л}}$) в 6 раз меньше, чем на Земле. Изменением массы корабля при торможении пренебречь. Считать ускорение свободного падения на поверхности Луны постоянным. Ответ представьте в километрах и округлите до десятых. [56,7]

2.8.35. *На наклонной плоскости с углом α находится кубик (рис. 2.53). К кубику прикреплена невесомая пружина, другой конец которой закреплен в точке А. Кубик находится в положении, в котором пружина не деформирована. Кубик отпускают без начальной скорости. Определите максимальную скорость кубика в процессе движения. Масса кубика $m = 1$ кг, жесткость пружины $k = 10$ кН/м, коэффициент трения $\mu = 0,1$ ($\mu < \operatorname{tg}\alpha$), $\alpha = 30^\circ$. Ответ представьте в единицах СИ и округлите до сотых. [0,04]

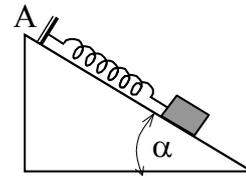


Рис. 2.53

2.8.36. *На горизонтальной плоскости лежат два бруска, соединенные ненапряженной пружиной. Массы брусков 1 кг и 2 кг. Какую наименьшую постоянную силу, направленную горизонтально, нужно приложить к бруску меньшей массы, чтобы сдвинуть брусок большей массы? Коэффициент трения брусков о плоскость равен 0,1. Ответ представьте в единицах СИ. [2]

3. ГИДРОСТАТИКА. МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА. ТЕРМОДИНАМИКА

Содержание раздела

Гидростатика. Давление жидкости. Гидростатическое давление. Сообщающиеся сосуды. Гидравлический пресс. Закон Паскаля. Закон Архимеда. Условие плавания тел.

Молекулярная физика. Кристаллические и аморфные тела. Газы, жидкости. Тепловое движение атомов и молекул вещества. Опыт Штерна. Броуновское движение. Диффузия. Взаимодействие частиц вещества. Идеальный газ. Основное уравнение молекулярно-кинетической теории. Связь между давлением и средней кинетической энергией поступательного движения молекул идеального газа. Абсолютная температура. Связь температуры газа со средней кинетической энергией его молекул. Изопроцессы. Законы идеального газа: закон Бойля – Мариотта, закон Гей-Люссака, закон Шарля. Графики изопроцессов. Объединенный газовый закон. Уравнение Клапейрона – Менделеева. Закон Дальтона. Зависимость давления от концентрации молекул и температуры. Насыщенные и ненасыщенные пары. Влажность воздуха. Абсолютная и относительная влажность. Испарение и конденсация. Кипение жидкости. Плавление и кристаллизация. Превращения энергии при изменениях агрегатного состояния вещества.

Термодинамика. Внутренняя энергия. Тепловое равновесие. Количество теплоты. Теплоемкость вещества. Удельная теплоемкость вещества. Уравнение теплового баланса. Работа в термодинамике: при изобарном процессе; при произвольном процессе. Графический способ определения работы. Первый закон термодинамики. Адиабатный процесс. Применение первого закона термодинамики к изопроцессам. Второй закон термодинамики. Принцип действия тепловой машины. КПД тепловой машины. КПД цикла Карно.

Основные законы и формулы

Гидростатика

- Сила Архимеда

$$F_A = \rho g V,$$

где ρ – плотность жидкости (газа), g – ускорение свободного падения, V – объем погруженной в жидкость (газ) части тела.

- Давление
$$p = \frac{F}{S},$$

где F – сила, действующая со стороны тела на площадь S в перпендикулярном направлении к ней.

- Давление жидкости на глубине h сосуда (водоема)

$$p = p_0 + \rho gh,$$

где ρ – плотность жидкости, h – высота столба жидкости (глубина), p_0 – атмосферное давление (внешнее давление).

- Закон сообщающихся сосудов (при отсутствии капиллярных явлений):

а) однородная жидкость устанавливается в сообщающихся сосудах на одном уровне (высоте), $h_1 = h_2$;

б) высоты столбов h_1 и h_2 уравновешенных разнородных жидкостей, находящихся в сообщающихся сосудах, обратно пропорциональны плотностям жидкостей ρ_1 и ρ_2 :

$$\frac{h_1}{h_2} = \frac{\rho_2}{\rho_1} \text{ или } \rho_1 \cdot gh_1 = \rho_2 \cdot gh_2.$$

- Гидравлический пресс
$$\frac{F_1}{S_1} = \frac{F_2}{S_2},$$

где F_1 – сила, действующая на большой поршень площадью S_1 , F_2 – сила, действующая на малый поршень площадью S_2 , рис. 3.1.

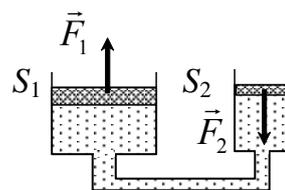


Рис. 3.1

Молекулярная физика

- Абсолютная температура (по шкале Кельвина)

$$T = t^\circ + 273,$$

где t° – температура по шкале Цельсия ($^\circ\text{C}$).

- Плотность однородного тела

$$\rho = m/V,$$

где m – масса тела, V – объем тела.

- Количество вещества
$$\nu = \frac{m}{M} = \frac{N}{N_A},$$

где m – масса вещества, M – молярная масса, N – число молекул (атомов), N_A – число Авогадро.

- Концентрация молекул (атомов)

$$n = \frac{N}{V},$$

где V – объем газа (тела).

- Основное уравнение молекулярно-кинетической теории (устанавливает связь между микроскопическими и макроскопическими параметрами газа)

$$p = \frac{1}{3} m_0 n \langle v^2 \rangle, \text{ или } p = \frac{2}{3} n \langle E_k \rangle,$$

где p – давление газа, m_0 – масса молекулы, n – концентрация молекул, $\langle v^2 \rangle$ и $\langle E_k \rangle$ – среднеквадратичная скорость и средняя кинетическая энергия молекул.

- Давление газа $p = nkT$,
где $k = R/N_A$ – постоянная Больцмана, R – универсальная газовая постоянная.
- Средняя кинетическая энергия поступательного движения молекул идеального газа

$$\langle W_k \rangle = \frac{m_0 \langle v^2 \rangle}{2} = \frac{3}{2} kT.$$

- Уравнение Клапейрона – Менделеева (уравнение состояния идеального газа)

$$pV = \frac{m}{M} RT = \nu RT.$$

- Закон Бойля – Мариотта (изотермический процесс, при $m = \text{const}$; $T = \text{const}$)

$$pV = \text{const}.$$

- Закон Шарля (изохорный процесс, при $m = \text{const}$; $V = \text{const}$):

$$p/T = \text{const}.$$

- Закон Гей-Люссака (изобарный процесс, при $m = \text{const}$; $P = \text{const}$):

$$V/T = \text{const}.$$

- Закон Дальтона (давление смеси газов):

$$p = p_1 + p_2 + \dots + p_n,$$

где p_1, p_2, \dots, p_n – парциальное давление каждого газа в смеси.

Термодинамика

- Внутренняя энергия идеального газа при температуре T

$$U = \frac{i}{2} \frac{m}{M} RT,$$

где i – число степеней свободы, $i = 3$ для одноатомного газа, $i = 5$ для двухатомного газа.

- Изменение внутренней энергии идеального одноатомного газа при изменении его температуры на $\Delta T = T_2 - T_1$

$$\Delta U = \frac{3}{2} \frac{m}{M} R \Delta T = \frac{3}{2} (p_2 V_2 - p_1 V_1).$$

- Работа идеального газа при изменении объема на ΔV или температуры на ΔT в изобарном процессе, если масса газа не меняется:

$$A = p \Delta V = \frac{m}{M} R \Delta T.$$

- Первый закон термодинамики

$$Q = \Delta U + A \quad \text{или} \quad \Delta U = A_{\text{вс}} + Q.$$

Количество теплоты Q , подведенное системе, идет на изменение её внутренней энергии ΔU и на совершение системой работы A над внешними телами. $A_{\text{вс}}$ – работа внешних сил над системой.

- Изохорный процесс ($V = \text{const}$)

$$Q = \Delta U, \quad \text{т.к. } A = 0.$$

- Изотермический процесс ($T = \text{const}$)

$$Q = A, \quad \text{т.к. } \Delta U = 0.$$

- Адиабатный процесс ($Q = 0$)

$$A = -\Delta U.$$

- Коэффициент полезного действия (КПД) тепловой машины

$$\eta = \frac{A_{\text{п}}}{Q_1}, \quad \eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1},$$

где $A_{\text{п}}$ – полезная работа, совершаемая тепловой машиной, Q_1 – количество теплоты, полученное от нагревателя, Q_2 – количество теплоты, отданное холодильнику.

- КПД идеальной тепловой машины (цикл Карно)

$$\eta_{\text{max}} = \frac{T_1 - T_2}{T_1},$$

где T_1, T_2 – температуры нагревателя и холодильника.

- Количество теплоты, идущее на нагревание тела ($Q > 0$) или выделяемое при его охлаждении ($Q < 0$),

$$Q = cm \cdot (T_2 - T_1) = C \cdot (T_2 - T_1),$$

где c – удельная теплоемкость тела, $C = cm$ – теплоемкость тела, m – масса тела, T_2, T_1 – конечная и начальная температуры тела.

- Количество теплоты, идущее на плавление твердого тела,

$$Q_{\text{пл}} = \lambda \cdot m,$$

где λ – удельная теплота плавления.

- Количество теплоты, идущее на парообразование вещества,

$$Q_{\text{пар}} = r \cdot m,$$

где r – удельная теплота парообразования вещества.

- Количество теплоты, выделяемое при сгорании топлива,

$$Q_{\text{сгор}} = q \cdot m,$$

где q – удельная теплота сгорания топлива, m – масса сгоревшего топлива.

- Абсолютная влажность – плотность ρ водяного пара или парциальное давление p водяного пара

$$\rho = \frac{m}{V}, \quad p = \frac{m}{M} \cdot \frac{RT}{V},$$

где m – масса водяного пара в объеме воздуха V , M – молярная масса воды.

- Относительная влажность воздуха

$$\varphi = \frac{\rho}{\rho_{\text{н}}} \cdot 100\% = \frac{p}{p_{\text{н}}} \cdot 100\%,$$

где ρ , $\rho_{\text{н}}$ – абсолютная влажность ненасыщенного и насыщенного водяного пара, p , $p_{\text{н}}$ – парциальное давление ненасыщенного и насыщенного водяного пара, соответственно.

Примеры решения задач

3.1. Условие плавания тел. Сила Архимеда. В сосуде находятся две несмешивающиеся жидкости: керосин и вода. На границе раздела жидкостей плавает однородное тело высотой $H = 10$ см. Определите глубину h погружения тела в воду, если плотность материала тела $\rho = 912$ кг/м³. Ответ представьте в сантиметрах.

Дано: $\rho_1 = 800$ кг/м³, $\rho_2 = 1000$ кг/м³, $\rho = 912$ кг/м³, $H = 0,1$ м.

Определить h .

Решение. На тело действуют сила тяжести $m\vec{g}$ и силы Архимеда в керосине \vec{F}_{A1} и воде \vec{F}_{A2} , рис. 3.2.

Условие равновесия

$$m\vec{g} + \vec{F}_{A1} + \vec{F}_{A2} = 0. \quad (1)$$

В проекциях на ось Oy :

$$F_{A1} + F_{A2} - mg = 0; \quad (2)$$

$$\rho_1 g V_1 + \rho_2 g V_2 - \rho g V = 0; \quad (3)$$

$$\rho_1 S(H - h) + \rho_2 S h - \rho S H = 0,$$

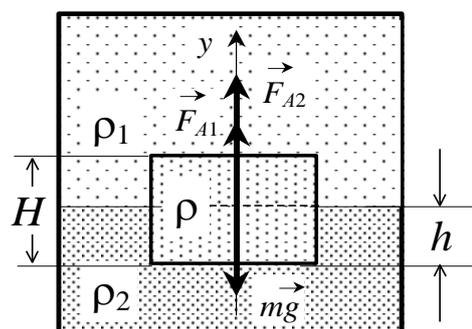


Рис. 3.2

где V_1, V_2 – соответственно объем тела, находящегося в керосине и воде; S – площадь поверхности основания тела.

$$\rho_1(H - h) + \rho_2 h - \rho H = 0. \quad (4)$$

Решая уравнение (4) относительно h , получим:

$$h = H \cdot \frac{\rho - \rho_1}{\rho_2 - \rho_1} = 5,6 \text{ см.}$$

3.2. Гидравлический пресс. С помощью гидравлического пресса с КПД $\eta = 75\%$ требуется спрессовать тело массой $m = 8 \cdot 10^4$ кг так, чтобы максимальная сила давления на верхнюю площадку пресса (рис. 3.3) достигала величины $F = 1$ МПа. Считая, что деформация тела по вертикали подчиняется закону Гука, а тело при этом сжимается на $h_2 = 0,3$ м, найдите величину работы A_1 совершенной двигателем. Отношение площадей поршней $S_2/S_1 = 50$. Определите число ходов n малого поршня, если он за один ход опускается на $h_1 = 0,1$ м.

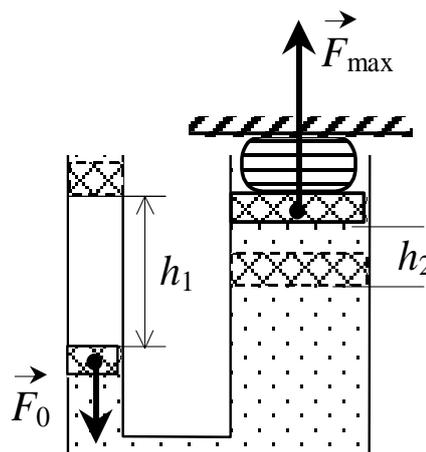


Рис. 3.3

Дано: $\eta = 0,75$, $m = 8 \cdot 10^4$ кг, $F = 1 \cdot 10^6$ Па, $h_1 = 0,1$ м, $h_2 = 0,3$ м, $S_2/S_1 = 50$, $g = 10$ м/с².

Определить A_1, n .

Решение. Так как деформация тела по вертикали подчиняется закону Гука, работа A_2 переменной силы давления второго поршня на тело

$$A_2 = F_{\text{cp}} h_2 = \frac{F_{\text{min}} + F_{\text{max}}}{2} \cdot h_2. \quad (1)$$

Минимальная сила давления второго поршня на тело в начальный момент сжатия равна весу тела, который численно равен силе тяжести тела, т.е.

$$F_{\text{min}} = mg. \quad (2)$$

Максимальная сила давления

$$F_{\text{max}} = mg + F, \quad (3)$$

где F численно равна максимальной силе давления на верхнюю площадку пресса.

Подставляя (2) и (3) в (1), найдем работу переменной силы давления второго поршня на тело

$$A_2 = \left(mg + \frac{F}{2} \right) \cdot h_2. \quad (4)$$

КПД пресса определяется соотношением

$$\eta = A_2/A_1, \quad (5)$$

где A_1 – совершаемая двигателем пресса работа.

Из (4) и (5) найдем величину этой работы:

$$A_1 = \frac{A_2}{\eta} = \left(mg + \frac{F}{2} \right) \cdot \frac{h_2}{\eta} = 5,2 \cdot 10^5 \text{ Дж.}$$

Число ходов малого поршня можно найти из условия несжимаемости жидкости. Перемещаясь за один ход, малый поршень вытесняет объем жидкости $V_0 = S_1 h_1$, а за n ходов $V_1 = n S_1 h_1$. Такой же объем жидкости поступит во второй цилиндр пресса: $V_2 = S_2 h_2$. Тогда $n S_1 h_1 = S_2 h_2$, откуда

$$n = S_2 h_2 / (S_1 h_1) = 150.$$

3.3. Молекулярная физика. Определите массу (в единицах СИ) молекулы кислорода. Ответ округлите до одной значащей цифры.

Дано: $M = 32 \cdot 10^{-3}$ кг/моль, $N_A = 6 \cdot 10^{23}$ моль⁻¹.

Определить m_0 .

Решение. Для любого вещества

$$M = m_0 N_A,$$

где M – молярная масса, m_0 – масса одной молекулы, N_A – постоянная Авогадро.

Масса одной молекулы

$$m_0 = M/N_A = 32 \cdot 10^{-3} / 6 \cdot 10^{23} \approx 5 \cdot 10^{-26} \text{ кг.}$$

3.4. Основное уравнение молекулярно-кинетической теории. В результате расширения идеального газа при его нагревании давление увеличилось в 2 раза, а концентрация молекул уменьшилась в 8 раз. Во сколько раз изменилась средняя кинетическая энергия теплового движения молекул газа?

Дано: $p_2/p_1 = 2$, $n_1/n_2 = 8$.

Определить $\langle E_{K2} \rangle / \langle E_{K1} \rangle$.

Решение. Запишем основное уравнение молекулярно-кинетической теории (МКТ) идеального газа:

$$p = \frac{2}{3} n \langle E_K \rangle ,$$

где p – давление газа, $\langle E_K \rangle$ – средняя кинетическая энергия теплового движения молекул газа.

Запишем основное уравнение МКТ идеального газа для двух состояний идеального газа:

$$p_1 = \frac{2}{3} n_1 \langle E_{K1} \rangle , \quad p_2 = \frac{2}{3} n_2 \langle E_{K2} \rangle .$$

Разделив почленно, получим:

$$\frac{\langle E_{K2} \rangle}{\langle E_{K1} \rangle} = \frac{p_2}{p_1} \cdot \frac{n_1}{n_2} = 2 \cdot 8 = 16.$$

Средняя кинетическая энергия теплового движения молекул газа увеличилась в 16 раз.

3.5. Законы идеального газа: закон Бойля – Мариотта. Как изменился объем одноатомного идеального газа в процессе 1-2, изображенном на pT – диаграмме, рис. 3.4?

Дано: pT – диаграмма.

Определить V_2/V_1 .

Решение. На pT – диаграмме изображена изотерма. При изотермическом процессе выполняется закон Бойля – Мариотта $pV = \text{const}$ (масса газа, “по умолчанию”, постоянна). Тогда

$$p_1 V_1 = p_2 V_2,$$

где p_1 и p_2 – соответственно давление газа в точках 1 и 2 диаграммы.

Учитывая, что на графике $p_1 = 3p_2$, получим:

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{p_1}{p_2} = 3,$$

т.е. объем увеличился в 3 раза.

3.6. Уравнение Клапейрона – Менделеева. На VT – диаграмме изображена зависимость объема идеального газа от температуры (рис. 3.5). Какому состоянию газа из четырех (А, В, С, D) соответствует наименьшая масса? Процесс проходил при постоянном давлении.

Дано: VT – диаграмма при $m \neq \text{const}$.

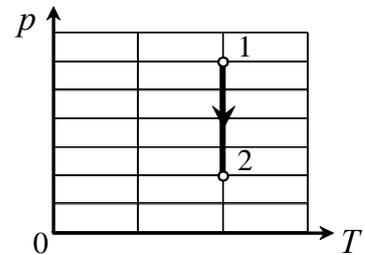


Рис. 3.4

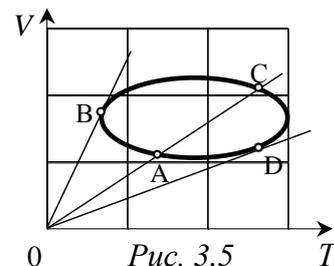


Рис. 3.5

Определить состояние газа при m_{\min} .

Решение. Так как процесс происходит с изменением массы газа, при решении необходимо использовать уравнение Клапейрона – Менделеева

$$pV = \frac{m}{M} RT. \quad (1)$$

Из (1) получим:

$$m = \frac{pVM}{RT} = \frac{pM}{R} \cdot \frac{V}{T},$$

т.е. масса газа при изобарном процессе пропорциональна

$$\operatorname{tg} \alpha = V/T,$$

где α – угол наклона прямой, проведенной из начала координат в координату точки состояния газа (А, В, С или D), к оси температур (рис. 3.6).

Бóльшему углу α наклона прямой к оси температур в координатных осях V, T соответствует бóльшая масса газа.

Так как $\alpha_3 > \alpha_2 > \alpha_1$, следовательно, $m_B > m_A = m_C > m_D$, то есть масса газа наибольшая в состоянии В, а наименьшая в состоянии D. Следовательно, наименьшей массе газа соответствует состояние D.

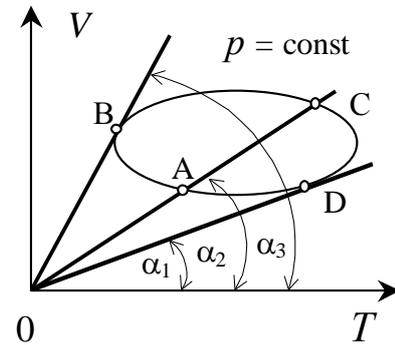


Рис. 3.6

3.7. Изопроцессы. В запаянной с одного конца узкой запаянной трубке, расположенной горизонтально, находится столбик воздуха длиной $l_1 = 30,7$ см, запертый столбиком ртути длиной $l = 21,6$ см. Какой будет длина столбика воздуха, если трубку поставить вертикально: отверстием вверх, отверстием вниз? Ответ представьте в сантиметрах и округлите до десятых.

Дано: $l = 21,6$ см, $l_1 = 30,7$ см, $\rho = 1,36 \cdot 10^4$ кг/м³, $p_0 = 1 \cdot 10^5$ Па.

Определить l_2, l_3 .

Решение. Найдем объем V_i воздуха в закрытой части трубки и его давление p_i , а также длину l_i столбика воздуха в закрытой части трубки для трех её положений (рис. 3.7):

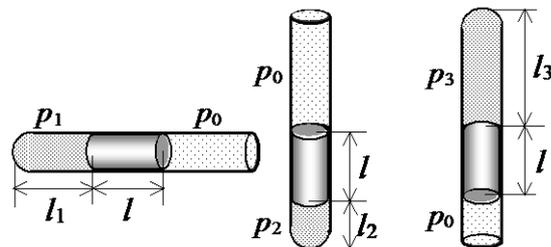


Рис. 3.7

1) В горизонтальном положении

$$V_1 = l_1 S, \quad p_1 = p_0, \quad (1)$$

где S – площадь поперечного сечения трубки.

2) Трубка расположена отверстием вертикально вверх

$$V_2 = l_2 S, \quad p_2 = p_0 + \rho g l. \quad (2)$$

Поскольку масса и температура не изменяются, по закону Бойля – Мариотта ($pV = \text{const}$) из (1) и (2), получим:

$$p_0 l_1 S = (p_0 + \rho g l) l_2 S; \quad l_2 = \frac{p_0 l_1}{p_0 + \rho g l} \approx 23,7 \text{ см.}$$

3) Трубка расположена отверстием вниз

$$V_3 = l_3 S, \quad p_3 = p_0 - \rho g l. \quad (3)$$

Из (3), аналогично пункту 2, найдем:

$$p_0 l_1 S = (p_0 - \rho g l) l_3 S; \quad l_3 = \frac{p_0 l_1}{p_0 - \rho g l} \approx 43,5 \text{ см.}$$

3.8. Графический способ определения работы в термодинамике. Какую работу совершил одноатомный газ в процессе, изображенном на pV – диаграмме (рис. 3.8)? Ответ представьте в единицах СИ.

Дано: pV – диаграмма, $p_1 = 3 \cdot 10^4$ Па, $V_1 = 0,1 \text{ м}^3$, $p_2 = 1 \cdot 10^4$ Па, $V_2 = 0,3 \text{ м}^3$.

Определить A .

Решение. Работа A идеального газа на pV – диаграмме численно равна заштрихованной на рис. 3.9 площади трапеции, т.е. площади, ограниченной прямой 1–2, изображающей процесс $p(V)$, осью абсцисс и двумя перпендикулярами, восстановленными в граничных точках процесса, т.е.

$$A = \frac{p_2 + p_1}{2} \cdot (V_2 - V_1) = \frac{3 \cdot 10^4 + 1 \cdot 10^4}{2} \cdot (0,3 - 0,1) = 4 \cdot 10^3 \text{ Дж.}$$

3.9. Внутренняя энергия. В сосуде с небольшой трещиной находится идеальный газ. В опыте за некоторое время давление газа уменьшилось в 6 раз, а его температура упала вдвое при неизменном объеме. Во сколько раз изменилась внутренняя энергия газа в сосуде?

Дано: $p_1/p_2 = 6$, $T_1/T_2 = 3$, $V_1 = V_2 = V$.

Определить U_2/U_1 .

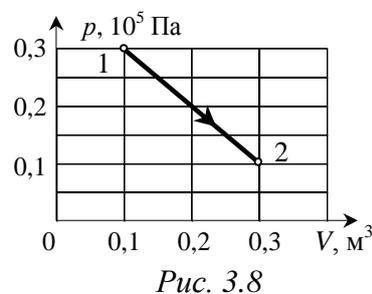


Рис. 3.8

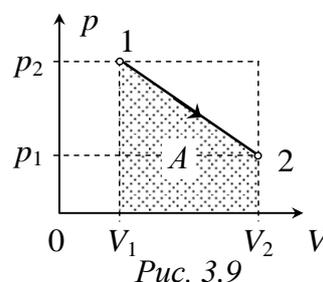


Рис. 3.9

Решение. Внутренняя энергия газа прямо пропорциональна количеству вещества ν и абсолютной температуре T . Учитывая, что часть газа вытекла из сосуда через небольшую трещину, запишем:

1) выражения для внутренней энергии идеального газа в двух состояниях:

$$U_1 = \frac{i}{2} \nu_1 R T_1; \quad U_2 = \frac{i}{2} \nu_2 R T_2, \quad (1)$$

где i – число степеней свободы молекулы газа (для одноатомного газа $i = 3$, для двухатомного газа $i = 5$), ν_1 и ν_2 – первоначальное и конечное количество вещества в сосуде;

2) уравнения Клапейрона – Менделеева для этих состояний:

$$p_1 V = \nu_1 R T_1; \quad p_2 V = \nu_2 R T_2. \quad (2)$$

С учетом (2) выражения (1) запишутся в виде:

$$U_1 = \frac{i}{2} p_1 V; \quad U_2 = \frac{i}{2} p_2 V.$$

Отсюда найдем отношение внутренних энергий

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{p_2}{p_1} = \frac{1}{6}.$$

Внутренняя энергия газа в сосуде уменьшилась в 6 раз.

Примечание. В данном случае значение изменения температуры является “лишним” условием в задаче.

3.10. Насыщенные и ненасыщенные пары. Насыщенный водяной пар находится в закрытом цилиндре под поршнем. Во сколько раз изменится давление водяного пара при уменьшении объема под поршнем в 4 раза при постоянной температуре?

Дано: $V_1/V_2 = 4, T_2 = T_1$.

Определить $p_{н2}/p_{н1}$.

Решение. Давление насыщенного пара в воздухе – это максимальное парциальное давление, которое может иметь пар при данной температуре. Так как температура насыщенного пара не изменилась ($T_2 = T_1$), не изменилось и давление насыщенного пара, т.е. $p_{н2}/p_{н1} = 1$.

3.11. Абсолютная и относительная влажность. Насыщенные и ненасыщенные пары. В цилиндрическом сосуде (рис. 3.10) под поршнем находится воздух. Относительная влажность воздуха 25 %. Какая часть водяного пара выпадет в виде росы, если первоначальный объем сосуда с

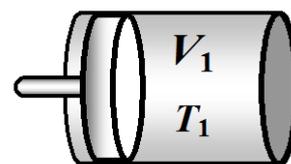


Рис. 3.10

паром при неизменной температуре уменьшился в 5 раз в результате перемещения поршня?

Дано: $\varphi_1 = 25\%$, $V_2 = V_1/5$, $T_2 = T_1$.

Определить $\delta = \frac{|\Delta m|}{m_1}$.

Решение. Плотность насыщенного пара является максимальной плотностью, которую может иметь пар при данной температуре. Следовательно, при постоянной температуре плотность насыщенного пара не изменяется, $\rho_n = \text{const}$.

При уменьшении объема плотность водяных паров в воздухе увеличивается до плотности насыщенного пара ρ_n .

Дальнейшее уменьшение объема приведет к уменьшению массы водяных паров в воздухе за счет того, что часть водяного пара выпадет в виде росы.

Относительная влажность φ_1 при объеме V_1

$$\varphi_1 = \frac{\rho_1}{\rho_n} \cdot 100\% , \quad (1)$$

где ρ_1 – плотность водяных паров в объеме V_1 , ρ_n – плотность насыщенных водяных паров.

Следовательно, масса водяных паров в воздухе при объеме V_1

$$m_1 = \rho_1 V_1, \quad (2)$$

а при объеме V_2

$$m_2 = \rho_n V_2. \quad (3)$$

Из (2) и (3) определим массу водяных паров $|\Delta m|$, выпавших в виде росы,

$$|\Delta m| = m_1 - m_2 = \rho_1 V_1 - \rho_n V_2.$$

Следовательно,

$$\delta = \frac{|\Delta m|}{m_1} = 1 - \frac{\rho_n V_2}{\rho_1 V_1}. \quad (4)$$

Выражая ρ_1 из (1) и подставляя в (4), получим:

$$\delta = 1 - \frac{100\%}{\varphi_1} \cdot \frac{V_2}{V_1} = 1 - \frac{100}{25} \cdot \frac{1}{5} = 1 - \frac{4}{5} = 0,2.$$

3.12. КПД цикла Карно. Считая паровую турбину идеальным тепловым двигателем, рассчитайте ее КПД, если горячий пар поступает в турбину при температуре 427 °С, а выходит при температуре 127 °С.

Дано: $T_1 = 700 \text{ К}$, $T_2 = 400 \text{ К}$.

Определить η .

Решение. Коэффициент полезного действия η идеальной тепловой машины, работающей по циклу Карно,

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1} = \frac{700 - 400}{700} \approx 0,429, \text{ т.е. } \eta \approx 43 \text{ \%}.$$

3.13. Уравнение теплового баланса. В калориметре смешиваются три химически не взаимодействующих жидкости в количествах $m_1 = 1 \text{ кг}$, $m_2 = 10 \text{ кг}$, $m_3 = 5 \text{ кг}$, имеющих соответственно температуры $t_1 = 6 \text{ }^\circ\text{С}$, $t_2 = -40 \text{ }^\circ\text{С}$, $t_3 = 60 \text{ }^\circ\text{С}$ и удельные теплоемкости $c_1 = 2 \text{ кДж/(кг}\cdot^\circ\text{С)}$, $c_2 = 4 \text{ кДж/(кг}\cdot^\circ\text{С)}$, $c_3 = 2 \text{ кДж/(кг}\cdot^\circ\text{С)}$. Определите температуру θ (в градусах Цельсия) смеси жидкости и количество теплоты Q (в джоулях), необходимое для последующего нагревания смеси до $t = 6 \text{ }^\circ\text{С}$.

Дано: $m_1 = 1 \text{ кг}$, $m_2 = 10 \text{ кг}$, $m_3 = 5 \text{ кг}$, $t_1 = 6 \text{ }^\circ\text{С}$, $t_2 = -40 \text{ }^\circ\text{С}$, $t_3 = 60 \text{ }^\circ\text{С}$, $c_1 = 2 \text{ кДж/(кг}\cdot^\circ\text{С)}$, $c_2 = 4 \text{ кДж/(кг}\cdot^\circ\text{С)}$, $c_3 = 2 \text{ кДж/(кг}\cdot^\circ\text{С)}$, $t = 6 \text{ }^\circ\text{С}$.

Определить θ ; Q .

Решение. В теплообмене без изменения агрегатных состояний участвуют три жидкости с различной массой, температурой и удельной теплоемкостью. Процесс теплообмена происходит в калориметре, т.е. без обмена энергией с окружающей средой. Поэтому уравнение теплового баланса запишем в следующем виде: алгебраическая сумма количеств теплот, полученных или отданных жидкостями, равна нулю.

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 = 0, \quad (1)$$

где $Q_1 = m_1 c_1 (t_1 - \theta)$, $Q_2 = m_2 c_2 (t_2 - \theta)$, $Q_3 = m_3 c_3 (t_3 - \theta)$.

Учитывая вышеприведенные выражения, преобразуем уравнение (1)

$$m_1 c_1 (t_1 - \theta) + m_2 c_2 (t_2 - \theta) + m_3 c_3 (t_3 - \theta) = 0,$$

откуда
$$\theta = \frac{m_1 c_1 t_1 + m_2 c_2 t_2 + m_3 c_3 t_3}{m_1 c_1 + m_2 c_2 + m_3 c_3} = -19 \text{ }^\circ\text{С}.$$

Количество теплоты Q , необходимое для нагревания смеси от исходной температуры θ до температуры t , равно:

$$Q = (m_1 c_1 + m_2 c_2 + m_3 c_3)(t - \theta) = (2 + 40 + 10)(6 + 19) = 1300 \text{ кДж}.$$

Таким образом $\theta = -19 \text{ }^\circ\text{С}$, $Q = 1300 \text{ кДж}$.

3.14. Уравнение теплового баланса. В калориметр с теплоемкостью 44 Дж/К, содержащего 200 г воды при температуре 20 °С, опущено стальное тело массой 100 г, нагретое до 100 °С. Определите в градусах Цельсия температуру воды в сосуде после установления равновесия. Ответ округлите до целого числа.

Дано: $C_K = 44$ Дж/К, $m_1 = 0,2$ кг, $m_2 = 0,1$ кг, $t_1 = 20$ °С, $t_2 = 100$ °С, $c_1 = 4190$ Дж/(кг·К), $c_2 = 460$ Дж/(кг·К).

Определить θ .

Решение. В системе происходит передача тепла от более нагретого стального тела к менее нагретым телам: воде и калориметру. Процесс теплообмена продолжается до тех пор, пока в системе не установится равновесная температура θ .

Так как система теплоизолирована, количество отданной стальным телом теплоты Q_2 равно количеству теплоты, полученной водой Q_1 и калориметром Q_K , т.е.

$$Q_2 = Q_1 + Q_K, \quad (1)$$

где $Q_2 = c_2 m_2 (t_2 - \theta)$ – теплота, отданная стальным телом массы m_2 при его охлаждении от начальной температуры t_2 до температуры теплового равновесия θ ;

$Q_1 = c_1 m_1 (\theta - t_1)$ – количество теплоты, идущее на нагрев воды массы m_1 от ее начальной температуры t_1 до температуры теплового равновесия θ ;

$Q_K = C_K (\theta - t_1)$ – количество теплоты, идущее на нагрев калориметра с теплоемкостью C_K от его начальной температуры t_1 до температуры теплового равновесия θ .

Учитывая выражения для Q_1 , Q_2 и Q_K , преобразуем уравнение (1):

$$c_2 m_2 (t_2 - \theta) = c_1 m_1 (\theta - t_1) + C_K (\theta - t_1).$$

Отсюда
$$\theta = \frac{(C_K + m_1 c_1) t_1 + m_2 c_2 t_2}{m_1 c_1 + m_2 c_2 + C_K} = 24 \text{ °С}.$$

Примечание. Учитывая, что разность температур ΔT по абсолютной шкале температур равна разности температур Δt по шкале Цельсия, т.е. $\Delta T = \Delta t$, градусы Цельсия в единицы СИ можно не переводить.

3.15. Уравнение теплового баланса. Найдите массу m воды, превратившейся в пар, если в сосуд, содержащий $m_1 = 1$ кг воды при $t_1 = 20$ °С, влить $m_3 = 10$ кг расплавленного свинца при температуре плавления. Сосуд латунный, его масса $m_2 = 0,5$ кг. Потерями теплоты пренебречь. Ответ представьте в единицах СИ и округлите до сотых.

Дано: $m_1 = 1$ кг, $m_2 = 0,5$ кг, $m_3 = 10$ кг, $T_1 = 20$ °С = 293 К, $T_1 = T_2$, $T_{\text{плз}} = 600$ К, $c_1 = 4190$ Дж/(кг·К), $c_2 = 380$ Дж/(кг·К), $c_3 = 126$ Дж/(кг·К), $r_1 = 2,26 \cdot 10^6$ Дж/кг, $\lambda_3 = 2,5 \cdot 10^4$ Дж/кг.

Определить m .

Решение. В теплообмене участвуют три тела: свинец, вода и калориметр, причем, свинец, отдавая теплоту, кристаллизуется и охлаждается; сосуд и вода, получая теплоту, нагреваются, при этом часть воды превращается в пар. После теплообмена в калориметре установится температура $\Theta = 373$ К (температура кипения воды).

Составим уравнение теплового баланса, согласно которому количество теплоты, отданное одним телом, будет равно количеству теплоты, полученному другими телами.

$$Q_1 + Q_2 = Q_3, \quad (1)$$

где $Q_1 = m_1 c_1 (\Theta - T_1) + m r_1$ – количество теплоты, полученное водой, при её нагревании до температуры кипения Θ и при её частичном парообразовании;

$Q_2 = m_2 c_2 (\Theta - T_2)$ – количество теплоты, полученное сосудом;

$Q_3 = m_3 \lambda_3 + m_3 c_3 (T_{\text{плз}} - \Theta)$ – количество теплоты, отданное свинцом при его кристаллизации и охлаждении.

Учитывая выражения для Q_1 , Q_2 и Q_3 , преобразуем уравнение (1)

$$m_1 c_1 (\Theta - T_1) + m r_1 + m_2 c_2 (\Theta - T_2) = m_3 \lambda_3 + m_3 c_3 (T_{\text{плз}} - \Theta).$$

Отсюда

$$m = \frac{m_3 \left[\lambda_3 + c_3 (T_{\text{плз}} - \Theta) \right] - (m_1 c_1 + m_2 c_2) (\Theta - T_1)}{r_1} \approx 0,08 \text{ кг}.$$

3.16. Первый закон термодинамики при изобарном процессе. В цилиндре под поршнем находится идеальный одноатомный газ. Какое количество теплоты (в джоулях) получил газ, если при давлении $1,5 \cdot 10^5$ Па он изобарно расширился от объема $0,12$ м³ до объема $0,14$ м³?

Дано: $p = 1,5 \cdot 10^5$ Па, $V_1 = 0,12$ м³, $V_2 = 0,14$ м³.

Определить Q_{12} .

Решение. По первому закону термодинамики количество теплоты, полученное газом, равно:

$$Q_{12} = \Delta U_{12} + A_{12}, \quad (1)$$

где ΔU_{12} – изменение внутренней энергии, и A_{12} – работа газа.

При изобарном процессе

$$A_{12} = p(V_2 - V_1). \quad (2)$$

Изменение внутренней энергии газа равно:

$$\Delta U_{12} = \frac{3}{2} \nu R(T_2 - T_1), \quad (3)$$

где T_1 и T_2 – начальная и конечная температура газа.

По закону Клапейрона – Менделеева

$$pV_1 = \nu RT_1, \quad pV_2 = \nu RT_2. \quad (4)$$

С учетом (4), изменение внутренней энергии газа равно:

$$\Delta U_{12} = \frac{3}{2} p(V_2 - V_1). \quad (5)$$

После подстановки (2) и (5) в (1) и преобразований, получим:

$$Q_{12} = \frac{5}{2} p(V_2 - V_1) = 7500 \text{ Дж}.$$

3.17. Первый закон термодинамики. В цилиндре под поршнем при комнатной температуре находится кислород. Какое количество теплоты при изобарном процессе нужно сообщить газу, чтобы он совершил работу 2 кДж? Ответ представьте в килоджоулях (кДж).

Дано: $p = \text{const}$, $A = 2$ кДж.

Определить Q .

Решение. В цилиндре под поршнем находится двухатомный газ – кислород ($i = 5$). Согласно первому закону термодинамики,

$$Q = \Delta U + A, \quad (1)$$

где A – работа, совершаемая газом при изобарном процессе,

$$A = p \cdot \Delta V, \quad (2)$$

ΔU – изменение внутренней энергии двухатомного газа

$$\Delta U = \frac{5}{2} \nu R \Delta T, \quad (3)$$

ΔV и ΔT – изменение объема и температуры газа при изобарном процессе после сообщения газу количества теплоты Q .

При изобарном процессе

$$p \cdot \Delta V = \nu R \cdot \Delta T. \quad (4)$$

Подставляя (4) в (3), с учетом (2), получим:

$$\Delta U = \frac{5}{2} p \Delta V = \frac{5}{2} A. \quad (5)$$

Решая систему (1), (2) и (5) относительно Q , найдем:

$$Q = \frac{5}{2} A + A = \frac{7}{2} A; \quad Q = \frac{7}{2} \cdot 2 = 7 \text{ кДж}.$$

3.18. Изменение внутренней энергии идеального газа. Идеальный одноатомный газ перешел из состояния 1 в состояние 2 (рис. 3.11). Как изменилась внутренняя энергия газа, если $p_0 = 10^5$ Па, $V_0 = 0,1$ м³?

Дано: $p_0 = 10^5$ Па, $V_0 = 0,1$ м³,
 $p_1 = 3p_0$, $p_2 = p_0$, $V_1 = 3V_0$, $V_2 = V_0$.

Определить ΔU .

Решение. Изменение внутренней энергии газа как функции состояния системы зависит только от начальной и конечной температуры газа. Для одноатомного газа

$$\Delta U = \frac{3}{2} \nu R (T_2 - T_1) = \frac{3}{2} (p_2 V_2 - p_1 V_1).$$

$$\Delta U = \frac{3}{2} (p_2 V_2 - p_1 V_1) = \frac{3}{2} \nu R \left(\frac{p_0 V_0}{\nu R} - \frac{9 p_0 V_0}{\nu R} \right) = -12 p_0 V_0.$$

Выполнив вычисления, получим:

$$\Delta U = -12 \cdot 10^5 \cdot 0,1 = -1,2 \cdot 10^5 = -120 \text{ кДж.}$$

Внутренняя энергия газа уменьшилась на 120 кДж.

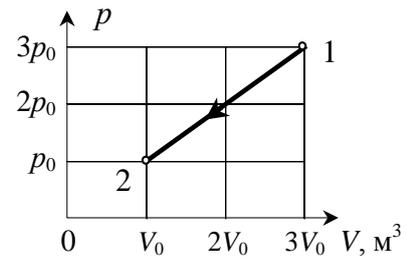


Рис. 3.11

3.19. Закон сохранения энергии в термодинамике. Теплоизолированный сосуд объемом $V = 2$ м³ разделен пористой перегородкой на две равные части. В начальный момент в одной части сосуда находится $\nu_1 = 2$ моль гелия, а в другой – $\nu_2 = 1$ моль аргона. Температура гелия $T_1 = 600$ К, а температура аргона $T_2 = 300$ К. Атомы гелия могут свободно проникать через поры в перегородке, а атомы аргона нет. Определите температуру (в кельвинах) смеси после установления равновесия в системе.

Дано: $V = 2$ м³, $\nu_1 = 2$ моль, $\nu_2 = 1$ моль, $T_1 = 600$ К, $T_2 = 300$ К.

Определить T_0 .

Решение. После установления равновесия температура в обеих частях сосуда становится одинаковой и равной T_0 .

Сосуд теплоизолирован, объем сосуда не изменяется, следовательно, внутренняя энергия газов сохраняется.

Учитывая, что аргон и гелий относятся к одноатомным газам, запишем закон сохранения внутренней энергии

$$\frac{3}{2} R (\nu_1 T_1 + \nu_2 T_2) = \frac{3}{2} R (\nu_1 + \nu_2) T_0.$$

Отсюда

$$T_0 = \frac{\nu_1 T_1 + \nu_2 T_2}{\nu_1 + \nu_2} = 500 \text{ К.}$$

3.20. Работа, совершаемая газом за цикл. Один моль гелия совершает цикл, изображенный на pV -диаграмме (рис. 3.12). Участок 1–2 – изотерма, 2–3 – изобара, 3–1 – адиабата. Работа, совершаемая газом за цикл, равна A . Разность температур между состояниями 1 и 3 составляет ΔT . Какую работу совершает газ в изотермическом процессе?

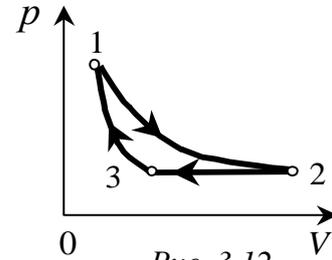


Рис. 3.12

Дано: A , $\Delta T = T_1 - T_3$, $\nu = 1$ моль.

Определить A_{12} .

Решение. Работа газа за цикл равна алгебраической сумме работ на всех трех участках цикла

$$A = A_{12} + A_{23} + A_{31}.$$

Работа газа при изотермическом процессе 1 – 2 равна:

$$A_{12} = A - A_{23} - A_{31}. \quad (1)$$

Определим, используя первый закон термодинамики, работу газа при адиабатном сжатии (процесс 3 – 1)

$$Q_{31} = \Delta U_{31} + A_{31}.$$

Так как при адиабатном процессе $Q_{31} = 0$, то

$$A_{31} = -\Delta U_{31} = -(U_1 - U_3) = -\frac{3}{2} \nu R (T_1 - T_3). \quad (2)$$

Работа газа при изобарном сжатии (процесс 2-3)

$$A_{23} = p (V_3 - V_2)$$

или

$$A_{23} = \nu R (T_3 - T_2) = -\nu R (T_2 - T_3). \quad (3)$$

Работа $A_{23} < 0$ и $A_{31} < 0$, так как в процессах 2 – 3 и 3 – 1 газ сжимают, т.е. работа совершается над газом.

Подставляя (2) и (3) в (1) и учитывая, что процесс 1 – 2 изотермический ($T_1 = T_2$), получим:

$$A_{12} = A + \frac{3}{2} \nu R (T_1 - T_3) + \nu R (T_1 - T_3) = A + \frac{5}{2} \nu R (T_1 - T_3) = A + \frac{5}{2} \nu R \Delta T.$$

Примечание. $A_{12} > 0$, так как в процессе 1 – 2 работа совершается газом при его расширении.

3.21. Первый закон термодинамики. Один моль идеального одноатомного газа сначала охладил, а затем нагрели до первоначальной температуры 300 К, увеличив объем газа в 3 раза (рис. 3.13). Какое количество теплоты (в джоулях) отдал газ на участке 1 – 2?

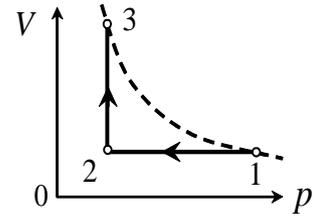


Рис. 3.13

Дано: $\nu = 1$ моль, $T_1 = T_3 = 300$ К, $V_3 = 3V_1$, $V_1 = V_2$.

Определить Q_{12} .

Решение. По первому закону термодинамики, количество теплоты, полученное газом, равно:

$$Q_{12} = \Delta U_{12} + A_{12}, \quad (1)$$

где ΔU_{12} и A_{12} – изменение внутренней энергии и работа газа при переходе из состояния 1 в состояние 2.

При изохорном процессе

$$A_{12} = 0. \quad (2)$$

Изменение внутренней энергии газа равно:

$$\Delta U_{12} = \frac{3}{2} \nu R (T_2 - T_1), \quad (3)$$

где T_1 и T_2 – начальная и конечная температура газа.

Для определения температуры T_2 запишем закон Гей-Люссака для процесса 2 – 3.

При $p = \text{const}$,

$$\frac{V_3}{T_3} = \frac{V_2}{T_2}, \text{ откуда } T_2 = T_3 \frac{V_2}{V_3}.$$

Учитывая, что, по условию задачи, $T_1 = T_3$, а $V_1 = V_2$, получим

$$T_2 = T_1 \frac{V_1}{V_3}. \quad (4)$$

Решая систему уравнений (1) – (4), найдем:

$$Q_{12} = \frac{3}{2} \nu R T_1 \left(\frac{V_1}{V_3} - 1 \right) = -2493 \text{ Дж}.$$

Количество теплоты Q , отданное газом на участке 1 – 2, равно количеству теплоты Q_{12} , полученному газом, со знаком минус. Следовательно, $Q = 2493$ Дж.

3.22. КПД цикла. Найдите КПД η_2 цикла 1-4-2-1 (рис. 3.14) теплового двигателя, если процессы 1-4 и 2-3 являются изохорными, 4-2 и 3-1 – изобарными, а в процессе 1-2 давление линейно зависит от объема. КПД цикла 1-2-3-1 $\eta_1 = 25\%$.

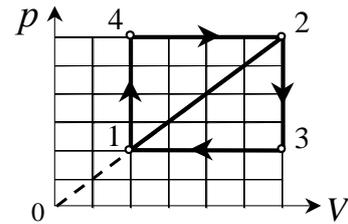


Рис. 3.14

Дано: цикл в pV координатах, $\eta_1 = 25\%$.

Определить η_2 .

Решение. Из рис. 3.8 видно, что работа A за цикл одинакова в циклах 1231 и 1421, так как площади треугольников на pV -диаграмме равны, т.е. $A = A_{1231} = A_{1421}$.

По определению, КПД циклов 1231 и 1421:

$$\eta_1 = \frac{A}{Q_{1231}}; \quad \eta_2 = \frac{A}{Q_{1421}}, \quad (1)$$

где Q_{1231} и Q_{1421} – количество теплоты, полученное газом от нагревателя тепловой машины соответственно в циклах 1-2-3-1 и 1-4-2-1.

В цикле 1-2-3-1 теплота Q подводится только в процессе 1-2, а в цикле 1-4-2-1 в процессах 1-4 и 4-2.

Учитывая эти пояснения, запишем, первое начало термодинамики для циклов 1-2-3-1 и 1-4-2-1, и найдем величины Q_{1231} и Q_{1421} :

$$Q_{1231} = \Delta U_{12} + A_{12}; \quad Q_{1421} = \Delta U_{142} + A_{42}.$$

Увеличение внутренней энергии газа, в обоих циклах одинаково. Для доказательства учитываем, что за цикл $\Delta U = 0$. Поэтому для цикла 1-4-2-1 можно записать $\Delta U_{1421} = \Delta U_{14} + \Delta U_{42} + \Delta U_{21} = 0$. Так как $\Delta U_{21} = -\Delta U_{12}$, то $\Delta U_{142} = \Delta U_{14} + \Delta U_{42} = \Delta U_{12}$.

Тогда

$$Q_{1231} = \Delta U_{12} + A_{12}; \quad Q_{1421} = \Delta U_{12} + A_{42}. \quad (2)$$

Так как $A_{42} = A + A_{12}$ (рис. 3.8), то

$$Q_{1421} = \Delta U_{12} + A + A_{12}. \quad (3)$$

С учетом (1) – (3) составим систему уравнений:

$$\eta_1 = \frac{A}{\Delta U_{12} + A_{12}}; \quad (4)$$

$$\eta_2 = \frac{A}{\Delta U_{12} + A_{12} + A}. \quad (5)$$

Решая систему уравнений (4) – (5) относительно η_2 , получим:

$$\eta_2 = \frac{\eta_1}{1 + \eta_1} = \frac{0,25}{1 + 0,25} = 0,2; \quad \eta_2 = 20\%.$$

Задачи для самостоятельного решения

3.1.

3.1.1. Пузырьки воздуха, поднимаясь в воде вверх, увеличиваются в объеме. Увеличится (1), уменьшится (2) или не изменится (3) сила Архимеда действующая на пузырьки? Ответ обоснуйте. [1]

3.1.2. Справедлив (1) или нет (2) закон Паскаля на искусственном спутнике Земли в условиях невесомости? Ответ обоснуйте. [1]

3.1.3. Применимо (1) или нет (2) понятие температуры к одной молекуле? Ответ обоснуйте. [2]

3.1.4. Может (1) или не может (2) быть отрицательной термодинамическая температура? Ответ обоснуйте. [2]

3.1.5. Увеличится (1), уменьшится (2) или не изменится (3) давление идеального газа при увеличении его температуры и объема в 2 раза, если масса газа не меняется? Ответ обоснуйте. [3]

3.1.6. Необходимо увеличить (1), уменьшить (2) или оставить без изменения (3) температуру газа, для того чтобы плотность идеального газа увеличилась при постоянном давлении? Ответ обоснуйте. [2]

3.1.7. Воздух состоит из азота, кислорода, водорода и других газов. Одинакова (1) или нет (2) средняя квадратичная скорость молекул этих газов при одной и той же температуре? Ответ обоснуйте. [2]

3.1.8. Во сколько раз уменьшится средняя квадратичная скорость теплового движения молекул при уменьшении абсолютной температуры газа в 4 раза? Ответ обоснуйте. [В 2 раза]

3.1.9. Газ в баллоне подняли на высоту h . Увеличится (1), уменьшится (2) или не изменится (3) внутренняя энергия газа? Ответ обоснуйте. [3]

3.1.10. Внутренняя энергия одного моля молекулярного водорода (1) или гелия (2) больше при одинаковых условиях? Ответ обоснуйте. [1]

3.1.11. Одинакова (1) или нет (2) внутренняя энергия 1 кг воды и 1 кг пара при 100 °С? Ответ обоснуйте. [2]

- 3.1.12.** Увеличится (1), уменьшится (2) или не изменится (3) внутренняя энергия идеального газа при его адиабатном расширении? Ответ обоснуйте. [2]
- 3.1.13.** Увеличится (1), уменьшится (2) или не изменится (3) температура газа при его адиабатическом сжатии? Ответ обоснуйте. [1]
- 3.1.14.** Увеличится (1), уменьшится (2) или не изменится (3) внутренняя энергия тела при его плавлении? Ответ обоснуйте. [1]
- 3.1.15.** При резком сжатии поршнем газа в цилиндре объем его уменьшился в 5 раз. Во сколько раз увеличится давление газа: в 5 раз (1) или более чем в 5 раз (2)? Ответ обоснуйте. [2]
- 3.1.16.** Одинаковое (1) или нет (2) количество теплоты необходимо для нагревания газа до одной и той же температуры в сосуде с поршнем, если: а) поршень не перемещается б) поршень легко перемещается? Ответ обоснуйте. [2]
- 3.1.17.** В каком случае газом совершается бóльшая работа – при изобарном (1) или изотермическом (2) расширении от объема V_1 до объема V_2 ? Ответ обоснуйте. [1]
- 3.1.18.** Смешали три жидкости одинаковой массы и удельной теплоемкости, но разной температуры ($T_1 = 300$ К, $T_2 = 350$ К, $T_3 = 400$ К). Какая установится температура смеси? Ответ представьте в единицах СИ. [350]
- 3.1.19.** Можно (1) или нет (2) заставить воду кипеть, не нагревая её? Ответ обоснуйте. [1]
- 3.1.20.** Увеличится (1), уменьшится (2) или не изменится (3) давление насыщенного пара при его изотермическом сжатии? Ответ обоснуйте. [3]
- 3.1.21.** Давление насыщенного (1) или ненасыщенного (2) пара растет быстрее при увеличении температуры? Ответ обоснуйте. [1]
- 3.1.22.** Будет увеличиваться (1), уменьшаться (2) или не изменится (3) абсолютная влажность в теплом помещении, если открыть форточку в холодный, дождливый осенний день? Ответ обоснуйте. [2]
- 3.1.23.** Увеличивается (1), уменьшается (2) или не изменяется (3) относительная влажность воздуха в закрытом помещении при повышении температуры? Ответ обоснуйте. [2]

3.1.24. Увеличится (1), уменьшится (2) или не изменится (3) температура в комнате, если в этой комнате включить холодильник, а его дверцу оставить открытой? Ответ обоснуйте. [1]

3.1.25. Чтобы вода при комнатной температуре в полной до краев чашке с плотно закрытой крышкой быстрее остыла, надо ее поставить на лед (1) или положить лед на крышку (2)? [2]

3.2.

3.2.1. Напишите формулу, по которой можно вычислить гидростатическое давление p воды на глубине h . Постройте график зависимости давления p от глубины h .

3.2.2. Дан график (рис. 3.15) зависимости выталкивающей силы F , действующей на погруженное в жидкость тело, от объема тела V (плотность жидкости постоянна). Напишите формулу, выражающую эту зависимость.

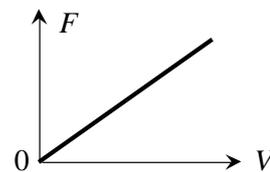


Рис. 3.15

3.2.3. Напишите формулу, по которой можно вычислить силу Архимеда, действующую на тело, полностью погруженное в жидкость. Нарисуйте график зависимости этой силы от плотности жидкости.

3.2.4. Для некоторого газа постоянной массы даны графики изотермических процессов, происходящих при различных температурах (рис. 3.16). Какой из графиков соответствует процессу, протекающему при более высокой температуре? Ответ обоснуйте. [3]

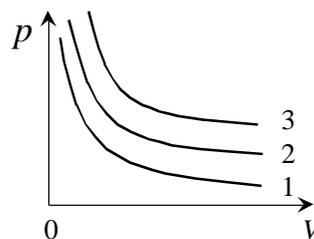


Рис. 3.16

3.2.5. На рис. 3.17 приведены графики изохорических процессов для некоторого газа постоянной массы, протекающих в сосудах различных объемов. Какой из этих графиков соответствует процессу, протекающему в сосуде наименьшего объема? Ответ обоснуйте. [1]

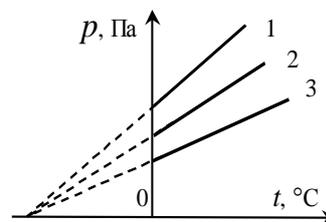


Рис. 3.17

3.2.6. На рис. 3.18 представлены два изохорных процесса для одного и того же газа. Определите, объем какого сосуда с газом V_1 или V_2 больше и во сколько раз? Считать, что массы газа в обоих сосудах одинаковы. Ответ обоснуйте. [$V_2 > V_1$ в 2 раза]

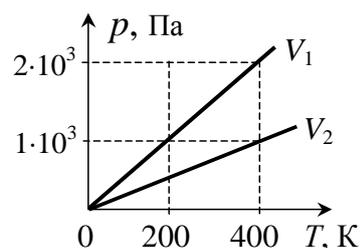


Рис. 3.18

3.2.7. На рис. 3.19 представлен циклический процесс изменения состояния идеального газа. Объясните, в каких точках объем идеального газа имеет одинаковые значения при различных значениях давления и температуры? Ответ обоснуйте. [2, 4]

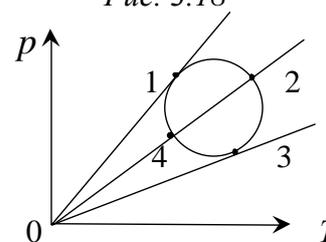


Рис. 3.19

3.2.8. Для некоторой постоянной массы газа даны графики изменения объема в зависимости от температуры при изобарных процессах (рис. 3.20). Какой из графиков соответствует процессу, протекающему при более высоком давлении? Ответ обоснуйте. [3]

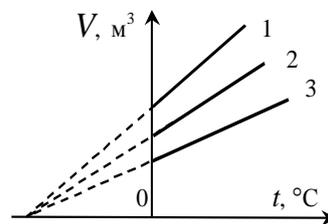


Рис. 3.20

3.2.9. Два различных состояния одной и той же массы газа изображены точками 1 и 2, рис. 3.21. Какая из точек 1 или 2 соответствует большему давлению? Ответ обоснуйте. [2]

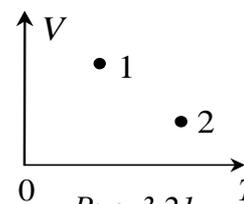


Рис. 3.21

3.2.10. Зависимость давления идеального газа от его объема представлена на p - V диаграмме (рис. 3.22). Как изменялась температура газа при увеличении его объема в 2 раза? Масса газа в ходе процесса оставалась постоянной. Ответ обоснуйте. [Увел. в 4 раза]

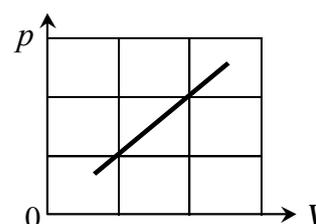


Рис. 3.22

3.2.11. На рис. 3.23 представлены две изохоры для одной и той же массы идеального газа. Как относятся объемы газа V_1/V_2 , если углы наклона изохор к оси абсцисс равны α_1 и α_2 . Ответ обоснуйте. [$V_1/V_2 = \text{tg}\alpha_2/\text{tg}\alpha_1$]

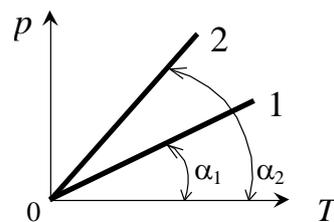
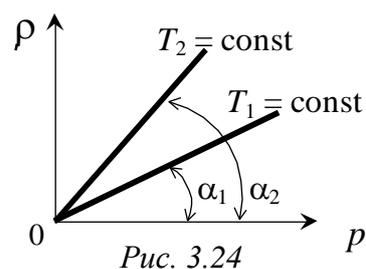


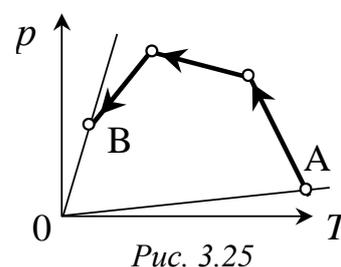
Рис. 3.23

3.2.12. Нарисуйте на p - T диаграмме две изохоры 1 и 2, соответствующие разным массам m_1 и m_2 одного и того же газа, занимающего один и тот же объем. Ответ обоснуйте.

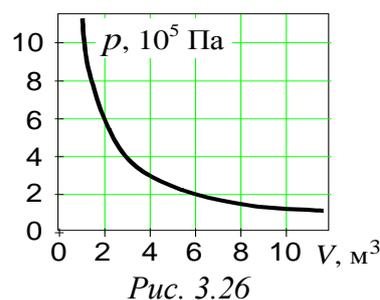


3.2.13. На рис. 3.24 представлены два графика зависимости плотности ρ газа от давления в изотермическом процессе. Как относятся плотности ρ_1/ρ_2 , если углы наклона графиков к оси абсцисс равны α_1 и α_2 ? Ответ обоснуйте. [$\rho_1/\rho_2 = \text{tg}\alpha_1/\text{tg}\alpha_2$]

3.2.14. В сосуде находится идеальный газ. Процесс изохорного изменения состояния газа показан на диаграмме (рис. 3.25). Увеличивается (1), уменьшается (2) или не изменяется (3) масса газа при его переходе из состояния А в состояние В? [1]

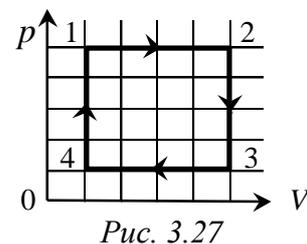


3.2.15. Пользуясь графиком зависимости давления неона от объема при изотермическом процессе (рис. 3.26), определите массу неона. Температура неона равна -3°C . Ответ представьте в единицах СИ и округлите до десятых. [10,7]

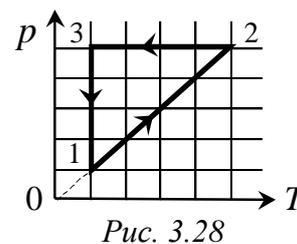


3.2.16. Выведите формулу, по которой можно определить плотность идеального газа. Нарисуйте график зависимости плотности идеального газа от температуры при изобарном процессе.

3.2.17. На p - V диаграмме показан цикл тепловой машины, рабочим телом которой является идеальный газ (рис. 3.27). Изобразите этот процесс в координатах V, T .



3.2.18. На p - T диаграмме показан цикл тепловой машины, рабочим телом которой является идеальный газ (рис. 3.28). Изобразите этот процесс в координатах V, T .



3.2.19. На p – V диаграмме показан цикл тепловой машины, рабочим телом которой является идеальный газ (рис. 3.29). Участок CD соответствует изотерме. Изобразите этот процесс в координатах V, T .

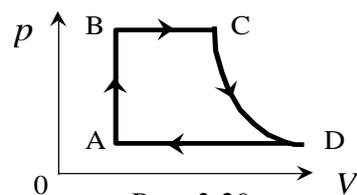


Рис. 3.29

3.2.20. На V – T диаграмме показан цикл тепловой машины, рабочим телом которой является идеальный газ (рис. 3.30). Изобразите этот процесс в координатах p, V .

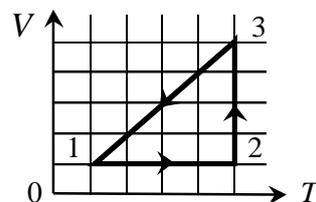


Рис. 3.30

3.2.21. На p – T диаграмме показан цикл тепловой машины, у которой рабочим телом является идеальный газ (рис. 3.31). Изобразите этот процесс в координатах p, V .

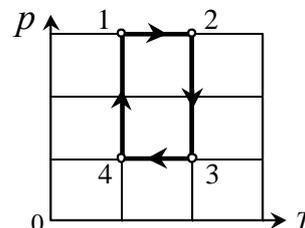


Рис. 3.31

3.2.22. На рис. 3.32 приведены графики изменения температуры двух тел (1 и 2) при их нагревании. Какое тело: 1 или 2 имеет большую теплоемкость? Ответ обоснуйте. [1]

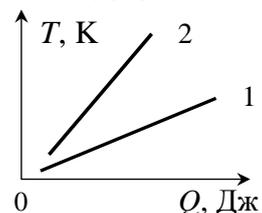


Рис. 3.32

3.2.23. На рис. 3.33 приведены графики изменения температуры трех разных первоначально кристаллических тел одинаковой массы от количества тепла Q , подведенного к телу. Удельная теплота плавления какого тела (1, 2 или 3) наибольшая? Ответ обоснуйте. [1]

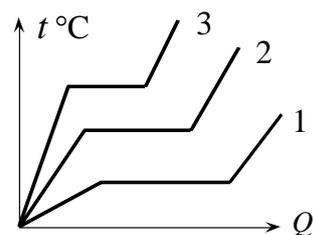


Рис. 3.33

3.2.24. На рис. 3.34 показан график зависимости температуры t от времени нагревания и охлаждения τ кристаллического вещества. Какая точка на графике соответствует началу отвердевания вещества? Ответ обоснуйте. [5]

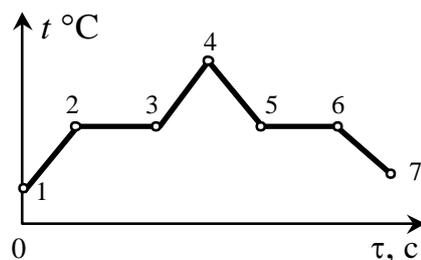


Рис. 3.34

3.2.25. На pV -диаграмме (рис. 3.35) показано, как изменялось давление газа при его переходе из состояния 1 в состояние 3. Каково отношение работ газа A_{12}/A_{23} в процессах 1 – 2 и 2 – 3? [1/2]

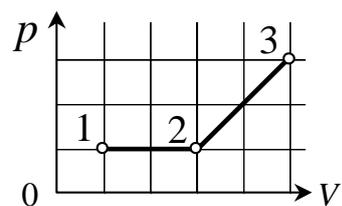


Рис. 3.35

3.3.

3.3.1. Тело полностью погружено сначала в воду, а затем в керосин. Во сколько раз выталкивающая сила, действующая на тело в воде, больше, чем в керосине? [1,25]

3.3.2. Во сколько раз увеличилось число молей газа, если его масса увеличилась в 3 раза? Ответ обоснуйте. [3]

3.3.3. При переходе определенной массы газа из одного состояния в другое его давление уменьшилось в 4 раза, а температура увеличилась в 6 раз. Во сколько раз увеличился объем газа? Ответ обоснуйте. [24]

3.3.4. Как изменился объем одноатомного идеального газа в процессе 1 – 2, изображенном на $p-T$ диаграмме, рис. 3.36? Ответ обоснуйте. [Уменьшится в 4 раза]

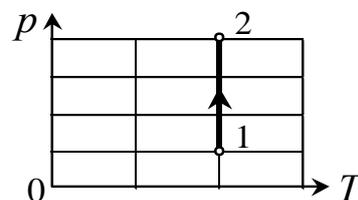


Рис. 3.36

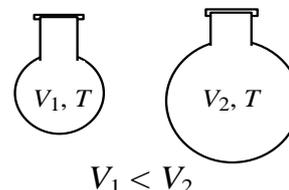
3.3.5. Имеется цилиндр с газом. При помощи поршня газ сжимают от объема V_1 до объема V_2 в 1-м случае изотермически, во 2-м – изобарно. В каком случае: 1-м или 2-м конечное давление газа будет больше и во сколько раз? Ответ обоснуйте. [1 в V_1/V_2]

3.3.6. Имеются два сосуда одинакового объема. В сосуде 1 находится молекулярный водород, в сосуде 2 находится гелий. Давление и температура газов в сосудах одинаковы. В каком из сосудов 1 или 2 плотность газа больше и во сколько раз? Ответ обоснуйте. [$p_2/p_1 = 2$]

3.3.7. Герметично закрытая колба до половины заполнена водой. Воду в колбе нагрели до кипения, и вся вода превратилась в пар. Во сколько раз плотность водяных паров меньше плотности воды? Ответ обоснуйте. [2]

3.3.8. Два сосуда равной емкости наполнены газом: первый – при температуре 300 К, второй – 900 К. При этом давление во втором сосуде в 2 раза больше, чем в первом. Одинакова (1) или нет (2) масса газа в сосудах? [2]

3.3.9. В сосудах, изображенных на рис. 3.37, заключены одинаковые массы газа при одинаковой температуре. В каком из сосудов (1 или 2) давление газа меньше? Ответ обоснуйте. [2]



$$V_1 < V_2$$

Рис. 3.37

3.3.10. На рис. 3.38 изображены два баллона с воздухом. Давление и объем газов в баллонах одинаковы. В каком из баллонов (1 или 2) плотность газа больше, если $T_1 > T_2$? Ответ обоснуйте. [2]

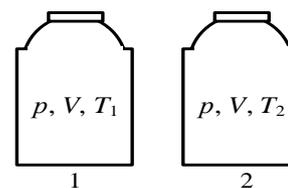


Рис. 3.38

3.3.11. Как изменится средняя кинетическая энергия теплового движения молекул идеального газа при увеличении абсолютной температуры газа в 3 раза? Ответ обоснуйте. [Увеличится в 3 раза]

3.3.12. Температура газа, находящегося в герметически закрытом сосуде под подвижным поршнем, повысилась от 300 К до 600 К. Во сколько раз изменится концентрация молекул газа в сосуде, если давление в сосуде оставить прежним? Ответ обоснуйте. [Уменьшится в 2 раза]

3.3.13. Во сколько раз средняя квадратичная скорость молекул кислорода меньше средней квадратичной скорости молекул водорода при одинаковой температуре этих газов? Ответ обоснуйте. [4]

3.3.14. Во сколько раз увеличится средняя квадратичная скорость теплового движения молекул при возрастании температуры газа от 0 °С до +200 °С? Ответ округлите до десятых. [1,3]

3.3.15. Как изменится давление газа при увеличении средней квадратичной скорости молекул идеального газа в два раза и уменьшении концентрации молекул в два раза? Ответ обоснуйте. [Увеличится в 2 раза]

3.3.16. Во сколько раз увеличится средний импульс молекулы идеального газа при увеличении абсолютной температуры газа в 4 раза? [2]

3.3.17. На сколько изменится внутренняя энергия тела массой 10 кг, если телу передать количество теплоты 100 Дж и поднять его на 10 м над поверхностью Земли? Ответ представьте в единицах СИ. [100]

3.3.18. На сколько изменится внутренняя энергия тела массой 10 кг, если ему передать количество теплоты 100 Дж и поднять его на 10 м над поверхностью земли? [100]

3.3.19. Определить массу $6 \cdot 10^{26}$ молекул гелия. Ответ представьте в единицах СИ. [4]

3.3.20. В некотором процессе газу сообщено 800 Дж теплоты, а его внутренняя энергия уменьшилась на 200 Дж. Какую работу совершил газ в этом процессе? Ответ представьте в единицах СИ. [1000]

3.3.21. В идеальной тепловой машине отношение температуры нагревателя к температуре холодильника равно 2. Чему равно отношение теплоты, переданной машиной холодильнику, к теплоте, полученной машиной от нагревателя? Ответ обоснуйте. [0,5]

3.3.22. Во сколько раз число молекул в 1 моле гелия меньше числа молекул в 1 моле воды? Ответ обоснуйте. [1]

3.3.23. Во сколько раз число атомов в 1 моле гелия меньше числа атомов в 1 моле воды? Ответ обоснуйте. [3]

3.3.24. На рис. 3.39 представлен график зависимости давления пара от температуры при нагревании жидкости в закрытом сосуде. На каком участке (1 – 2 или 2 – 3) пар является насыщенным? Ответ обоснуйте. [1 – 2]

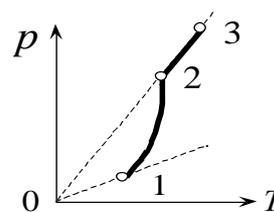


Рис. 3.39

3.3.25. Металлическую пластину держат высоко над пламенем свечи (рис. 3.40). Нагревание пластины в точке А можно объяснить переносом энергии от пламени к поверхности пластины: в основном путем теплопроводности (1), в основном путем конвекции (2), в основном путем лучистого теплообмена (3). Ответ обоснуйте. [2]

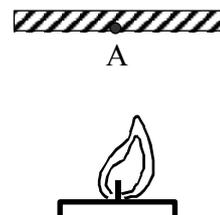


Рис. 3.40

3.4.

3.4.1. На полностью погруженное в жидкость тело объемом $0,08 \text{ м}^3$ действует выталкивающая сила 640 Н . Какова плотность жидкости? Ответ представьте в единицах СИ. [800]

3.4.2. Какой высоте ртутного столба соответствует давление $5,4 \cdot 10^4 \text{ Па}$? Ответ представьте в единицах СИ и округлите до десятых. [0,4]

3.4.3. В стакан до краев налита вода. Определите массу воды, которая выльется из стакана, если в него опустить на нити тело массой 20 г , плотность которого меньше плотности воды. Ответ представьте в граммах. [20]

3.4.4. Масса одной молекулы газа равна $5,4 \cdot 10^{-26} \text{ кг}$. Определите молярную массу газа. Ответ представьте в г/моль и округлите до целого числа. [32]

3.4.5. При какой температуре 1 л воздуха при атмосферном давлении имеет массу 1 г ? Ответ представьте в градусах Цельсия и округлите до десятых. [76,0]

3.4.6. Сколько молекул содержится в 5 см^3 газа при нормальных условиях ($T_0 = 273 \text{ К}$, атмосферное давление $p_0 = 10^5 \text{ Па}$)? Ответ разделите на 10^{20} и округлите до десятых. [1,3]

3.4.7. Водород нагревают от 400 К до 10^5 К , при этом молекулы водорода полностью распадаются на атомы. Во сколько раз изменилось давление водорода, если его объем и масса остались без изменения? [500]

3.4.8. Найдите плотность кислорода при температуре $27 \text{ }^\circ\text{С}$ и давлении $1,6 \cdot 10^5 \text{ Па}$. Ответ представьте в единицах СИ и округлите до сотых. [2,05]

3.4.9. Водитель автомобиля проверяет давление в шинах перед тем как отправиться в продолжительную поездку в жаркий день. Давление равно $2,1 \text{ атм}$ при температуре $22 \text{ }^\circ\text{С}$. После нескольких часов езды он снова проверяет давление и находит, что оно равно $2,5 \text{ атм}$. Какова конечная температура в шинах? Ответ представьте в градусах Цельсия и округлите до целого числа. [78]

3.4.10. Газ находится в баллоне при температуре 300 К и давлении $2 \cdot 10^6$ Па. При какой температуре давление газа в баллоне станет равным $1,8 \cdot 10^6$ Па? Объем газа считать неизменным. Ответ представьте в кельвинах. [270]

3.4.11. Манометр на баллоне с газом, находящемся в помещении с температурой 300 К, показывает давление $2,5 \cdot 10^5$ Па. На улице показание манометра стало равным $2 \cdot 10^5$ Па. Какова температура наружного воздуха? Ответ представьте в единицах СИ. [240]

3.4.12. Газ при 27 °С занимает объем V . До какой температуры его следует изобарно охладить, чтобы объем стал равным $0,5 V$? Ответ представьте в единицах СИ. [150]

3.4.13. Какое давление рабочей смеси устанавливается в цилиндрах автомобиля “Газель”, если к концу такта сжатия температура смеси повышается с 47 °С до 247 °С, а ее объем уменьшается с 0,8 л до 0,13 л? Первоначальное давление смеси равно 80 кПа. Ответ представьте в килопаскалях. [800]

3.4.14. Какое количество теплоты сообщено водороду, совершившему при изотермическом расширении работу 4190 Дж? Ответ представьте в единицах СИ. [4190]

3.4.15. Во сколько раз внутренняя энергия тела $U = 10$ Дж станет больше при изохорической передаче ему количества тепла $Q = 10$ Дж? [2]

3.4.16. Система при адиабатическом процессе совершила работу 10 Дж. На какую величину при этом изменилась внутренняя энергия системы? Под системой в задаче следует понимать идеальный газ. [10]

3.4.17. Газ под поршнем, находясь под давлением 200 кПа, изобарически расширился. При этом была совершена работа 1 кДж. Определите увеличение объема газа. Ответ представьте в литрах. [5]

3.4.18. При какой температуре внутренняя энергия 20 кг аргона составляет $2,493 \cdot 10^6$ Дж? Ответ представьте в единицах СИ. [400]

3.4.19. При конденсации 1 кг пара при атмосферном давлении внутренняя энергия пара уменьшается на $2,1 \cdot 10^6$ Дж, и атмосферное давление совершает работу $0,2 \cdot 10^6$ Дж. Какое количество теплоты выделяется в процессе конденсации пара? Ответ представьте в мегаджоулях. [2,3]

3.4.20. На графике (рис. 3.41) показана зависимость давления идеального одноатомного газа от температуры. Внешние силы совершили работу, равную 6 кДж. Определите количество теплоты, отданное газом в этом процессе. Ответ представьте в килоджоулях. [6]

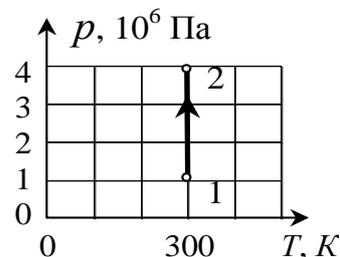


Рис. 3.41

3.4.21. Коэффициент полезного действия идеальной тепловой машины 0,25. Газ получил от нагревателя количество теплоты 480 кДж. Какую работу совершил газ? Ответ представьте в килоджоулях. [120]

3.4.22. Каков КПД идеальной паровой машины, если пар поступает в турбину при температуре 480°C , а выходит из нее при температуре 28°C ? Ответ представьте в процентах и округлите до целого числа. [60]

3.4.23. Идеальная тепловая машина получает от нагревателя количество теплоты, равное 60 кДж, её КПД равен 0,25. Вычислите количество теплоты, отдаваемое холодильнику. Ответ представьте в килоджоулях. [45]

3.4.24. В керамическую чашечку (тигель) насыпали опилки олова. После этого тигель поместили в печь. Диаграмма изменения температуры олова с течением времени показана на рис. 3.42. Печь при постоянном нагреве передавала олову в среднем 500 Дж энергии в минуту. Какое количество теплоты потребовало плавление олова? Ответ представьте в единицах СИ. [1500]

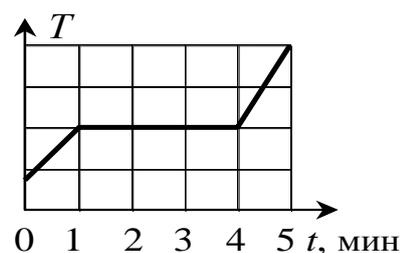


Рис. 3.42

3.4.25. Парциальное давление водяного пара в комнате равно $2 \cdot 10^3$ Па, а давление насыщенного водяного пара при такой же температуре равно $4 \cdot 10^3$ Па. Определите относительную влажность воздуха в комнате. Ответ представьте в процентах. [50]

3.5.

3.5.1. За 1 ч с блюда испарился 1 г воды. Сколько молекул вылетало с поверхности воды за 1 с? Ответ поделите на 10^{18} и округлите до десятых. [9,3]

3.5.2. Из баллона со сжатым кислородом израсходовали при постоянной температуре такое его количество, что давление упало от 9,8 до 7,84 МПа. Какая доля кислорода израсходована? [0,2]

3.5.3. Определите плотность газа в колбе газонаполненной электрической лампы накаливания, если молекулы газа производят на стенку колбы давление 80 кПа, а средний квадрат скорости поступательного движения молекул равен $2,5 \cdot 10^5 \text{ м}^2/\text{с}^2$. Ответ представьте в единицах СИ. [0,96]

3.5.4. Какова плотность гелия при температуре 127 °С и давлении 8,31 кПа? Ответ представьте в единицах СИ. [0,01]

3.5.5. Характерные значения концентрации атомов и температуры в облаках атомарного межзвездного газа равны соответственно 10 см^{-3} и 100 К. Газовая среда между облаками значительно разреженнее: один атом в среднем приходится на 10 см^3 , а температура равна 10^4 К . Каково отношение давлений газа в облаках и межоблачной среде? Химический состав этих двух сред одинаков. [1]

3.5.6. До какой температуры нужно нагреть воздух, содержащийся в открытой колбе при 20 °С, чтобы плотность воздуха уменьшилась в 2 раза? Ответ представьте в единицах СИ. [586]

3.5.7. Какова должна быть первоначальная температура газа, чтобы при нагревании на 900 °С средняя квадратичная скорость молекул газа увеличилась вдвое? Ответ представьте в градусах Цельсия и округлите до целого числа. [27]

3.5.8. Во сколько раз изменится давление идеального газа под поршнем (рис. 3.43), если поршень опустится на 1/5 первоначальной высоты? Процесс изотермический. [1,25]

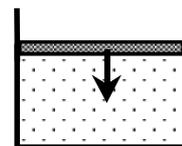


Рис. 3.43

3.5.9. Во сколько раз увеличится давление газа в цилиндре, если поршень медленно опустить на $1/3$ высоты цилиндра? Процесс изотермический. [1,5]

3.5.10. Газ находится в сосуде при давлении 2 МПа и температуре $27\text{ }^\circ\text{C}$. Во время нагревания на $50\text{ }^\circ\text{C}$ из сосуда была выпущена половина массы газа. Определите установившееся давление. Ответ представьте в мегапаскалях и округлите до сотых. [1,17]

3.5.11. Газ в сосуде находится под давлением $2 \cdot 10^5$ Па и температуре $127\text{ }^\circ\text{C}$. Определите давление газа после того, как половина массы газа выпущена из сосуда, а температура понижена на $50\text{ }^\circ\text{C}$. Ответ представьте в кПа. [87,5]

3.5.12. Средняя квадратичная скорость молекул некоторого газа 450 м/с . Давление газа 70 кН/м^2 . Найдите плотность газа при этих условиях. Ответ представьте в единицах СИ и округлите до целого числа. [1]

3.5.13. Одна треть молекул азота, масса которого 10 г , распалась на атомы. Сколько всего частиц находится в таком газе? Ответ округлите до второй значащей цифры. [$2,9 \cdot 10^{23}$]

3.5.14. В цилиндре под поршнем находится кислород массой 2 кг . Поршень может передвигаться в цилиндре без трения. Какую работу он совершит, если температура увеличится на 5 К ? Ответ представьте в единицах СИ и округлите до целого числа. [2597]

3.5.15. Чему равна работа, совершенная идеальным газом за один цикл, изображенный на p - V диаграмме (рис. 3.44)? Ответ представьте в единицах СИ. [12]

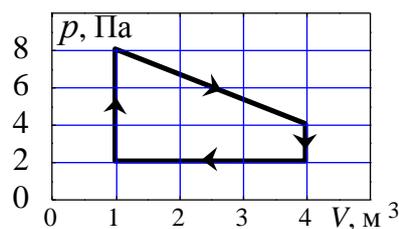


Рис. 3.44

3.5.16. На графике (рис. 3.45) показана зависимость температуры идеального одноатомного газа от объема. Какую работу совершает 1 моль газа в процессе 1–2? Ответ представьте в единицах СИ. [2493]

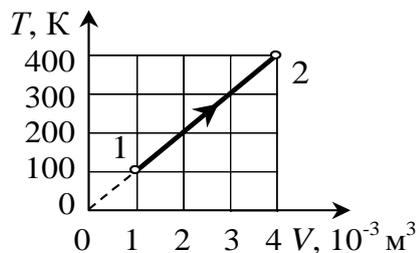


Рис. 3.45

3.5.17. Вычислите работу, совершаемую одним молем идеального одноатомного газа при изобарном нагревании на 1 К. Ответ представьте в единицах СИ. [8,31]

3.5.18. При адиабатическом расширении двух молей одноатомного газа его температура понизилась на 100 °С. Определите работу, совершенную газом. Ответ представьте в единицах СИ. [2493]

3.5.19. Чтобы нагреть воздух в закрытой комнате объёмом 60 м³ на 5 К, потребовалось 387 кДж тепла. Плотность воздуха 1,29 кг/м³. Чему равна удельная теплоемкость воздуха? Ответ представьте в единицах СИ. [1000]

3.5.20. В сосуд с водой бросают кусочки тающего льда, при непрерывном помешивании, вначале кусочки льда тают, но в некоторый момент лед перестает таять. Первоначальная температура воды 20 °С. На сколько процентов увеличилась первоначальная масса воды? Ответ выразите в процентах и округлите до целых. Теплоемкостью сосуда и теплообменом с окружающей средой пренебречь. [25]

3.5.21. Идеальный газ, совершающий цикл Карно, 60 % количества теплоты, полученного от нагревателя, отдает холодильнику. Температура холодильника 7 °С. Определите температуру нагревателя. Ответ представьте в единицах СИ и округлите до целого числа. [467]

3.5.22. В идеальном тепловом двигателе абсолютная температура нагревателя в 3 раза больше абсолютной температуры холодильника. Нагреватель передал газу 40 кДж теплоты. Какую работу совершил газ? Ответ представьте в килоджоулях и округлите до целого числа. [27]

3.5.23. Тепловоз в течение 1 ч производит работу 8 ГДж. За это время он расходует 800 кг дизельного топлива, удельная теплота сгорания которого $4 \cdot 10^7$ Дж/кг. Определите в процентах КПД двигателя тепловоза. [25]

3.5.24. При обработке на шлифовальном станке стальной детали массой 10 кг была совершена работа 230 кДж. 40 % этой работы пошло на нагревание детали. На сколько нагрелась деталь? Ответ представьте в градусах Цельсия. [20]

3.5.25. В закрытом сосуде находится воздух при температуре $87\text{ }^{\circ}\text{C}$ и относительной влажности 40% . Парциальное давление водяного пара $1,662\text{ кПа}$. Определите абсолютную влажность (плотность) насыщенного пара при данной температуре. Ответ представьте в единицах СИ. [0,025]

3.6.

3.6.1. В цилиндрическое ведро диаметром 20 см налита вода, занимающая объем $12,56\text{ л}$. Каково давление воды на стенку ведра на высоте 10 см от дна? Ответ представьте в атмосферах [1,03]

3.6.2. Два одинаковых вертикальных сообщающихся сосуда заполнены водой и закрыты легкими поршнями. На какую высоту относительно начального положения поднимется правый поршень после установления равновесия, если на левый поршень поставить груз массой 3 кг ? Площадь каждого поршня 200 см^2 . Ответ представьте в сантиметрах. [7,5]

3.6.3. Металлический стержень, к верхнему торцу которого прикреплен пружинный динамометр, медленно погружают в цилиндрический сосуд с водой. Площадь поперечного сечения сосуда 20 см^2 . Определите, на сколько изменится показание динамометра в тот момент, когда уровень воды в сосуде поднимется на высоту 10 см . Ответ представьте в единицах СИ. [2]

3.6.4. Однородный шарик массой 60 г лежит на дне пустого стакана. В стакан наливают жидкость так, что шарик полностью погружается в жидкость. Плотность жидкости в 3 раза меньше плотности материала шарика. Найдите силу давления шарика на дно стакана. Ответ представьте в единицах СИ. [0,4]

3.6.5. Однородный шарик массой 60 г лежит на дне пустого стакана. В стакан наливают жидкость так, что объем погруженной в жидкость части объема шарика в 6 раз меньше его общего объема. Плотность жидкости в 3 раза больше плотности материала шарика. Найдите силу давления шарика на дно стакана. Ответ представьте в единицах СИ. [0,3]

3.6.6. Вес тела в воде в четыре раза меньше, чем в воздухе. Какова его плотность? Плотностью воздуха пренебречь. Ответ представьте в единицах СИ и округлите до целого числа. [1333]

3.6.7. Тело в воздухе весит 5 Н, а в воде 3 Н. Чему равна плотность тела? Плотностью воздуха пренебречь. Ответ представьте в тоннах на кубический метр. [2,5]

3.6.8. Камень массой 10 кг падает в воде с постоянной скоростью. Чему равна сила сопротивления воды этому движению? Плотность камня 2500 кг/м³. Ответ представьте в единицах СИ. [60]

3.6.9. Какова полная масса земной атмосферы? Ответ выразите в 10¹⁸ кг и округлите до целых. [5]

3.6.10. Во сколько раз увеличится подъемная сила воздушного шара, если наполнявший его гелий заменить водородом? Весом оболочки воздушного шара пренебречь. Газ внутри шара находится при нормальном атмосферном давлении. Ответ округлите до десятых. [1,1]

3.6.11. Атмосфера Венеры почти полностью состоит из углекислого газа CO₂. Температура его у поверхности планеты 500 °С, а давление – примерно 100 атм. Какой объем должен иметь исследовательский зонд массой 1 т, чтобы плавать в нижних слоях атмосферы Венеры? Ответ представьте в единицах СИ и округлите до целого числа. [15]

3.6.12. В баллоне емкостью 0,03 м³ находится водород при температуре 250 К, при этом манометр показывает давление газа 831 кПа. После того, как часть водорода из баллона вытекла, его нагрели и при температуре 300 К манометр показал то же самое давление. Определите, какая масса газа вытекла. Ответ представьте в граммах и округлите до целого числа. [4]

3.6.13. Два сосуда соединены тонкой трубкой с краном. В одном сосуде находится 1,5 л азота под давлением 4,0 Па, в другом 3 л кислорода при давлении 2,5 Па. Какое установится давление в сосудах, если открыть кран? Температура газа постоянна. Ответ представьте в единицах СИ. [3]

3.6.14. Определите начальную температуру газа, находящегося в закрытом баллоне, если его давление увеличилось на 0,4 % от начального при нагревании на 1 К. Ответ представьте в единицах СИ. [250]

3.6.15. В сосуде находится озон при температуре 527 °С. Через некоторое время он полностью превратился в кислород, а температура в сосуде упала до 127 °С. На сколько процентов изменилось при этом давление газа? [Уменьшилось на 25 %]

3.6.16. Давление воздуха внутри бутылки, закрытой пробкой, равно 0,1 МПа при температуре 7 °С. До какой температуры нужно нагреть бутылку, чтобы пробка вылетела? Без нагревания пробку можно вынуть, прикладывая к ней силу 10 Н. Сечение пробки 2 см². Ответ представьте в единицах СИ. [420]

3.6.17. Баллон, наполненный воздухом при нормальных условиях ($T_0 = 273$ К, атмосферное давление $p_0 = 10^5$ Па), закрыт клапаном площадью 10 см² и весом 200 Н. До какой температуры нужно нагреть воздух в баллоне, чтобы он открыл клапан? Ответ представьте в единицах СИ. [819]

3.6.18. Газ находится под поршнем в горизонтальном цилиндрическом сосуде. Поршень может передвигаться в цилиндре без трения. Атмосферное давление равно 10⁵ Па. Объем газа 50 л. С какой силой нужно подействовать на поршень, чтобы объем газа уменьшился до 10 л? Площадь поршня 10 см². Сжатие газа изотермическое. Ответ представьте в единицах СИ. [400]

3.6.19. Относительная влажность воздуха в закрытом сосуде 90 %. Какой будет относительная влажность, если объем сосуда при неизменной температуре увеличить в 1,5 раза? Ответ представьте в процентах. [60 %]

3.6.20. При температуре 17 °С относительная влажность воздуха в аудитории объемом 100 м³ равна 80 %. Плотность насыщенных паров при данной температуре равна 0,015 кг/м³. Определите массу паров воды в аудитории. Ответ представьте в единицах СИ. [1,2]

3.6.21. В сосуд объема 10 дм³ поставили блюдце, содержащее 1 г воды. После этого сосуд герметически закрыли и оставили при температуре 20 °С, при которой давление насыщенного пара равно 2,33 кПа. Какая часть воды испарится? [0,17]

3.6.22. Для измерения температуры воды массой 10 г используется термометр, который показывал температуру воздуха в помещении, равную 20 °С, а после погружения в воду показал 41 °С. Чему равна температура воды, если теплоемкость термометра составляет 2 Дж/К? Ответ представьте в градусах Цельсия. [42]

3.6.23. Для аквариума смешали 20 кг воды при 8 °С и 6 кг при 60 °С. Определите температуру смеси. Ответ представьте в градусах Цельсия. [20]

3.6.24. При изобарном расширении гелия была совершена работа, равная 500 Дж. Какое количество теплоты было подведено к гелию? Ответ представьте в единицах СИ. [1250]

3.6.25. В цилиндре под поршнем при комнатной температуре находится кислород. Какое количество теплоты при изобарном процессе нужно сообщить газу, чтобы он совершил работу 2 кДж? Ответ выразите в килоджоулях (кДж). [7]

3.7.

3.7.1. В сосуд с квадратным дном площадью 100 см² налита жидкость. Какова высота уровня жидкости в сосуде, если сила давления жидкости на дно равна силе давления на боковую стенку сосуда? Ответ представьте в единицах СИ. [0,2]

3.7.2. Однородное тело плавает на поверхности керосина так, что объем выступающей над поверхностью части тела равен 0,08 всего объема тела. Определите отношение объема погруженной части тела к его полному объему при плавании тела в воде. Ответ округлите до сотых. [0,74]

3.7.3. Высота плоской льдины над уровнем океана 2 м. Определите толщину всей льдины. Плотность морской воды 1030 кг/м³. Ответ представьте в единицах СИ и округлите до целого числа. [16]

3.7.4. В воде с глубины 10 м поднимают на поверхность камень объемом 0,5 м³. Плотность камня 2,8·10³ кг/м³. Найдите минимальную работу по подъему камня. Ответ представьте в килоджоулях. [90]

3.7.5. Резиновая камера содержит воздух при температуре 27 °С и нормальном атмосферном давлении 1·10⁵ Па. На какую глубину нужно погрузить камеру в воду, чтобы ее объем уменьшился в два раза? Температура воды 4 °С. Ответ представьте в единицах СИ и округлите до десятых. [8,5]

3.7.6. Резиновый шар содержит 2 м^3 воздуха при температуре $27 \text{ }^\circ\text{C}$. Какой объем займет воздух, если шар погрузить в воду на глубину 10 м , где температура воды $17 \text{ }^\circ\text{C}$? Ответ представьте в единицах СИ и округлите до сотых. [0,97]

3.7.7. Тонкостенный резиновый шар массы 50 г наполнен азотом и погружен в озеро на глубину 100 м . Найдите массу азота, если шар находится в положении равновесия. Температура на глубине озера $4 \text{ }^\circ\text{C}$. Натяжением резины пренебречь. Ответ представьте в граммах и округлите до десятых. [0,7]

3.7.8. Стальной полый шар объемом 320 см^3 , плавает в воде так, что половина его погружена в воду. Каков объем полости в шаре? Ответ представьте в кубических сантиметрах. [300]

3.7.9. Воздух внутри оболочки воздушного шара вместимостью 100 м^3 нагревается газовой горелкой до температуры 360 К . Температура окружающего воздуха 300 К . Какова при нормальном атмосферном давлении грузоподъемность этого воздушного шара? Грузоподъемность – это максимальная масса, которую может поднять воздушный шар. Ответ представьте в единицах СИ и округлите до десятых. [19,4]

3.7.10. По газопроводной трубе идет углекислый газ CO_2 под давлением $3,92 \cdot 10^5 \text{ Па}$ при температуре 280 К . Какова средняя скорость движения газа в трубе, если через поперечное сечение трубы, равное 5 см^2 , за время 10 мин протекает газ массой 20 кг ? Ответ представьте в единицах СИ и округлите до целого числа. [9]

3.7.11. В герметически закрытом сосуде объемом 5 л находится только кипящая вода массой 500 г и ее пары при температуре $100 \text{ }^\circ\text{C}$ и атмосферном давлении 10^5 Па . Найдите массу пара. Плотность воды при $100 \text{ }^\circ\text{C}$ считать равной 10^3 кг/м^3 . Ответ представьте в граммах и округлите до десятых. [2,6]

3.7.12. В закрытом сосуде находится воздух и капля воды массой 1 г . Объем сосуда 75 л , давление в нем 12 кПа и температура 290 К . Каким будет давление в сосуде, когда капля испарится? Ответ представьте в килопаскалях и округлите до десятых. [13,8]

3.7.13. Спутник влетел в тень Земли. При этом температура внутри спутника, равная вначале 290 К, понизилась на 1 %, из-за чего давление воздуха уменьшилось на 1 кПа. Определите массу воздуха в спутнике, если его объем $8,31 \text{ м}^3$. Ответ представьте в единицах СИ. [10]

3.7.14. В вертикальном закрытом сосуде (рис. 3.46), площадь основания которого 10^{-3} м^2 , разделенном поршнем массой 1 кг на два отсека, находится газ. Масса газа под поршнем в 9 раз больше, чем над ним. В положении равновесия поршень находится посередине сосуда, а температура газа в обоих отсеках одинакова. Найдите давление газа в отсеках. Ответы представьте в килопаскалях. [1,25; 11,25]

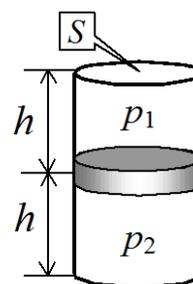


Рис. 3.46

3.7.15. В вертикальном открытом сверху цилиндрическом сосуде (рис. 3.47), имеющем площадь поперечного сечения 10^{-3} м^2 , на высоте 0,1 м от дна находится поршень массой 1 кг, поддерживаемый сжатым кислородом. Температура газа 300 К, атмосферное давление $p_0 = 10^5 \text{ Па}$. Определите массу газа в сосуде под поршнем. Трением пренебречь. Ответ представьте в миллиграммах и округлите до целого числа. [141]

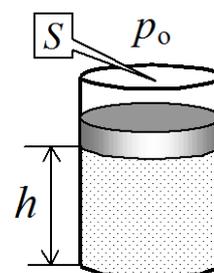


Рис. 3.47

3.7.16. В цилиндре объемом 190 см^3 под поршнем находится газ при температуре 323 К. Найдите (в джоулях) работу расширения газа при его нагревании на 100 К. Масса поршня 120 кг, его площадь 50 см^2 . Ответ округлите до целого числа. [20]

3.7.17. Идеальный одноатомный газ при давлении 1 атм и температуре $0 \text{ }^\circ\text{C}$ занимает объем 1 м^3 . Газ сжимают без теплообмена с окружающей средой, совершая при этом работу равную 150 кДж. Найдите конечную температуру газа. Ответ представьте в единицах СИ. [546]

3.7.18. До какой температуры необходимо изобарно нагреть 700 г азота, находящегося при температуре 291 К, чтобы работа расширения газа оказалась равной $4,15 \cdot 10^4 \text{ Дж}$? Ответ представьте в единицах СИ и округлите до целого числа. [491]

3.7.19. Идеальный одноатомный газ расширяется по закону $pV^2 = \text{const}$ от объема $V_1 = 1 \text{ м}^3$ и давления $p_1 = 10^5 \text{ Па}$ до объема $V_2 = 2 \text{ м}^3$. Определите изменение внутренней энергии газа. Ответ представьте в килоджоулях. [−75]

3.7.20. Вычислите конечные температуру (в кельвинах) и давление (в килопаскалях) одноатомного газа, находящегося в баллоне объемом $1,5 \text{ м}^3$ при температуре 300 К и давлении $1,8 \cdot 10^5 \text{ Па}$, если этому газу сообщено количество теплоты, равное $5,4 \cdot 10^4 \text{ Дж}$. [340; 204]

3.7.21. В цилиндре, закрытом подвижным поршнем, находится воздух, который мог просачиваться сквозь зазор вокруг поршня. В опыте по изобарному расширению воздуха его объем увеличился вдвое, а абсолютная температура возросла в 1,2 раза. Во сколько раз изменилась внутренняя энергия воздуха в цилиндре? (Воздух считать идеальным газом.) [2]

3.7.22. Найдите работу, совершенную молекулярным водородом массой $6,5 \text{ г}$ с начальной температурой 300 К , при изобарном расширении до объема, превышающего первоначальный в два раза. Определите изменение внутренней энергии водорода и сообщенное ему количество теплоты при этом процессе, если удельная теплоемкость водорода при постоянном объеме $c_V = 10400 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$. Ответы представьте в килоджоулях и округлите до десятых. [8,1; 20,3; 28,4]

3.7.23. В латунный калориметр с теплоемкостью $38,6 \text{ Дж}/\text{К}$, содержащий 200 г воды при температуре $20 \text{ }^\circ\text{C}$, опущено стальное тело массой 100 г , нагретое до $100 \text{ }^\circ\text{C}$. Определите температуру воды в сосуде после установления равновесия. Ответ представьте в градусах Цельсия и округлите до целого числа. [24]

3.7.24. В 480 г воды при температуре $22 \text{ }^\circ\text{C}$ бросили кубик льда при температуре $-8 \text{ }^\circ\text{C}$. Какова масса кубика льда, если температура воды установилась $12 \text{ }^\circ\text{C}$? Ответ представьте в единицах СИ. [0,05]

3.7.25. Пусть три 100-граммовых кубика льда с температурой $0 \text{ }^\circ\text{C}$ опущены в термос, в котором находится 500 мл воды при температуре $20 \text{ }^\circ\text{C}$. Какое количество льда растает? Ответ представьте в граммах и округлите до целого числа. [127]

3.7.26. Айсберг массой льда 10^8 кг и температурой -10 °С попадает в Гольфстрим, температура воды в котором равна 20 °С. Какое минимальное количество воды Гольфстрима потребуется для того, чтобы растопить айсберг? Ответ представьте в мегатоннах и округлите до десятых. [0,4]

3.7.27. Воду объемом $4,5$ л можно нагреть до кипения, затратив электрическую энергии $0,5$ кВт·час при начальной температуре воды 23 °С. Найдите КПД нагревателя. Ответ представьте в процентах и округлите до целого числа. [81]

3.7.28. На сколько нагревается стальная болванка массой 1 кг от удара молота массой 100 кг, падающего с высоты $4,6$ м? Болванка поглощает 70 % количества теплоты, выделяющейся при ударе. Ответ представьте в единицах СИ. [7]

3.7.29. Автомобиль расходует $5,67$ кг бензина на 50 км пути. Определите среднюю мощность, развиваемую при этом двигателем автомобиля, если средняя скорость движения 80 км/ч и КПД двигателя 22 %. Ответ представьте в киловаттах и округлите до целого числа. [25]

3.7.30. Относительная влажность воздуха в закрытом сосуде 40 %. Какая часть водяного пара выпадет в виде росы, если объем сосуда при неизменной температуре уменьшить в 3 раза? Ответ представьте в виде правильной арифметической дроби. [1/6]

3.8.

3.8.1. Резиновый мяч массой 200 г и объемом 220 см³ погружают под воду на глубину 3 м и отпускают. На какую высоту (в метрах), считая от поверхности воды, подпрыгнет мяч? Сопротивление воды и воздуха при движении мяча не учитывать. [0,3]

3.8.2. Определите натяжение нити, связывающей два шарика объемом 10 см³ каждый, если верхний шарик плавает, наполовину погружившись в воду (рис.3.48). Масса нижнего шарика в три раза больше массы верхнего шарика. Ответ представьте в миллиньютоннах. [12,5]

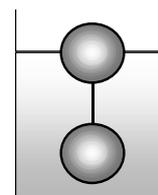


Рис. 3.48

3.8.3. Тонкая палочка шарнирно закреплена одним концом и опущена свободным концом в воду (рис.3.49). Определите плотность палочки, если равновесие достигается, когда в воду погружена половина палочки. Ответ представьте в единицах СИ. [750]

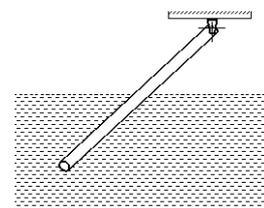


Рис. 3.49

3.8.4. При подъеме с помощью гидравлического пресса груза массой 2 т была совершена работа 5 кДж. Найдите число ходов малого поршня, перемещающегося за один ход на 10 см, если КПД пресса 90 %, а площадь большого поршня больше малого в 100 раз. [225]

3.8.5. В сообщающиеся сосуды, диаметр одного из которых больше диаметра другого в 4 раза, налита ртуть. Затем в сосуд меньшего диаметра сверху налита вода высотой 0,7 м. Определите, на сколько изменятся уровни ртути в каждом из сообщающихся сосудов. Ответы представьте в сантиметрах и округлите до десятых. [0,3; 4,8]

3.8.6. На дне цилиндра, заполненного воздухом при температуре 27 °С, лежит металлический шар массой 5 г и радиусом 2 см. До какого давления необходимо сжать воздух в цилиндре при неизменной температуре, чтобы шар оторвался от дна цилиндра? Ответ представьте в мегапаскалях и округлите до целого числа. [13]

3.8.7. На дне цилиндра с воздухом при атмосферном давлении лежит шарик радиусом 1 см. Сила, с которой шарик действует на дно цилиндра, равна 0,05 Н. До какого давления нужно сжать воздух в цилиндре, чтобы шарик перестал действовать на дно? Температура воздуха постоянна и равна 27 °С. Ответ представьте в мегапаскалях и округлите до целого числа. [103]

3.8.8. Баллон вместимостью 50 л наполнили воздухом при 27 °С до давления 10 МПа. Какой объём воды можно вытеснить из цистерны подводной лодки воздухом из этого баллона, если вытеснение производить на глубине 40 м? Температура после расширения равна 3 °С. Ответ представьте в единицах СИ и округлите до сотых. [0,87]

3.8.9. Воздушный шар диаметром 10 м наполнен водородом при нормальном атмосферном давлении 10^5 Па и температуре 300 К. Масса оболочки шара 200 кг. Какую силу надо приложить к шару для равномерного подъема вверх? Ответ представьте в килоньютонах и округлите до десятых. [3,7]

3.8.10. Определите минимальный объем наполненного водородом шара, который может поднять человека массой 70 кг на высоту 100 м за время 30 с. Общая масса оболочки шара и корзины 20 кг. Плотность воздуха и водорода соответственно равны $1,3 \text{ кг/м}^3$ и $0,1 \text{ кг/м}^3$. Сопротивлением воздуха пренебrecь. Ответ представьте в единицах СИ и округлите до целого числа. [77]

3.8.11. Два сосуда наполнены одним и тем же газом под давлением $4 \cdot 10^5$ Па и $9 \cdot 10^5$ Па массой 0,2 кг и 0,3 кг соответственно. Сосуды соединяют трубкой, объемом которой можно пренебrecь по сравнению с объемами сосудов. Найдите установившееся давление в сосудах, если температура газа в них была одинакова и после установления равновесия увеличилась на 20 %. Ответ представьте в атмосферах и округлите до десятых. [7,2]

3.8.12. Гелий массой 1 кг нагревают так, что его температура, пропорциональная квадрату давления, возрастает от 300 К до 600 К. Определите работу, совершенную газом. Ответ представьте в килоджоулях и округлите до целого числа. [312]

3.8.13. Цилиндр с поршнем содержит газ. Сверху поршень прижат идеальной пружиной. Цилиндр начинают нагревать (рис. 3.50). Объем газа изменяется от V_1 до V_2 , а давление от p_1 до p_2 . Определите совершаемую при этом работу газа. Вычисления провести при следующих параметрах: $p_1 = 1 \cdot 10^5$ Па; $p_2 = 2 \cdot 10^5$ Па; $V_1 = 1$ л; $V_2 = 3$ л. Ответ представьте в единицах СИ. [300]

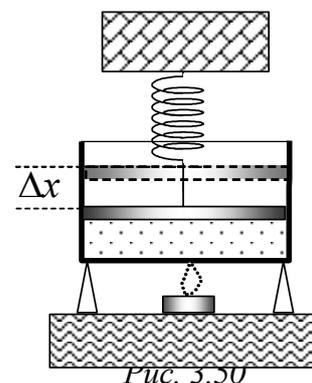


Рис. 3.50

3.8.14. Смесь, состоящую из 5 кг льда и 15 кг воды при общей температуре 0°C , нужно нагреть до температуры 80°C , пропуская через нее водяной пар, нагретый до 100°C . Определите необходимое количество пара. Ответ представьте в единицах СИ и округлите до десятых. [3,5]

3.8.15. В колбе находилась вода при $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, выкачивая из колбы воздух, заморозили всю воду посредством собственного ее испарения. Какая часть воды испарилась при этом, если притока тепла извне не было? Ответ представьте в процентах и округлите до целого числа. [13]

3.8.16. Для плавления 15 кг стали потребовалось израсходовать количество теплоты $2,4 \cdot 10^7\text{ Дж}$. Определите КПД печи, если начальная температура слитка $20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Ответ представьте в процентах и округлите до целого числа. [54]

3.8.17. С какой высоты должен падать оловянный шарик, чтобы при ударе о Землю он полностью расплавился? Считать, что 90% энергии шарика ушло на его нагревание и плавление. Начальная температура шарика $30\text{ }^{\circ}\text{C}$. Сопротивление воздуха не учитывать. Ответ представьте в километрах и округлите до целого числа. [9,6]

3.8.18. В 1 кг воды при температуре $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ поместили 200 г льда при температуре минус $8\text{ }^{\circ}\text{C}$. Какая установилась общая температура? Ответ представьте в градусах Цельсия и округлите до целого числа. [3]

3.8.19. Свинцовая пуля, летящая со скоростью 400 м/с , попадает в стальную плиту и отскакивает от нее со скоростью 300 м/с . Какая часть пули расплавится, если ее температура в момент удара была равна $107\text{ }^{\circ}\text{C}$ и на нагревание пули пошло $0,8$ всей работы, совершаемой при ударе? Ответ округлите до сотых. [0,01]

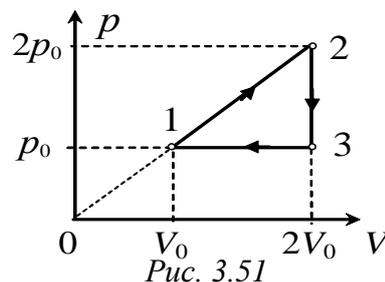
3.8.20. К сосуду, в котором находилось 2 кг воды при $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, было подведено $1,05 \cdot 10^6\text{ Дж}$ теплоты. Определите массу пара, образовавшегося при кипении воды. Теплоемкостью сосуда пренебречь. Ответ представьте в единицах СИ и округлите до сотых. [0,16]

3.8.21. Латунный калориметр, масса которого $0,5\text{ кг}$, содержит 1 кг воды при температуре 293 К . В воду опускают кусок железа массой 1 кг , нагретый до 723 К , при этом некоторое количество воды превращается в пар и покидает калориметр. Установившаяся температура в калориметре 303 К . Определите массу воды, превратившейся в пар. Ответ представьте в граммах и округлите до целого числа. [66]

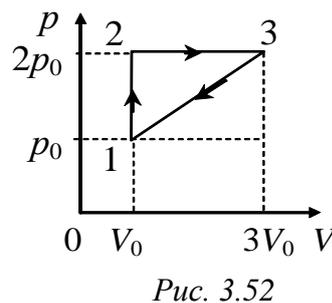
3.8.22. В электрический кофейник налили воду объемом 1 л при температуре 20°C и включили нагреватель. Через какое время после включения выкипит вся вода, если мощность нагревателя равна 1 кВт, КПД нагревателя равен 0,8? Ответ представьте в минутах и округлите до целого числа. [45]

3.8.23. В электрическом чайнике находится вода, имеющая температуру 22°C . После включения чайника вода в нем закипела через 5,0 минут. Через какое время (в минутах) вода полностью испарится после начала кипения? Теплоемкостью чайника пренебречь. [35]

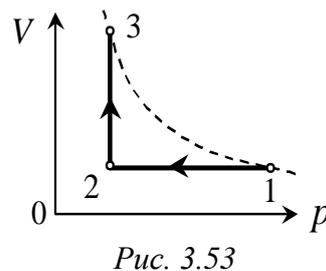
3.8.24. Тепловая машина, рабочим телом которой является 1 моль идеального газа, совершает замкнутый цикл, изображенный на рис. 3.51. Найдите КПД машины. Ответ представьте в процентах и округлите до целого числа. [8]



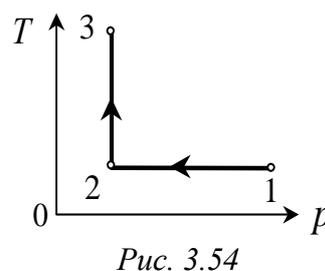
3.8.25. Состояние одноатомного идеального газа изменяется по циклу, представленному рис. 3.52 на pV – диаграмме. Чему равен КПД теплового двигателя, основанного на использовании этого цикла? Ответ представьте в процентах и округлите до десятых. [8,7]



3.8.26. Один моль идеального одноатомного газа сначала охладил, а затем нагрели до первоначальной температуры 300 К, увеличив объем газа в 3 раза (рис. 3.53). Какое количество теплоты отдал газ на участке 1–2? Ответ представьте в килоджоулях и округлите до десятых. [2,5]



3.8.27. Один моль идеального одноатомного газа сначала изотермически расширился ($T_1 = 300\text{ К}$). Затем газ изобарно нагрели, повысив температуру в 3 раза (рис. 3.54). Какое количество теплоты получил газ на участке 2–3? Ответ представьте в килоджоулях и округлите до десятых. [12,5]



3.8.28. На pT – диаграмме показан цикл тепловой машины, у которой рабочим телом является идеальный газ (рис. 3.55). На каком из участков цикла 1–2, 2–3, 3–4, 4–1 работа газа наибольшая по модулю? Ответ обоснуйте. [2–3]

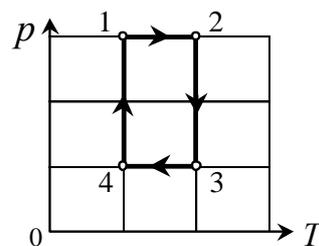


Рис. 3.55

3.8.29. Один моль гелия совершает цикл, изображенный на pV – диаграмме (рис. 3.56). Участок 1–2 – адиабата, 2–3 – изотерма, 3–1 – изобара. Работа, совершенная газом за цикл, равна 4 кДж. Разность температур газа между состояниями 1 и 2 равна 120 К. Какая работа совершается газом в изотермическом процессе? Ответ представьте в килоджоулях и округлите до десятых. [–1,5]

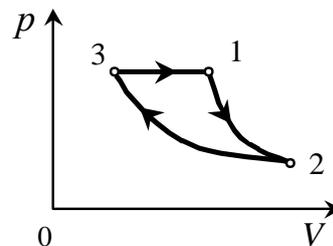


Рис. 3.56

3.8.30. *Сосуд вместимостью 30 л разделен на три равные части неподвижными полупроницаемыми, тонкими перегородками (рис. 3.57). В верхнюю часть вводят 30 г водорода, в среднюю 160 г кислорода и в нижнюю 70 г азота. Через верхнюю перегородку может диффундировать только водород, через нижнюю – водород и азот. Какое давление будет в каждой из трех частей сосуда после установления равновесия, если сосуд поддерживается при постоянной температуре 300 К? Ответы представьте в мегапаскалях и округлите до десятых. [1,2; 2,8; 1,6]

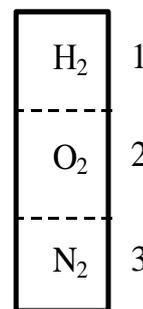


Рис. 3.57

3.8.31. *В вертикальном цилиндре вместимостью $0,1 \text{ м}^3$ под невесомым поршнем находится 1 моль идеального одноатомного газа (рис. 3.58). Газ под поршнем теплоизолирован. На поршень положили груз массой 100 кг, в результате чего поршень переместился на расстояние h . Определите конечную температуру газа T_K , установившуюся после перемещения поршня, если площадь поршня 10^{-2} м^2 , $p_0 = 10^5 \text{ Па}$. Ответ представьте в единицах СИ и округлите до целого числа. [1504]

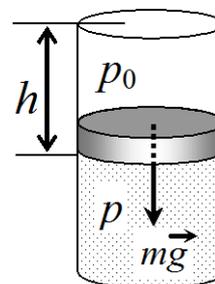


Рис. 3.58

3.8.32. *Определите КПД цикла $1-2-3-4-5-6-1$, показанного на рис. 3.59. Цикл совершается одним молем идеального одноатомного газа. Участки $2-3$ и $4-5$ на рисунке представляют собой дуги окружностей с центрами в точках O_1 и O_2 . Ответ представьте в процентах и округлите до целого числа. [19]

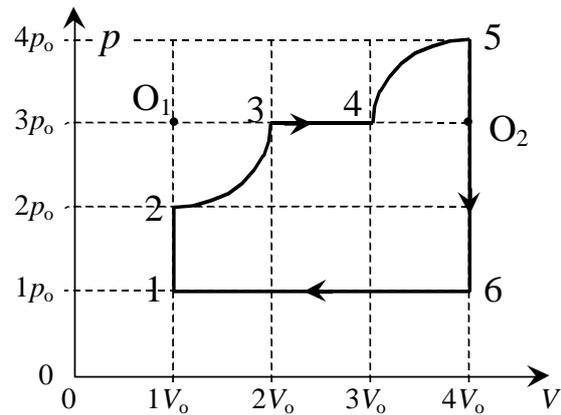


Рис. 3.59

3.8.33. *Вода кипит в сосуде с отверстием площадью $1,0 \text{ см}^2$, давление на поверхности которого 10^5 Па . Какова средняя скорость истечения молекул пара из отверстия, если полезная тепловая мощность нагревателя $1,0 \text{ кВт}$, а пар – идеальный газ? Ответ представьте в единицах СИ и округлите до десятых. [7,5]

3.8.34. Смешали 1 м^3 воздуха влажностью 20% и 2 м^3 воздуха влажностью 30% . При этом обе порции были взяты при одинаковых температурах. Определите относительную влажность смеси. Ответ выразите в процентах и округлите до целого числа. [27]

3.8.35. *При относительной влажности воздуха 50% вода, налитая в блюдце, испарилась на открытом воздухе за 40 мин . За какое время испарилась бы вода при относительной влажности воздуха 80% ? Ответ представьте в минутах. [100]

4. ЭЛЕКТРОСТАТИКА

Содержание раздела

Электризация тел. Взаимодействие зарядов. Два вида электрического заряда. Закон сохранения электрического заряда. Закон Кулона. Действие электрического поля на электрические заряды. Напряженность электрического поля точечного заряда, заряженной сферы, бесконечной проводящей плоскости. Принцип суперпозиции электрических полей. Потенциальность электростатического поля. Потенциальная энергия взаимодействия зарядов. Потенциал. Разность потенциалов. Потенциал поля точечного заряда и заряженной сферы. Принцип суперпозиции для потенциалов. Эквипотенциальные поверхности. Проводники и диэлектрики в электрическом поле. Емкость уединенного проводника. Емкость конденсатора. Плоский и шаровой конденсаторы. Соединения конденсаторов. Энергия электростатического поля конденсатора. Объемная плотность энергии электростатического поля.

Основные законы и формулы

- Заряд q любого тела равен целому числу N элементарных зарядов e .

$$q = N \cdot e,$$

где e – величина элементарного заряда.

- Закон сохранения заряда. В изолированной системе заряд сохраняется

$$\sum_{i=1}^n q_i = \text{const}.$$

- Закон Кулона $F = \frac{|q_1||q_2|}{4\pi\epsilon_0 \cdot \epsilon r^2} = k \frac{|q_1||q_2|}{\epsilon r^2}$,

где F – модуль силы взаимодействия двух точечных зарядов в среде с диэлектрической проницаемостью ϵ , $|q_1|$, $|q_2|$ – абсолютные величины электрических зарядов, r – расстояние между зарядами, ϵ_0 – электрическая постоянная, $k = 1/4\pi\epsilon_0 = 9 \cdot 10^9$ м/Ф.

- Диэлектрическая проницаемость среды ($\epsilon \geq 1$)

$$\epsilon = \frac{F_0}{F} = \frac{E_0}{E},$$

где F_0 , F – силы взаимодействия зарядов в вакууме и в среде соответственно, E_0 , E – напряженность электрического поля в вакууме и в среде.

- Напряженность электрического поля

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0},$$

где \vec{F} – сила, действующая на положительный пробный заряд q_0 .

- Напряженность электрического поля, созданного точечным зарядом q на расстоянии r от него,

$$E = \frac{|q|}{4\pi\epsilon_0\epsilon r^2} = k \frac{|q|}{\epsilon r^2}.$$

- Принцип суперпозиции

$$\vec{E} = \sum \vec{E}_i,$$

где \vec{E} – напряженность результирующего электрического поля, \vec{E}_i – напряженность поля i – го заряда.

- Модуль напряженности поля, созданного двумя зарядами в точке A ,

$$E_A = \sqrt{E_1^2 + E_2^2 + 2E_1E_2 \cos \alpha},$$

где E_1 и E_2 – модуль напряженности электрического поля, созданного точечными зарядами q_1 и q_2 в точке A , α – угол между векторами \vec{E}_1 и \vec{E}_2 .

- Поверхностная плотность равномерно распределенного заряда

$$\sigma = q/S,$$

где S – площадь поверхности с зарядом q .

- Напряженность поля, созданного равномерно заряженной бесконечной плоскостью,

$$E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0\epsilon}.$$

- Напряженность поля в плоском конденсаторе

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon_0\epsilon}.$$

- Потенциал электрического поля

$$\varphi = W/q_0,$$

где W – потенциальная энергия заряда q_0 , находящегося в данной точке поля.

- Потенциал поля, созданного точечным зарядом q в некоторой точке среды с диэлектрической проницаемостью ϵ ,

$$\varphi = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 \cdot \epsilon r} = k \frac{q}{\epsilon r},$$

где r – расстояние от точки до заряда q .

- Принцип суперпозиции для потенциалов

$$\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 + \dots + \varphi_n = \sum_{i=1}^n \varphi_i,$$

где $\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_n$ – потенциалы, создаваемые зарядами q_1, q_2, \dots, q_n в некоторой точке электрического поля, φ – результирующий потенциал.

- Напряженность E и потенциал φ поля, созданного равномерно заряженной сферической поверхностью или проводящим шаром радиусом R на расстоянии r от центра сферы (шара).

а) внутри сферы ($r < R$)	$E = 0,$	$\varphi = k \frac{q}{\varepsilon R};$
б) на поверхности сферы ($r = R$)	$E = k \frac{ q }{\varepsilon R^2},$	$\varphi = k \frac{q}{\varepsilon R};$
в) вне сферы ($r > R$)	$E = k \frac{ q }{\varepsilon r^2},$	$\varphi = k \frac{q}{\varepsilon r},$

где q – общий заряд сферической поверхности (шара). Напряженность и потенциал поля вне равномерно заряженной сферической поверхности (шара) совпадает с напряженностью и потенциалом поля точечного заряда, равного заряду сферы (шара) q и помещенного в центре сферы (шара).

- Работа по перемещению заряда q между двумя точками 1 и 2 с потенциалами φ_1 и φ_2

$$A = q(\varphi_1 - \varphi_2) = qU,$$

где $U = (\varphi_1 - \varphi_2)$ – напряжение между точками 1 и 2.

- Модуль напряженности однородного ($\vec{E} = \text{const}$) электрического поля

$$E = \frac{U}{d} = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{d},$$

где d – расстояние между точками 1 и 2 вдоль напряженности однородного электрического поля; U – напряжение между точками 1 и 2 с потенциалами φ_1 и φ_2 .

- Изменение кинетической энергии заряженной частицы в электрическом поле

$$\Delta W_k = q(\varphi_1 - \varphi_2) = \frac{mv_2^2}{2} - \frac{mv_1^2}{2},$$

где q и m – заряд и масса частицы, $(\varphi_1 - \varphi_2) = U$ – ускоряющее (тормозящее) напряжение между точками 1 и 2, v_1, v_2 – скорости заряженной частицы в точках 1 и 2 соответственно.

- Электроемкость уединенного проводника

$$C = q/\varphi,$$

где q и φ – заряд и потенциал проводника.

- Электроемкость конденсатора

$$C = q/U,$$

где q – заряд обкладки конденсатора, U – напряжение между обкладками конденсатора.

- Электроемкость плоского конденсатора

$$C = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 S}{d},$$

где S – площадь пластины конденсатора, d – расстояние между пластинами, ε_0 – электрическая постоянная, ε – диэлектрическая проницаемость среды.

- Электроемкость шарового проводника

$$C = 4\pi\varepsilon_0\varepsilon R,$$

где R – радиус шара.

- Электроемкость батареи n параллельно соединенных конденсаторов

$$C_{\text{пар}} = \sum_{i=1}^n C_i,$$

где C_i – емкость отдельного конденсатора.

Если $C_1 = C_2 = \dots = C$, то $C_{\text{пар}} = n \cdot C$.

- Емкость батареи n последовательно соединенных конденсаторов

$$\frac{1}{C_{\text{посл}}} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{C_i}.$$

Если $C_1 = C_2 = \dots = C$, то $C_{\text{посл}} = C/n$.

- Энергия электростатического поля конденсатора

$$W = \frac{qU}{2} = \frac{CU^2}{2} = \frac{q^2}{2C},$$

где q – заряд конденсатора, C – емкость конденсатора, U – напряжение между пластинами конденсатора.

- Объемная плотность энергии электростатического поля

$$w = \frac{W}{V} = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 E^2}{2},$$

где E – напряженность электростатического поля.

Примеры решения задач

4.1. Закон сохранения электрического заряда. В вакууме на некотором расстоянии друг от друга находятся два одинаковых маленьких шарика, имеющих заряды $q_1 = 0,7$ мкКл и $q_2 = -0,3$ мкКл. Шарики привели в соприкосновение, а затем раздвинули на расстояние $r = 20$ см. Найдите силу взаимодействия шариков. Ответ представьте в миллиньютонах.

Дано: $q_1 = 7 \cdot 10^{-7}$ Кл, $q_2 = -3 \cdot 10^{-7}$ Кл, $r = 0,2$ м, $1/(4\pi\epsilon_0) = 9 \cdot 10^9$ м/Ф, $\epsilon = 1$.

Определить F .

Решение. После соприкосновения одинаковых по размеру шариков их заряды стали равными. При этом, согласно закону сохранения заряда, сумма зарядов шариков осталась неизменной. Следовательно, после соприкосновения заряд каждого шарика

$$q = \frac{q_1 + q_2}{2}.$$

Величина силы F определяется из закона Кулона

$$F = \frac{q^2}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r^2} = \frac{(q_1 + q_2)^2}{16\pi\epsilon\epsilon_0 r^2} = 9 \text{ мН}.$$

4.2. Закон Кулона. Два одинаково заряженных шарика, имеющих массу $1,8$ г каждый и подвешенных на нитях длиной по 2 м, разошлись на 8 см друг от друга. Определите (в нКл) заряд каждого шарика.

Дано: $m = 1,8 \cdot 10^{-3}$ кг, $l = 2$ м, $r = 0,08$ м, $k = 1/(4\pi\epsilon_0) = 9 \cdot 10^9$ м/Ф, $g = 10$ м/с², $\epsilon = 1$.

Определить q .

Решение. На рис. 4.1 показаны силы, действующие на шарик: $m\vec{g}$ – сила тяжести, \vec{N} – сила упругости нити, \vec{F}_k – сила Кулона.

Запишем условие равновесия шарика в векторной и скалярной формах:

$$\vec{F}_k + m\vec{g} + \vec{N} = 0;$$

$$0x) \quad F_k - N \cos \alpha = 0; \quad (1)$$

$$0y) \quad N \sin \alpha - mg = 0. \quad (2)$$

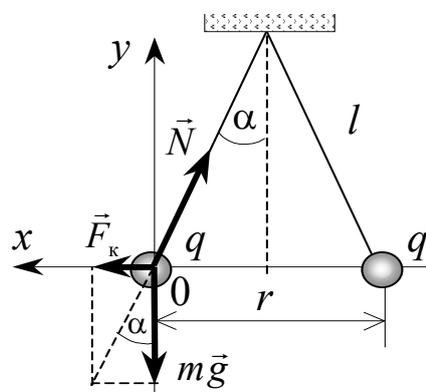


Рис. 4.1

Решение системы уравнений (1) и (2):

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{F_{\kappa}}{mg} . \quad (3)$$

Угол α – малый угол, так как $r \ll l$, следовательно,

$$\operatorname{tg}\alpha \approx \sin\alpha = r/(2l), \quad (4)$$

$$F_{\kappa} = \frac{kq^2}{r^2} . \quad (5)$$

Решая систему уравнений (3) – (5) относительно q , найдем:

$$q = \sqrt{\frac{mgr^3}{2kl}} = 16 \text{ нКл} .$$

Примечание. Диэлектрическую проницаемость среды принимаем равной единице, $\epsilon = 1$ “по умолчанию в условии”.

4.3. Закон Кулона. В вершинах квадрата находятся одинаковые заряды $q = 6$ нКл каждый. Какой отрицательный заряд q_0 нужно поместить в центр квадрата, чтобы система зарядов находилась в равновесии? Ответ представьте в нанокюлонах и округлите до десятых.

Дано: $q_1 = q_2 = q_3 = q_4 = q = 6$ нКл, $\vec{F}_{\text{рез}} = 0$.

Определить q_0 .

Решение. Условие равновесия системы зарядов означает, что результирующая сила, действующая на каждый заряд q , равна нулю, следовательно, в центр квадрата необходимо поместить заряд $q_0 < 0$.

Рассмотрим один из зарядов в вершинах квадрата, например, заряд q_1 , расположенный в левой верхней вершине квадрата.

Поскольку заряд q_1 находится в равновесии, сумма сил (рис. 4.2), действующих на него со стороны остальных зарядов, равна нулю, то есть

$$\vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \vec{F}_4 + \vec{F}_0 = 0 .$$

Запишем уравнение равновесия в проекциях сил на ось Ox :

$$-F_2 \cos\alpha - F_4 \cos\alpha - F_3 + F_0 = 0, \quad (1)$$

где $\alpha = 45^\circ$.

Обозначим сторону квадрата a .

По закону Кулона, силы, действующие на заряд q_1 со стороны других зарядов,

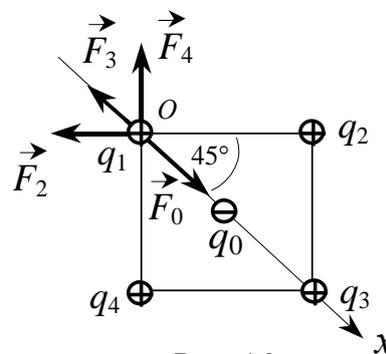


Рис. 4.2

$$F_2 = F_4 = \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 a^2}; \quad F_3 = \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 \cdot 2a^2}; \quad F_0 = \frac{2q \cdot q_0}{4\pi\epsilon_0 a^2}.$$

Тогда из (1) получим:

$$2 \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 a^2} \cos \alpha + \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 \cdot 2a^2} = \frac{2q \cdot q_0}{4\pi\epsilon_0 a^2},$$

откуда
$$q_0 = \frac{q}{2} \left(\frac{1}{2} + \sqrt{2} \right) \approx 5,7 \text{ нКл}.$$

Примечание. Необходимо помнить, что заряд q_0 отрицательный, $q_0 = -5,7$ нКл.

4.4. Движение заряда в однородном электрическом поле. Положительно заряженное тело малого размера с зарядом $q = 10^{-5}$ Кл и массой $m = 20$ г начинает скользить без трения по незаряженной непроводящей наклонной плоскости, угол наклона которой $\alpha = 30^\circ$. Начальная скорость тела равна нулю. Горизонтальная непроводящая поверхность под наклонной плоскостью заряжена положительно и создает вертикально направленное однородное поле напряженностью $E = 10^4$ В/м. Какое время (в секундах) требуется телу для соскальзывания с вершины наклонной плоскости, высота h которой до основания равна 1 м? Ответ округлите до сотых.

Дано: $q = 10^{-5}$ Кл, $m = 0,02$ кг, $\alpha = 30^\circ$, $v_0 = 0$, $E = 10^4$ В/м, $h = 1$ м, $g = 10$ м/с².

Определить t .

Решение. Положительно заряженное тело равноускоренно соскальзывает по наклонной плоскости под действием трех сил: силы тяжести $m\vec{g}$, силы реакции со стороны наклонной плоскости \vec{N} и электрической силы $\vec{F}_{\text{эл}} = q\vec{E}$ со стороны электрического поля равномерно заряженной плоскости (рис. 4.3).

По второму закону Ньютона

$$m\vec{g} + \vec{F}_{\text{эл}} + \vec{N} = m\vec{a}.$$

В проекциях на ось Ox :

$$(mg - qE) \cdot \sin \alpha = ma.$$

Отсюда

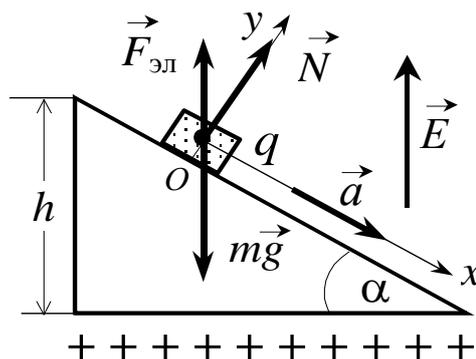


Рис. 4.3

$$a = \frac{(mg - qE) \sin \alpha}{m}. \quad (1)$$

При равноускоренном движении без начальной скорости пройденный телом путь

$$s = \frac{at^2}{2}, \text{ где } s = \frac{h}{\sin \alpha}.$$

Тогда время движения

$$t = \sqrt{\frac{2h}{a \cdot \sin \alpha}}. \quad (2)$$

Подставляя (1) в (2), получим:

$$t = \sqrt{\frac{2mh}{(mg - qE) \sin^2 \alpha}} \approx 1,26 \text{ с}.$$

4.5. Две непроводящие вертикально расположенные параллельные заряженные пластины находятся на расстоянии $d = 50$ см друг от друга. Напряженность поля между ними равна $E = 10^5$ В/м. Между пластинами на равном расстоянии от них, помещен шарик, имеющий заряд $q = 10^{-5}$ Кл и массу $m = 10$ г. После того, как шарик отпустили, он начинает падать. Какую скорость v имел шарик перед ударом о пластинку? Ответ представьте в единицах СИ и округлите до десятых.

Дано: $d = 0,5$ м, $E = 10^5$ В/м, $q = 10^{-5}$ Кл, $m = 0,01$ кг, $v_0 = 0$, $g = 10$ м/с².

Определить v .

Решение. Поскольку заряд шарика положительный, он будет двигаться по направлению к отрицательно заряженной пластине. Скорость шарика в момент касания пластины

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}, \quad (1)$$

где v_x и v_y – проекции вектора скорости на оси $0x$ и $0y$.

На заряженный шарик действуют сила $\vec{F}_{\text{эл}} = q\vec{E}$ со стороны электрического поля заряженных пластин, направленная вдоль оси $0x$, и сила тяжести $m\vec{g}$, направленная вдоль оси $0y$, рис. 4.4.

Эти силы по второму закону Ньютона сообщают шарiku ускорения, величины которых

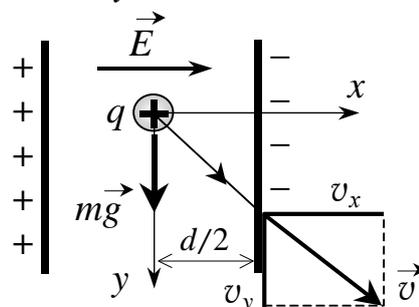


Рис. 4.4

$$a_x = qE/m \text{ и } a_y = g. \quad (2)$$

По формуле пути для равноускоренного движения без начальной скорости расстояние $d/2$, пройденное шариком вдоль оси Ox до касания пластины $d/2 = a_x t^2/2$, или с учетом (2)

$$\frac{d}{2} = \frac{qE}{m} \cdot \frac{t^2}{2}. \quad (3)$$

Из уравнения (3) время движения шарика

$$t = \sqrt{\frac{md}{qE}}. \quad (4)$$

Проекции скорости равноускоренного движения без начальной скорости

$$v_x = a_x t \text{ и } v_y = gt. \quad (5)$$

Решая совместно уравнения (1), (2), (4) и (5) относительно v , получим:

$$v = \sqrt{\frac{qEd}{m} + \frac{g^2 md}{qE}} = 7,1 \text{ м/с}.$$

Примечание. Так как начальная скорость шарика равна нулю, то траектория шарика есть прямая линия с углом наклона $\text{tg}\alpha = qE/mg$. С учетом этого можно решить задачу другим способом, то есть найти общее ускорение, как $a = \sqrt{a_x^2 + g^2}$, а затем скорость v , приобретенную в момент касания.

4.6. Принцип суперпозиции в электростатике. В двух вершинах равностороннего треугольника со стороной $a = 0,3$ м помещены два разноименных заряда по $q = 1$ мкКл. Найдите потенциал и напряженность электрического поля в третьей вершине треугольника. Ответы представьте в единицах СИ.

Дано: $q_1 = 10^{-6}$ Кл, $q_2 = -10^{-6}$ Кл, $a = 0,3$ м, $\alpha = 60^\circ$, $k = 9 \cdot 10^9$ м/Ф.

Определить E_A , φ_A .

Решение. Для расчета потенциала и напряженности поля в точке А (рис. 4.5) воспользуемся принципом суперпозиции. По этому принципу каждый заряд создает поле, независимо от присутствия других зарядов.

$$\vec{E}_A = \vec{E}_1 + \vec{E}_2, \quad \varphi_A = \varphi_1 + \varphi_2. \quad (1)$$

Модуль напряженности поля в точке А равен:

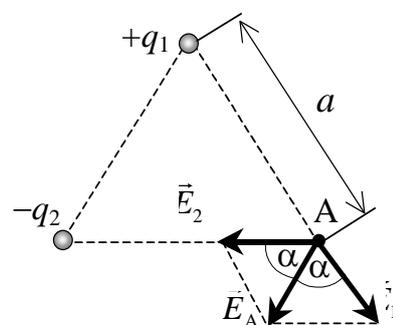


Рис. 4.5

$$E_A = \sqrt{E_1^2 + E_2^2 + 2E_1 E_2 \cos 2\alpha}. \quad (2)$$

Здесь $E_1 = E_2 = k|q|/a^2$, где $|q| = |q_1| = |q_2|$.

Учитывая, что $\cos 2\alpha = \cos 120^\circ = -0,5$, из (2) получим:

$$E_A = \frac{k|q|}{a^2} = 100 \text{ кВ/м}.$$

Потенциал поля в точке А равен:

$$\begin{aligned} \varphi_A &= \varphi_1 + \varphi_2 = \frac{kq_1}{a} + \frac{kq_2}{a}, \\ \varphi_A &= \frac{k}{a}(q_1 + q_2) = \frac{k}{a}(q_1 - |q_2|) = 0. \end{aligned}$$

4.7. Потенциал электрического поля. Ртутный шарик, потенциал которого 400 В, разбивается на 8 одинаковых капелек. Чему равен потенциал (в вольтах) каждой капельки?

Дано: $\varphi = 400 \text{ В}$, $N = 8$, $k = 1/(4\pi\epsilon_0) = 9 \cdot 10^9 \text{ м/Ф}$.

Определить φ_1 .

Решение. По закону сохранения зарядов и условию несжимаемости жидкости, можно записать

$$q = N \cdot q_1; \quad V = N \cdot V_1.$$

Здесь q , q_1 , V , V_1 – заряд и объем большого и маленького шариков радиусами R и r , соответственно.

Учитывая, что $V = (4/3)\pi R^3$ и $V_1 = (4/3)\pi r^3$, имеем

$$r = \frac{R}{\sqrt[3]{N}}. \quad (1)$$

Потенциалы большого и маленького шариков соответственно равны:

$$\varphi = k \cdot q / R, \quad (2)$$

$$\varphi_1 = k \cdot q_1 / r. \quad (3)$$

Решая (2) и (3) с учетом (1) и условия $q = N \cdot q_1$, получим:

$$\varphi_1 = \frac{\sqrt[3]{N}}{N} \cdot \varphi = 100 \text{ В}.$$

Альтернативное решение. Определим поэтапно величины q_1 и r . Потенциал большого шарика радиусом R равен $\varphi = k \cdot q / R$.

Учитывая, что шарик разбивается на 8 одинаковых капелек с зарядами $q_1 = q/8$ и радиусами $\frac{R^3}{r^3} = \frac{V}{V/8} \Rightarrow r = R \cdot \sqrt[3]{\frac{1}{8}} = \frac{R}{2}$ получим:

$$\varphi_1 = k \cdot q_1 / r = k \cdot (q/8) / (R/2) = k \cdot q / (4R) = \varphi / 4 = 100 \text{ В.}$$

4.8. Электрическое поле заряженного проводящего шара. Определите поверхностную плотность σ заряда проводящего шара радиусом R , если напряженность E поля в точке, удаленной на расстояние $r = 2R$ от центра шара, равна $0,9 \text{ МВ/м}$. Ответ представьте в мкКл/м^2 и округлите до целого числа.

Дано: $R/r = 2$, $E = 9 \cdot 10^5 \text{ В/м}$, $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$.

Определить σ .

Решение. Заряд q , сообщенный проводящему шару, распределяется по его поверхности равномерно.

По определению, поверхностная плотность заряда

$$\sigma = \frac{q}{S}, \quad (1)$$

где $S = 4\pi R^2$ – площадь поверхности шара радиусом R .

Модуль напряженности электрического поля в точке, удаленной на расстояние r от центра заряженного проводящего шара радиусом R ($r \geq R$), определяется по формуле напряженности поля точечного заряда

$$E = \frac{|q|}{4\pi\epsilon_0 r^2}. \quad (2)$$

Выражая из (2) $q = 4\pi\epsilon_0 r^2 E$ и учитывая, что $R/r = 2$, после подстановки в (1), получим:

$$\sigma = \frac{E\epsilon_0 r^2}{R^2} = \frac{E\epsilon_0}{4} \approx 2 \text{ мкКл/м}^2.$$

4.9. Принцип суперпозиции полей. Найдите (в вольтах на метр) модуль напряженности E_x электрического поля в центре равномерно заряженной с поверхностной плотностью $\sigma = 1,0 \text{ мкКл/м}^2$ сферы с отверстием площадью $S = 1,0 \text{ мм}^2$. Радиус сферы R равен 10 см .

Дано: $\sigma = 1 \cdot 10^{-6} \text{ Кл/м}^2$, $S = 1 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$, $R = 0,1 \text{ м}$, $k = 1/(4\pi\epsilon_0) = 9 \cdot 10^9 \text{ м/Ф}$.

Определить E_x .

Решение. Напряженность поля в центре заряженной сферы без отверстия

$$E = 0. \quad (1)$$

Для определения напряженности внутри сферы с отверстием мысленно разобьем зааряженную сферу на заряженное отверстие и заряженную сферу с отверстием.

Построим векторы напряженности электрического поля в центре сферы созданных заряженной сферой с отверстием (\vec{E}_x), и зарядом $q = \sigma \cdot S$ на площадке S отверстия (\vec{E}_s), рис. 4.6.

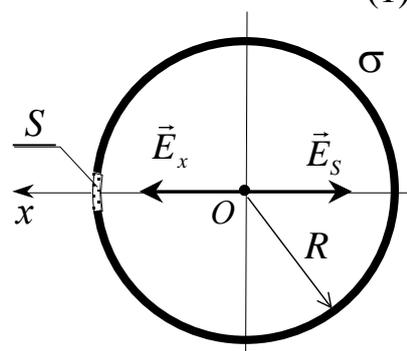


Рис. 4.6

По принципу суперпозиции

$$\vec{E} = \vec{E}_s + \vec{E}_x, \quad (2)$$

С учетом (1) в проекции на ось Ox имеем

$$E = E_x - E_s = 0.$$

Отсюда

$$E_x = E_s.$$

Так как линейные размеры площадки S много меньше R , заряд $q = \sigma S$ можно рассматривать как точечный. Тогда напряженность поля, создаваемого заряженной площадкой S в центре сферы, равна:

$$E_s = k \frac{q}{R^2} = k \frac{\sigma S}{R^2} = 0,9 \text{ В/м}.$$

Следовательно, напряженность в центре заряженной сферы с отверстием $E_x = E_s = 0,9 \text{ В/м}$.

4.10. Связь напряженности с разностью потенциалов. На рис. 4.7 приведен график зависимости потенциала электростатического поля от координаты. На каком участке кривой напряженность поля равна нулю?

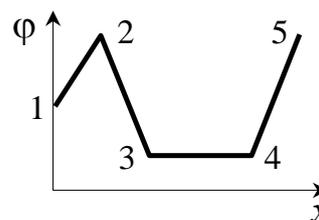


Рис. 4.7

Дано: график $\phi(x)$.

Определить участок на графике, где $E = 0$.

Решение. Модуль напряженности однородного электрического поля между точками i и $i + 1$ равен:

$$E = \frac{\phi_i - \phi_{i+1}}{\Delta x},$$

где Δx – расстояние между точками i и $i + 1$, $i = 1, 2, 3, 4$.

Напряженность поля E между точками i и $i + 1$ равна нулю, если $\varphi_i = \varphi_{i+1}$. Из графика (рис. 4.7) видно, что напряженность поля равна нулю на участке 3 – 4 кривой $\varphi(x)$.

4.11. Проводники в электрическом поле. Внутри шарового металлического слоя, внутренний и внешний радиусы которого соответственно равны $r_1 = 0,1$ м и $r_2 = 0,2$ м, на расстоянии $r_0 = 0,05$ м от центра находится положительный точечный заряд $q_0 = 1 \cdot 10^{-6}$ Кл. Найдите (в киловольтах) потенциал в центре сферы.

Дано: $r_1 = 0,1$ м, $r_2 = 0,2$ м, $r_0 = 0,05$ м, $q = 1 \cdot 10^{-6}$ Кл, $k = 1/(4\pi\epsilon_0) = 9 \cdot 10^9$ м/Ф.

Определить φ .

Решение. Если внутри проводящей сферы находится положительный заряд q_0 , на внутренней и внешней поверхности шарового металлического слоя появляются индуцированные заряды q_1 и q_2 , равные по модулю заряду q_0 , рис. 4.8.

Если принять $q_0 > 0$, на внутренней поверхности S_1 индуцируется отрицательный заряд, равный по модулю точечному заряду q_0 ,

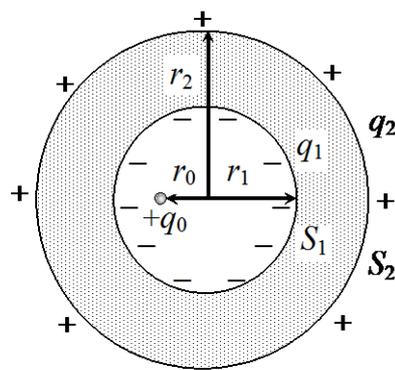


Рис. 4.8

$$q_1 = -q_0. \quad (1)$$

На внешней поверхности S_2 , по закону сохранения заряда, появляется точно такой же по модулю индуцированный заряд

$$q_2 = +q_0. \quad (2)$$

Потенциал в центре сферы равен алгебраической сумме потенциалов, создаваемых каждым из зарядов,

$$\varphi = \varphi_0 + \varphi_1 + \varphi_2, \quad (3)$$

где

$$\varphi_0 = k \frac{q_0}{r_0}, \quad \varphi_1 = k \frac{q_1}{r_1} = -k \frac{q_0}{r_1}, \quad \varphi_2 = k \frac{q_2}{r_2} = k \frac{q_0}{r_2}.$$

Подставляя φ_0 , φ_1 и φ_2 в (3), получим:

$$\varphi = kq_0 \left(\frac{1}{r_0} - \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right) = 135 \text{ кВ}.$$

4.12. Потенциал электрического поля. Металлический шар радиусом $R_1 = 10$ см, заряженный до потенциала $\varphi_1 = 400$ В, окружили незаряженной concentрической сферической проводящей оболочкой радиусом $R_2 = 20$ см. Чему станет равен потенциал шара (в вольтах), если его соединить проводником с оболочкой?

Дано: $R_1 = 0,1$ м, $R_2 = 0,2$ м, $\varphi_1 = 400$ В.

Определить φ_2 .

Решение. Если металлический шар радиусом R_1 соединить проводником со сферической проводящей оболочкой радиусом R_2 ($R_2 > R_1$), заряд q с поверхности шара полностью перетечет на поверхность оболочки, рис. 4.9.

Устойчивое равновесие достигается, когда заряды равномерно распределяются на внешней поверхности сферы.

Потенциал на поверхности шара при отсутствии проводящей оболочки равен:

$$\varphi_1 = k \frac{q}{R_1}. \quad (1)$$

Потенциал шара после соединения его проводником с оболочкой равен:

$$\varphi_2 = k \frac{q}{R_2}. \quad (2)$$

Решая систему уравнений (1) и (2) относительно φ_2 , найдем:

$$\varphi_2 = \varphi_1 \frac{R_1}{R_2} = 200 \text{ В}.$$

4.13. Потенциал электрического поля. Металлический шар радиусом $R_1 = 0,1$ м, заряженный до потенциала $\varphi = 400$ В, окружили незаряженной concentрической сферической проводящей оболочкой радиусом $R_2 = 0,2$ м, рис. 4.10. Чему станет равен потенциал φ' шара, если оболочку заземлить?

Дано: $R_1 = 0,1$ м, $R_2 = 0,2$ м, $\varphi = 400$ В.

Определить φ' .

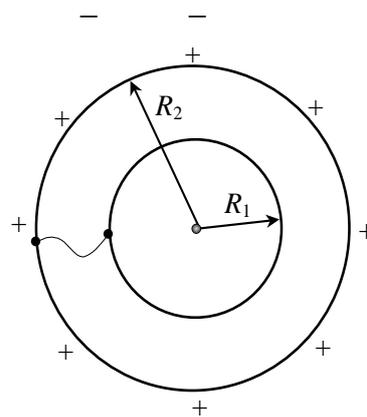


Рис. 4.9

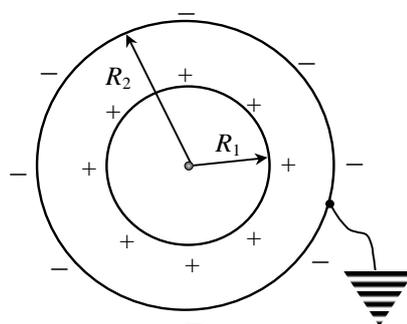


Рис. 4.10

Решение. Если металлический шар, заряженный до потенциала φ , окружить сферической заземленной проводящей оболочкой, на поверхности оболочки появляется заряд q_2 , равный по модулю, но противоположный по знаку заряду шара q ,

$$q_2 = -q. \quad (1)$$

Появление отрицательного заряда q_2 является следствием перетекания на внешнюю поверхность сферической оболочки заряда с Земли.

Потенциал на поверхности шара при отсутствии проводящей оболочки

$$\varphi = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 \cdot R_1}, \quad (2)$$

что позволяет определить величину заряда на шаре

$$q = 4\pi\epsilon_0 \cdot R_1 \varphi. \quad (3)$$

Потенциал на поверхности шара, окруженного заземленной проводящей оболочкой, равен потенциалу в центре шара φ' и по принципу суперпозиции равен алгебраической сумме потенциала φ шара и потенциала φ_2 внешней оболочки

$$\varphi' = \varphi + \varphi_2, \quad (4)$$

где

$$\varphi_2 = \frac{-q}{4\pi\epsilon_0 \cdot R_2}. \quad (5)$$

Решая систему уравнений (2) – (5) относительно φ' , получим:

$$\varphi' = \varphi + \frac{-q}{4\pi\epsilon_0 \cdot R_2}; \quad \varphi' = \varphi - \frac{\varphi \cdot R_1}{R_2} = \varphi \left(1 - \frac{R_1}{R_2}\right) = 200 \text{ В}.$$

4.14. Закон сохранения энергии. Два электрона, находящихся на бесконечно большом расстоянии один от другого, начинают двигаться навстречу друг другу, причем скорости их v_0 в этот момент одинаковы по величине и противоположны по направлению. Определите наименьшее расстояние между электронами, если $v_0 = 10^6$ м/с. Ответ представьте в нанометрах и округлите до сотых.

Дано: $v_0 = 10^6$ м/с, $m = 9,1 \cdot 10^{-31}$ кг, $q = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл, $k = 9 \cdot 10^9$ м/Ф.

Определить r_0 .

Решение. Будем рассматривать систему электронов как замкнутую. Так как начальные скорости электронов равны по величине и противоположны по

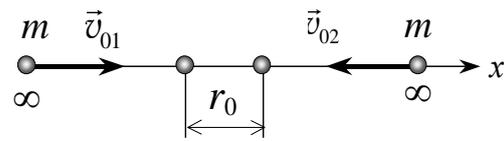


Рис. 4.11

направлению (рис. 4.11), по закону сохранения импульса, суммарный импульс системы равен нулю в любой момент времени движения электронов,

$$m\vec{v}_{01} + m\vec{v}_{02} = m\vec{v}_1 + m\vec{v}_2 = 0.$$

Расстояние между электронами будет минимальным, когда скорости электронов станут равными нулю. С учетом того, что на бесконечно большом расстоянии потенциальная энергия взаимодействия электронов равна нулю, в начальный момент времени полная механическая энергия W_0 системы равна кинетической энергии электронов

$$W_0 = 2 \cdot \frac{mv_0^2}{2}.$$

В момент времени, когда электроны максимально сблизятся, полная энергия W системы равна потенциальной энергии взаимодействия электронов

$$W = kq^2/r_0.$$

Запишем закон сохранения энергии ($W_0 = W$) $2 \cdot \frac{mv_0^2}{2} = k \frac{q^2}{r_0}.$

Отсюда $r_0 = \frac{kq^2}{mv_0^2} = 0,25 \text{ нм}.$

4.15. Закон сохранения энергии. Три маленьких заряженных шарика с зарядом $q = 2 \cdot 10^{-6}$ Кл каждый, удерживаются в вакууме вдоль одной прямой на расстоянии $a = 1$ см друг от друга двумя нитями. Какую максимальную кинетическую энергию приобретет крайний шарик, если обе нити одновременно пережечь? Ответ представьте в единицах СИ.

Дано: $q = 2 \cdot 10^{-6}$ Кл, $a = 0,01$ м, $k = 1/(4\pi\epsilon_0) = 9 \cdot 10^9$ м/Ф.

Определить E_k .

Решение. Будем рассматривать систему заряженных шариков как замкнутую. Для того чтобы читателю легче было разобраться с расчетом потенциальной энергии системы зарядов, каждому заряду присвоим порядковый номер, рис. 4.12, то есть $q_1 = q_2 = q_3 = q$.

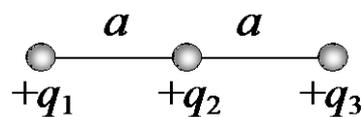


Рис. 4.12

Если заряженные шарики освободить, в результате кулоновского отталкивания крайние шарики разлетаются, а средний останется на ме-

сте, то есть потенциальная энергия W электрического поля системы перейдет в кинетическую энергию $2E_k$ крайних шариков,

$$E_k = W/2. \quad (1)$$

Потенциальная энергия замкнутой системы, состоящей из нескольких неподвижных зарядов, равна сумме потенциальных энергии их взаимодействий.

В нашем случае

$$W = W_{12} + W_{13} + W_{23}, \quad (2)$$

где W_{12} – потенциальная энергия взаимодействия 1-го и 2-го зарядов,

W_{13} – потенциальная энергия взаимодействия 1-го и 3-го зарядов,

W_{23} – потенциальная энергия взаимодействия 2-го и 3-го зарядов.

Потенциальные энергии взаимодействия зарядов:

$$W_{12} = k \frac{q_1 q_2}{r_{12}} = k \frac{q^2}{a}; \quad W_{13} = k \frac{q_1 q_3}{r_{13}} = k \frac{q^2}{2a}; \quad W_{23} = k \frac{q_2 q_3}{r_{23}} = k \frac{q^2}{a}. \quad (3)$$

Подставляя (3) в (2), а затем в (1), получим:

$$E_k = \frac{W}{2} = \frac{5}{4} \cdot k \frac{q^2}{a} = 4,5 \text{ Дж}.$$

4.16. Соединение конденсаторов. Закон сохранения заряда. Два шара, емкости которых $C_1 = 2$ пФ и $C_2 = 3$ пФ, заряженные соответственно зарядами $q_1 = 2 \cdot 10^{-7}$ Кл и $q_2 = 1 \cdot 10^{-7}$ Кл, соединили проводником. Определите заряд на первом шаре после соединения. Ответ представьте в нанокуллонах.

Дано: $C_1 = 2 \cdot 10^{-12}$ Ф, $C_2 = 3 \cdot 10^{-12}$ Ф, $q_1 = 2 \cdot 10^{-7}$ Кл, $q_2 = 1 \cdot 10^{-7}$ Кл.

Определить q_1' .

Решение. После соединения двух заряженных шаров проводником будет происходить перемещение положительных зарядов от шара с большим потенциалом к шару с меньшим потенциалом. Перемещение зарядов прекратится, когда потенциалы шаров выровняются, рис. 4.13.

Пусть заряды на первом и втором шарах после их соединения проводником равны q_1' и q_2' , а потенциалы φ_1' и φ_2' , соответственно.

По закону сохранения заряда

$$q_1 + q_2 = q_1' + q_2'. \quad (1)$$

Равенство потенциалов шаров после их соединения (шары достаточно далеко удалены друг от друга) можно записать в виде

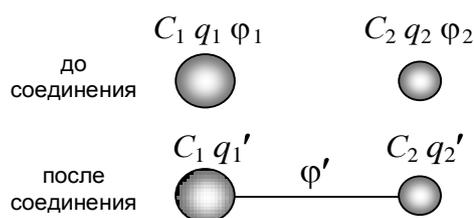


Рис. 4.13

$$\begin{aligned}\varphi_1' &= \varphi_2' = \varphi'. \\ \varphi' &= \frac{q_1'}{C_1} = \frac{q_2'}{C_2}.\end{aligned}\quad (2)$$

Из системы уравнений (1) и (2) определяем неизвестные q_1' и q_2' . Из уравнения (1) выразим $q_2' = q_1 + q_2 - q_1'$ и, подставив в уравнение (2), имеем

$$\frac{q_1'}{C_1} = \frac{q_1 + q_2 - q_1'}{C_2}, \quad (3)$$

Решая уравнение (3) относительно q_1' , получим:

$$q_1' = \frac{C_1(q_1 + q_2)}{C_1 + C_2} = 120 \text{ нКл}.$$

4.17. Энергия электрического поля конденсатора. Плоский воздушный конденсатор обладает энергией W_0 . Определите энергию конденсатора, если при той же разности потенциалов между пластинами конденсатора все его геометрические размеры увеличить в k раз.

Дано: $U = \text{const}$, W_0 , $d = kd_0$, $a = ka_0$, $b = kb_0$.

Определить W .

Решение. Энергия конденсатора емкостью C_0 определяется по формуле

$$W_0 = \frac{C_0 U^2}{2},$$

где $C_0 = \frac{\varepsilon_0 S_0}{d_0} = \frac{\varepsilon_0 a_0 b_0}{d_0}$, a_0 и b_0 – первоначальная ширина и длина пластины конденсатора, d_0 – первоначальное расстояние между пластинами.

Если все геометрические размеры конденсатора увеличить в k раз, то его емкость будет равна

$$C = \frac{\varepsilon_0 \cdot ka_0 \cdot kb_0}{kd_0} = k \cdot C_0,$$

а энергия конденсатора станет равной

$$W = \frac{CU^2}{2} = k \frac{C_0 U^2}{2} = k \cdot W_0.$$

4.18. Энергия электрического поля конденсатора. Энергия W_1 плоского воздушного конденсатора, заряженного от источника постоянного тока с ЭДС $\mathcal{E} = 500$ В, равна 5 мкДж. Найдите работу по раздвижению пластин от $d_1 = 0,5$ мм до $d_2 = 2,5$ мм в двух случаях:

- 1) конденсатор перед раздвижением пластин отключен от источника;
 2) конденсатор в процессе раздвижения пластин все время соединен с источником. Ответ представьте в микроджоулях.

Дано: $\mathcal{E} = 500 \text{ В}$, $W_1 = 5 \cdot 10^{-6} \text{ Дж}$, $d_1 = 5 \cdot 10^{-4} \text{ м}$, $d_2 = 2,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}$.

Определить A_1 , A_2 .

Решение.

1) В первом случае конденсатор отключен от источника. Поэтому, по закону сохранения заряда, заряд q конденсатора остается постоянным в процессе раздвижения пластин. Так как энергия конденсатора до раздвижения пластин $W_1 = q^2/(2C_1)$, то

$$q^2 = 2C_1 W_1. \quad (1)$$

Работа A_1 , которую нужно совершить, чтобы увеличить расстояние между пластинами конденсатора от d_1 до d_2 , равна разности конечной W_2 и начальной W_1 энергии конденсатора:

$$A_1 = W_2 - W_1, \quad (2)$$

где $W_1 = q^2/(2C_1)$ – энергия и $C_1 = \epsilon_0 S/d_1$ – емкость конденсатора до раздвижения пластин; $W_2 = q^2/(2C_2)$ – энергия и $C_2 = \epsilon_0 S/d_2$ – емкость конденсатора после раздвижения пластин.

Учитывая (1) и выражения для W_1 , C_1 , W_2 и C_2 , из (2) найдем:

$$A_1 = W_1 \left(\frac{d_2}{d_1} - 1 \right) = 20 \text{ мкДж}.$$

2) Во втором случае конденсатор соединен с источником. Поэтому разность потенциалов на его пластинах остается постоянной и равной \mathcal{E} .

При раздвижении пластин заряд на пластинах конденсатора уменьшается на величину

$$\Delta q = q_2 - q_1 = C_2 \mathcal{E} - C_1 \mathcal{E}.$$

Источник совершает работу по перемещению зарядов

$$A_{\text{ист}} = \Delta q \mathcal{E} = (C_2 - C_1) \mathcal{E}^2. \quad (3)$$

По закону сохранения энергии: изменение энергии $\Delta W = W_2 - W_1$ конденсатора, происходит за счет работы A_2 внешней силы и работы $A_{\text{ист}}$ источника тока

$$\Delta W = W_2 - W_1 = A_2 + A_{\text{ист}}.$$

Откуда

$$A_2 = W_2 - W_1 - A_{\text{ист}}. \quad (4)$$

Здесь

$$W_1 = \frac{C_1 \cdot \mathcal{E}^2}{2} \quad \text{и} \quad W_2 = \frac{C_2 \cdot \mathcal{E}^2}{2} \quad (5)$$

– энергия конденсатора до и после раздвижения пластин.

Решая систему уравнений (3) – (5), имеем

$$A_2 = \frac{C_2 \cdot \mathcal{E}^2}{2} - \frac{C_1 \cdot \mathcal{E}^2}{2} - (C_2 - C_1) \mathcal{E}^2 = \frac{(C_1 - C_2) \mathcal{E}^2}{2}. \quad (6)$$

Учитывая, что $C_1 = \varepsilon_0 S / d_1$ и $C_2 = \varepsilon_0 S / d_2$, найдем

$$C_2 = C_1 \frac{d_1}{d_2}. \quad (7)$$

Подставляя (7) в (6) и учитывая $W_1 = \frac{C_1 \cdot \mathcal{E}^2}{2}$, получим:

$$A_2 = W_1 \left(1 - \frac{d_1}{d_2} \right) = 4 \text{ мкДж}.$$

П р и м е ч а н и е . При решении подобных задач следует иметь в виду, что если заряженный конденсатор отключен от источника, при изменении емкости конденсатора постоянным будет оставаться заряд конденсатора. Если же конденсатор подключен к источнику, то постоянной будет оставаться разность потенциалов между обкладками конденсатора.

4.19. Соединение конденсаторов. К источнику постоянного тока с ЭДС $\mathcal{E} = 100 \text{ В}$ последовательно подключены два конденсатора, емкости которых $C_1 = 20 \text{ мкФ}$ и $C_2 = 50 \text{ мкФ}$. После зарядки конденсаторов источник с помощью ключа K отключают, а параллельно конденсатору C_1 подключают незаряженный конденсатор емкостью $C_3 = 30 \text{ мкФ}$. Какое количество теплоты Q выделится на сопротивлении R в процессе зарядки конденсатора C_3 ? Ответ представьте в единицах СИ.

Дано: $\mathcal{E} = 100 \text{ В}$, $C_1 = 20 \text{ мкФ}$, $C_2 = 50 \text{ мкФ}$, $C_3 = 30 \text{ мкФ}$.

Определить Q .

Решение. Энергия $W_2 = q^2 / (2C_2)$, запасенная конденсатором C_2 , не изменяется после отключения источника ЭДС \mathcal{E} ключом K , так как при этом отключается и заряженный конденсатор C_2 (рис. 4.14), то есть заряд конденсатора измениться не может.

Следовательно, количество теплоты Q , выделившееся на сопротивлении R в процессе зарядки конденсатора C_3 , равно разности энергии W_1 , запасенной конденсатором C_1 в процессе его зарядки от источника ЭДС до размыкания ключа K , и энергии W , которой обладает система конденсаторов C_1 и C_3 после окончания процесса зарядки конденсатора C_3 ,

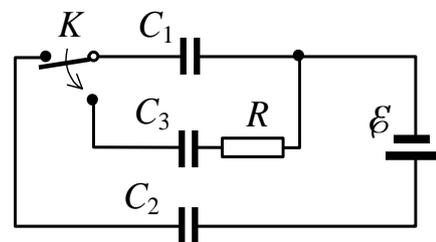


Рис. 4.14

$$Q = W_1 - W. \quad (1)$$

Энергия, запасенная в процессе зарядки конденсатором C_1 ,

$$W_1 = \frac{C_1 U_1^2}{2},$$

где U_1 – напряжение на конденсаторе C_1 до размыкания ключа.

До размыкания ключа заряд на пластинах последовательно соединенных конденсаторов C_1 и C_2 одинаков,

$$q_1 = q_2 = U_1 C_1 = U_2 C_2; \text{ где } U_2 = \mathcal{E} - U_1.$$

Отсюда

$$U_1 = C_2 \mathcal{E} / (C_1 + C_2). \quad (2)$$

Тогда

$$W_1 = \frac{C_1 C_2^2 \mathcal{E}^2}{2(C_1 + C_2)^2}. \quad (3)$$

Энергии W , которой обладает система конденсаторов C_1 и C_3 после размыкания ключа K и окончания процесса зарядки конденсатора C_3 ,

$$W = \frac{(C_1 + C_3) U_3^2}{2}, \quad (4)$$

где U_3 – напряжение на конденсаторе C_3 после его зарядки.

Определим напряжение U_3 , воспользовавшись законом сохранения заряда,

$$q_1 = q_1' + q_3',$$

где q_1' и q_3' – заряд на конденсаторах C_1 и C_3 после их перезарядки.

$$\text{Так как } U_3 = \frac{q_3'}{C_3} = \frac{q_1'}{C_1} = \frac{q_1 - q_3'}{C_1}, \text{ то отсюда } q_3' = q_1 \frac{C_3}{C_1 + C_3}.$$

Учитывая, что $q_1 = U_1 C_1$, получим

$$q_3' = \frac{U_1 C_1 C_3}{C_1 + C_3}.$$

Следовательно, напряжение U_3 равно:

$$U_3 = \frac{q_3'}{C_3} = \frac{U_1 C_1}{C_1 + C_3}. \quad (5)$$

Решая систему уравнений (2), (4) и (5) относительно W , имеем

$$W = \frac{C_1^2 C_2^2 \mathcal{E}^2}{2(C_1 + C_3)(C_1 + C_2)^2}. \quad (6)$$

Подставляя (3) и (6) в (1), получим:

$$Q = \frac{C_1 C_2^2 C_3 \mathcal{E}^2}{2(C_1 + C_2)^2 (C_1 + C_3)} = 8 \text{ мДж}.$$

Задачи для самостоятельного решения

4.1.

4.1.1. Может ли заряженное тело иметь заряд $22 \cdot 10^{-19}$ Кл? Ответ обоснуйте. [Нет]

4.1.2. Увеличится (1), уменьшится (2) или не изменится (3) сила взаимодействия электрических точечных зарядов, если заряды из вакуума перенести в диэлектрик, не меняя расстояние между зарядами? Ответ обоснуйте. [2]

4.1.3. Три точечных заряда $+q$, $-q$ и $-q$ расположены на одной прямой (рис. 4.15). Расстояния между соседними зарядами одинаковы. На какой из зарядов (1, 2 или 3) действует наибольшая по величине результирующая сила? Ответ обоснуйте. [2]

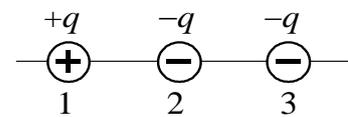


Рис. 4.15

4.1.4. Чему равен модуль вектора результирующей силы, действующей на заряд q_0 (рис. 4.16), помещенный в центр равностороннего треугольника, со стороны зарядов $+q$, расположенных в вершинах этого треугольника? Ответ обоснуйте. [0]

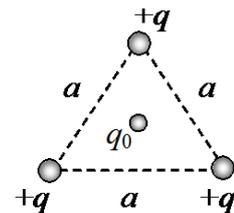


Рис. 4.16

4.1.5. На рис. 4.17 изображены силы \vec{F}_1 и \vec{F}_2 , действующие на разноименные заряды, помещенные в однородное электростатическое поле напряженностью \vec{E} . Какой из зарядов (1 или 2) является отрицательным? Ответ обоснуйте. [1]

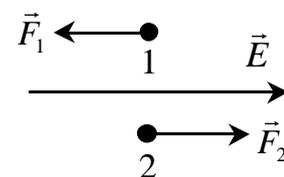


Рис. 4.17

4.1.6. В некоторую точку поля, созданного точечным зарядом Q , внесли пробный заряд q . Увеличится (1), уменьшится (2) или не изменится (3) модуль напряженности электрического поля в этой точке при уменьшении пробного заряда q в 2 раза? [3]

4.1.7. Влево (1) или вправо (2) на рис. 4.18 направлен вектор напряженности \vec{E} электростатического поля, созданного двумя равными положительными зарядами в точке O ? Ответ обоснуйте. [2]

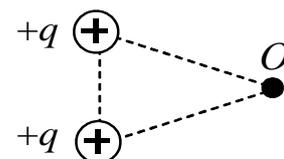


Рис. 4.18

4.1.8. На рис. 4.19 изображен вектор напряженности \vec{E} электрического поля в точке С, которое создано двумя точечными зарядами q_A и q_B . Каков заряд q_B (положительный (1) или отрицательный (2)), если заряд q_A отрицательный? [2]

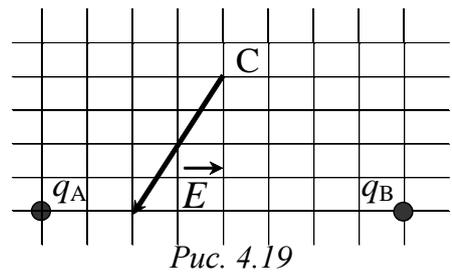


Рис. 4.19

4.1.9. На рис. 4.20 показаны силовые линии электростатического поля двух заряженных конденсаторов. В каком конденсаторе (1 или 2) напряженность поля больше? Ответ обоснуйте. [1]

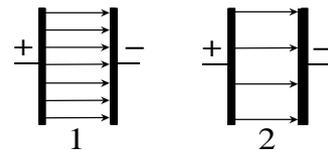


Рис. 4.20

4.1.10. На рис. 4.21 показаны силовые линии однородного электростатического поля. В какой из точек (1, 2 или 3) потенциал поля больше? Ответ обоснуйте. [1]

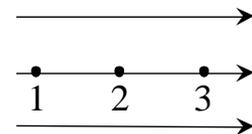


Рис. 4.21

4.1.11. Двум параллельным металлическим пластинам (рис. 4.22) сообщили одинаковые по знаку и величине заряды. Расстояния между пластинами много меньше их линейных размеров. В каких точках (1, 2 или 3) напряженность поля равна нулю? Ответ обоснуйте. [2]

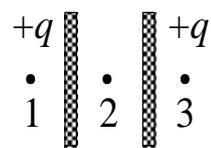


Рис. 4.22

4.1.12. Двум параллельным металлическим пластинам (рис. 4.23) сообщили разноименные, но равные по величине заряды. Расстояния между пластинами много меньше их линейных размеров. В каких точках (1, 2 или 3) напряженность поля равна нулю? Ответ обоснуйте. [1 и 3]

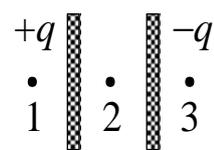


Рис. 4.23

4.1.13. Положительные (1) или отрицательные (2) заряды перемещаются под действием сил электростатического поля от точек с большим потенциалом к точкам с меньшим потенциалом? Ответ обоснуйте. [1]

4.1.14. Уменьшится (1), увеличится (2) или не изменится (3) напряженность электрического поля внутри незаряженного проводника, если его поместить во внешнее электростатическое поле? Ответ обоснуйте. [3]

4.1.15. Уменьшится (1), увеличится (2) или не изменится (3) напряженность электрического поля внутри заряженного проводника, если его поместить во внешнее электростатическое поле? Ответ обоснуйте. [3]

4.1.16. Имеется полая металлическая заряженная сфера (рис. 4.24). Будет увеличиваться (1), уменьшаться (2) или не изменится (3) потенциал электрического поля в точке наблюдения А при перемещении точки А от центра до поверхности сферы? Ответ обоснуйте. [3]

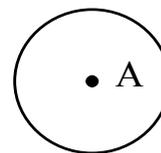


Рис. 4.24

4.1.17. Имеется полая металлическая заряженная сфера (рис. 4.24). Будет увеличиваться (1), уменьшаться (2) или не изменится (3) напряженность электрического поля в точке наблюдения А при перемещении точки А от центра до поверхности сферы? Ответ обоснуйте. [3]

4.1.18. Уменьшится (1), увеличится (2) или не изменится (3) емкость заряженного уединенного проводника, если его разрядить? Ответ обоснуйте. [3]

4.1.19. Двум металлическим шарикам разного радиуса сообщили одинаковые заряды. Будут (1) или нет (2) перетекать заряды с одного шарика на другой, если их соединить проводником? Ответ обоснуйте. [1]

4.1.20. Заряженные медный и железный шары одинакового радиуса приводят в соприкосновение, а затем раздвигают на прежнее расстояние. Поровну (1) или нет (2) распределится на них заряд? Ответ обоснуйте. [1]

4.1.21. В каком случае сила электростатического взаимодействия двух металлических шариков, при неизменном расстоянии между ними, будет больше: при наличии равновеликих одноименных зарядов (1) или при наличии равновеликих разноименных зарядов (2), если диаметры шариков соизмеримы с расстоянием между ними? Ответ обоснуйте. [2]

4.1.22. Увеличится (1), уменьшится (2) или не изменится (3) напряженность электрического поля заряженного и отключенного от источника тока конденсатора, если увеличить расстояние между его пластинами? Ответ обоснуйте. [3]

4.1.23. Увеличится (1), уменьшится (2) или не изменится (3) заряд на пластинах заряженного и отключенного от источника тока конденсатора, если увеличить расстояние между его пластинами? Ответ обоснуйте. [3]

4.1.24. Увеличится (1), уменьшится (2) или не изменится (3) разность потенциалов между пластинами заряженного и отключенного от источника тока конденсатора, если увеличить расстояние между его пластинами? Ответ обоснуйте. [1]

4.1.25. Увеличится (1), уменьшится (2) или не изменится (3) энергия заряженного и отключенного от источника тока конденсатора, если увеличить расстояние между его пластинами? Ответ обоснуйте. [1]

4.2.

4.2.1. Три одинаковых положительных заряда находятся в вершинах равностороннего треугольника (рис. 4.25). Нарисуйте график зависимости результирующей силы, действующей на любой из зарядов со стороны двух других, от расстояния между зарядами, если заряды начинают сближаться, но таким образом, что они всегда находятся в вершинах равностороннего треугольника.

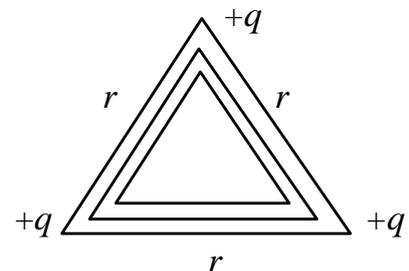


Рис. 4.25

4.2.2. Сила взаимодействия между двумя точечными зарядами в вакууме определяется с помощью закона Кулона. Напишите формулу для расчета напряженности электрического поля, создаваемого одним из этих зарядов. Нарисуйте график зависимости напряженности E от величины заряда q , создающего поле на расстоянии r от заряда.

4.2.3. Напишите формулу напряженности E электрического поля, созданного в вакууме точечным зарядом q . Нарисуйте график зависимости напряженности электрического поля от расстояния между этим зарядом и соответствующей точкой поля, $E(r)$.

4.2.4. Напишите формулу напряженности E электрического поля, созданного в вакууме точечным зарядом q . Нарисуйте график зависимости напряженности электрического поля от квадрата расстояния между этим зарядом и соответствующей точкой поля, $E(r^2)$.

4.2.5. Положительный точечный заряд перемещается в направлении, противоположном направлению силовых линий однородного электрического поля. Напишите формулу работы этого поля по перемещению заряда. Нарисуйте график зависимости работы A поля по перемещению заряда от величины заряда q .

4.2.6. Отрицательный точечный заряд перемещается в направлении, противоположном направлению силовых линий однородного электрического поля. Напишите формулу работы этого поля по перемещению заряда. Нарисуйте график зависимости работы A поля по перемещению заряда от величины заряда q .

4.2.7. Напишите формулу потенциала φ электрического поля, созданного в вакууме точечным зарядом q . Постройте график зависимости потенциала от расстояния между этим зарядом и соответствующей точкой поля.

4.2.8. Напишите формулу потенциала φ электрического поля, созданного в вакууме точечным зарядом q . Постройте график зависимости потенциала в точке, находящейся на расстоянии r от заряда, от величины заряда, создающего поле.

4.2.9. Напишите формулу потенциальной энергии W_p положительного точечного заряда q , помещенного в электрическое поле, потенциал каждой точки которого $\varphi < 0$. Постройте график зависимости этой энергии от величины помещенного в поле заряда.

4.2.10. Напишите формулу, связывающую напряженность однородного электрического поля с разностью потенциалов между двумя точками этого поля. Нарисуйте график зависимости модуля напряженности E поля от расстояния l между точками однородного электрического поля.

4.2.11. На (рис. 4.26) представлены графики зависимости напряженности электрического поля от разности потенциалов двух его точек. Какой из этих графиков (1, 2, 3 или 4) соответствует зависимости между напряженностью однородного электрического поля E и разностью потенциалов двух точек поля, находящихся на одной линии напряженности? [2]

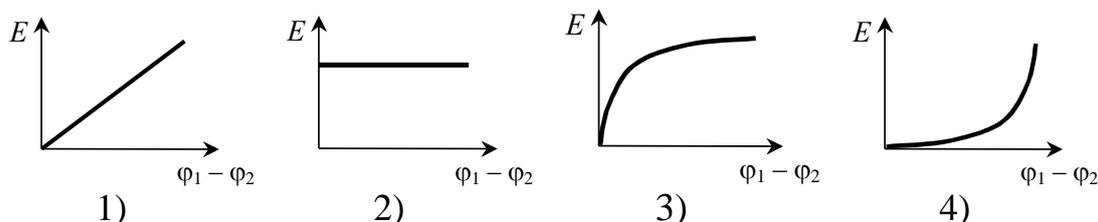


Рис. 4.26

4.2.12. Напишите формулу, определяющую емкость плоского конденсатора. Нарисуйте график зависимости емкости плоского конденсатора от расстояния между пластинами.

4.2.13. Напишите формулу, определяющую емкость плоского конденсатора. Нарисуйте график зависимости емкости плоского конденсатора от площади пластин конденсатора.

4.2.14. Напишите формулу для определения энергии заряженного плоского конденсатора. Нарисуйте график зависимости энергии W заряженного конденсатора от величины разности потенциалов $\Delta\phi$ на его обкладках.

4.2.15. На рис. 4.27 представлен график зависимости величины заряда q на уединенном проводнике от величины потенциала ϕ этого проводника. Чему равна емкость проводника? Ответ представьте в нанофарадах. Ответ обоснуйте. [2]

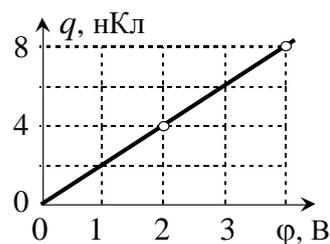


Рис. 4.27

4.2.16. На рис. 4.28 представлен график зависимости величины заряда q на уединенных проводниках 1 и 2 от величины потенциала ϕ этих проводников. Емкость какого про-

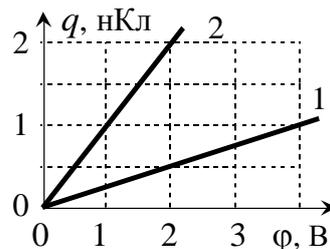


Рис. 4.28

водника (1 или 2) больше и во сколько раз? Ответ обоснуйте. [2-го в 4 раза]

4.2.17. На рис. 4.29 дана зависимость потенциала φ электростатического поля от координаты x . На каком участке напряженность поля равна нулю? Ответ обоснуйте. [3–4]

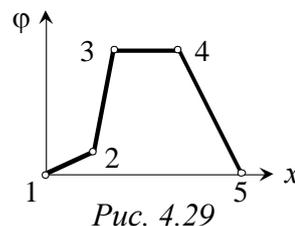


Рис. 4.29

4.2.18. На рис. 4.30 дана зависимость потенциала φ электростатического поля от координаты x . На каком участке величина напряженности поля максимальна? Ответ обоснуйте. [4–5]



Рис. 4.30

4.2.19. Постройте график зависимости напряженности E электрического поля положительно заряженного металлического шарика радиусом r_0 от расстояния от центра шарика до любой точки поля в радиальном направлении.

4.2.20. Постройте график зависимости потенциала φ электрического поля положительно заряженного металлического шарика радиусом r_0 от расстояния от центра шарика до любой точки поля в радиальном направлении.

4.2.21. Конденсатор переменной емкости подключен к источнику постоянного тока. Напишите формулу для определения энергии заряженного конденсатора. Нарисуйте график зависимости энергии W заряженного конденсатора от величины его емкости.

4.2.22. Заряженный конденсатор переменной емкости отключен от источника постоянного тока. Нарисуйте график зависимости энергии W электрического поля от величины емкости конденсатора.

4.2.23. Электрон ускоряется в однородном электрическом поле. Напишите формулу для определения изменения кинетической энергии частицы от ускоряющей разности потенциалов. Нарисуйте график зависимости изменения кинетической энергии электрона от разности потенциалов между начальной и текущей точками траектории движения электрона в поле. Релятивистский эффект не учитывать. Ответ обоснуйте.

4.2.24. Электрон с начальной нулевой скоростью ускоряется в однородном электрическом поле. Напишите формулу для определения изменения кинетической энергии частицы от ускоряющей разности потенциалов. Нарисуйте график зависимости скорости электрона от разности потенциалов между начальной и текущей точками траектории движения электрона в поле. Релятивистский эффект не учитывать. Ответ обоснуйте.

4.2.25. График зависимости энергии заряженного конденсатора от разности потенциалов между обкладками конденсатора представлен на рис. 4.31. Чему равен заряд конденсатора (в микрокулонах) при напряжении между обкладками, равном 200 В? [400]

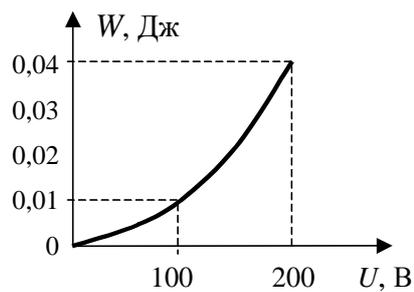


Рис. 4.31

4.3.

4.3.1. Два маленьких одинаковых металлических шарика, заряженные положительными зарядами $+q$ и $+5q$, находятся на некотором расстоянии друг от друга. Шарики привели в соприкосновение и раздвинули на прежнее расстояние. Во сколько раз увеличится модуль силы взаимодействия шаров? [1,8]

4.3.2. Незаряженный металлический шарик поочередно касается двух других таких же шариков, заряженных одинаковыми зарядами q . Какой заряд будет иметь металлический шарик после касания последнего из двух шариков? Ответ обоснуйте. [$3q/4$]

4.3.3. Как изменится сила кулоновского взаимодействия двух небольших заряженных шаров, если электрический заряд каждого шара увеличить в 2 раза, а расстояние между центрами шаров увеличить в 4 раза? Ответ обоснуйте. [Уменьшится в 4 раза]

4.3.4. Во сколько раз надо уменьшить расстояние между двумя зарядами, чтобы при погружении их в керосин сила взаимодействия между ними была такая же, как в воздухе? Ответ округлите до десятых. Ответ обоснуйте. [1,4]

4.3.5. Два точечных заряда, находясь в вакууме на расстоянии 5 см друг от друга, взаимодействуют с силой, равной 120 мкН, а в некоторой непроводящей жидкости на расстоянии 10 см – с силой, равной 15 мкН. Какова диэлектрическая проницаемость жидкости? [2]

4.3.6. На рис. 4.32 изображен вектор напряженности электрических полей в точках, равноудаленных от одинаковых по модулю зарядов, помещенных в различные среды. Диэлектрическая проницаемость какой среды (*a*, *b* или *c*) больше? [*a*]

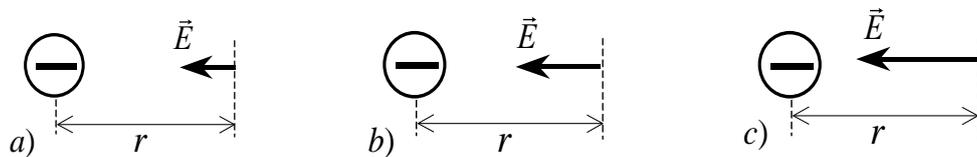


Рис. 4.32

4.3.7. Расположение зарядов показано на рис. 4.33 *a* и *b*. На каком рисунке (*a* или *b*) результирующая сила, действующая на заряд $+q$ в точке *A* со стороны двух других зарядов, больше и во сколько раз? Ответ обоснуйте. [*b*; в $\sqrt{3}$ раз]

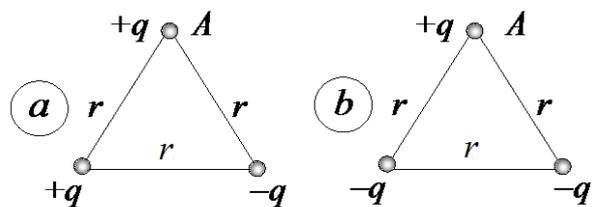


Рис. 4.33 *a*, *b*

4.3.8. Два заряда $|q_1| > |q_2|$ противоположных знаков создают электростатическое поле (рис. 4.34). В какой из отмеченных трех точек *A*, *B*, *C* напряженность поля может быть равна нулю? Ответ обоснуйте и представьте в виде буквы, обозначающей выбранную вами точку. [*C*]

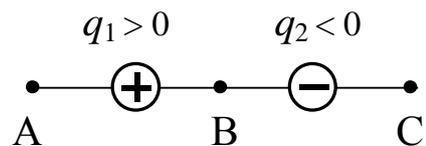


Рис. 4.34

4.3.9. Два равных заряда $|q_1| = |q_2|$ противоположных знаков создают электростатическое поле (рис. 4.35). В какой из отмеченных трех точек *A*, *B*, *C* напряженность поля наибольшая? Ответ обоснуйте и представьте в виде буквы, обозначающей выбранную Вами точку. [*B*]

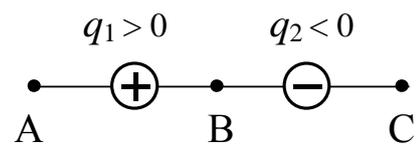


Рис. 4.35

4.3.10. Два заряда $|q_1| > |q_2|$ противоположных знаков создают электростатическое поле (рис. 4.36). В каких интервалах (1, 2, 3) потенциал поля может быть равным нулю? Ответ обоснуйте. [2 и 3]

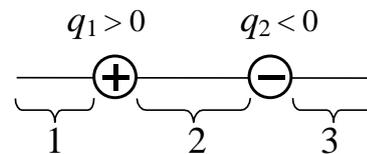


Рис. 4.36

4.3.11. Два одинаковых по величине точечных заряда находятся на некотором расстоянии друг от друга (рис. 4.37). В каком случае напряженность электрического поля в точке А, лежащей посередине между зарядами, больше: если заряды одноименные (1) или разноименные (2)? Ответ обоснуйте. [2]

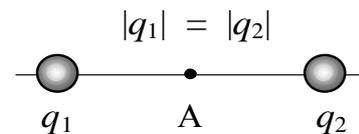


Рис. 4.37

4.3.12. Положительный точечный заряд q перемещается по замкнутому контуру в поле отрицательного точечного заряда q_0 , рис. 4.38. Направление перемещения показано на рисунке стрелками. На каком участке (1, 2, 3 или 4) работа поля по перемещению заряда положительна ($A > 0$)? Ответ обоснуйте. [3]

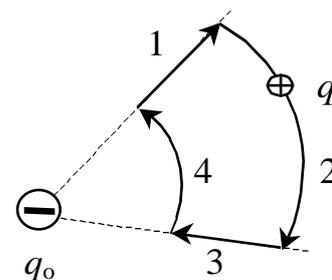


Рис. 4.38

4.3.13. Сравните работы по перемещению положительного пробного заряда между точками А и В, А и С, С и В, находящимися на эквипотенциальной поверхности электростатического поля, созданного отрицательным точечным зарядом (рис. 4.39). Ответ обоснуйте. [0]

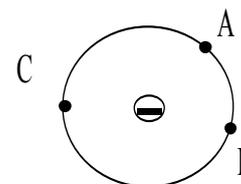


Рис. 4.39

4.3.14. Положительный заряд равномерно перемещают в однородном электростатическом поле из точки В в точку С и обратно по траекториям, показанным на рис. 4.40. При перемещении по траектории 2 совершена работа А. Чему равна суммарная работа по перемещению заряда в точку С и обратно? [0]

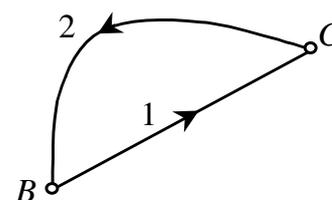


Рис. 4.40

4.3.15. Рассмотрим два конденсатора 1 и 2. Зарядим их до одинаковой разности потенциалов. Пусть при этом заряд на конденсаторе 1 в два раза больше, чем на конденсаторе 2. Во сколько раз емкость первого конденсатора больше, чем емкость второго конденсатора? Ответ обоснуйте. [2]

4.3.16. Два одинаковых плоских конденсатора зарядили до одинаковой разности потенциалов и отключили от источника тока. В конденсатор 1 поместили диэлектрик с относительной диэлектрической проницаемостью ϵ_1 , а в конденсатор 2 – с относительной диэлектрической проницаемостью ϵ_2 ($\epsilon_1 > \epsilon_2$). В каком конденсаторе напряженность электрического поля будет больше и во сколько раз? Ответ обоснуйте. [Во 2-м, в ϵ_1/ϵ_2 раз]

4.3.17. Обкладки плоского воздушного конденсатора присоединили к аккумулятору. Уменьшится ли напряженность поля в этом конденсаторе, если его, не отключая от аккумулятора, поместить в непроводящую жидкость с диэлектрической проницаемостью ϵ ? Ответ обоснуйте. [Нет]

4.3.18. Пластины заряженного и отключенного от батареи конденсатора раздвинули, увеличив расстояние между ними в 1,5 раза. Как изменилась напряженность поля в конденсаторе? Ответ обоснуйте. [Не изменилась]

4.3.19. Чему равна напряженность электрического поля в центре равномерно заряженного проволочного кольца, имеющего форму окружности? Ответ обоснуйте. [0]

4.3.20. Как изменится энергия плоского воздушного конденсатора, если при неизменной разности потенциалов между пластинами конденсатора уменьшить расстояние между пластинами в 2 раза? Ответ обоснуйте. [2]

4.3.21. На рис. 4.41 показан один и тот же конденсатор, заполненный различными диэлектриками с диэлектрической проницаемостью $\epsilon_1 < \epsilon_2 < \epsilon_3$. В каком случае (1, 2 или 3) емкость

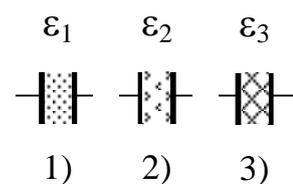


Рис. 4.41

конденсатора больше? Ответ обоснуйте. [3]

4.3.22. Во сколько раз емкость батареи, изображенной на рис. 4.42, больше емкости батареи, изображенной на рис. 4.43? Ответ обоснуйте. [9]

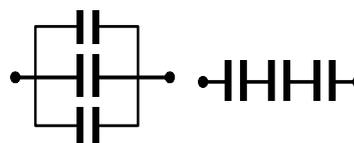


Рис. 4.42

Рис. 4.43

4.3.23. Чему равно отношение зарядов q_1/q_2 на конденсаторах емкостями $4C$ и C , рис. 4.44? Ответ обоснуйте. [1]

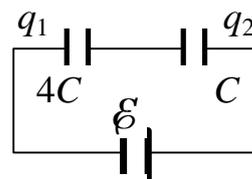


Рис. 4.44

4.3.24. Чему равно отношение зарядов q_1/q_2 на конденсаторах емкостями $4C$ и C , рис. 4.45? Ответ обоснуйте. [4]

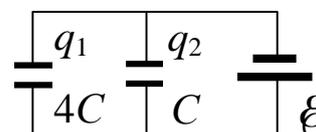


Рис. 4.45

4.3.25. Во сколько раз потенциальная электростатическая энергия системы (рис. 4.46) трех положительных зарядов q , расположенных вдоль одной прямой на расстоянии a друг от друга, больше потенциальной энергии системы двух таких же зарядов на том же расстоянии друг от друга? [В 2,5 раза]

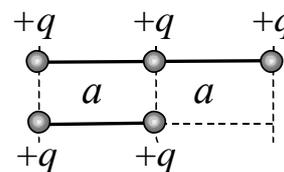


Рис. 4.46

4.4.

4.4.1. Два одинаковых металлических шарика имеют заряды $+0,3$ мкКл и $-0,1$ мкКл. Определите заряд первого шарика после его соединения со вторым шариком. Ответ представьте в единицах СИ. [10^{-7}]

4.4.2. В наэлектризованном теле недостает 10^{19} электронов. Какова величина заряда тела? Ответ представьте в единицах СИ. [1,6]

4.4.3. Найдите силу взаимодействия зарядов 1 мкКл и 2 мкКл на расстоянии 1 см друг от друга. Ответ представьте в единицах СИ. [180]

4.4.4. Найдите величину каждого из двух одинаковых зарядов, если в трансформаторном масле на расстоянии 6 см друг от друга они взаимодействуют с силой 0,04 мН. Ответ представьте в нанокюлонах. [6]

4.4.5. Расстояние электрона от ядра атома водорода $1 \cdot 10^{-10}$ м. Найдите силу электростатического взаимодействия электрона с ядром в атоме водорода. Ответ представьте в наноньютонах и округлите до целого числа. [23]

4.4.6. Два заряда по $4 \cdot 10^{-8}$ Кл, разделенных слюдой толщиной 1 см, взаимодействуют с силой $2,05 \cdot 10^{-2}$ Н. Определите диэлектрическую проницаемость слюды. [7]

4.4.7. Напряженность поля между двумя погруженными в керосин пластинами равна 15 кВ/см. Определите напряженность этого поля после удаления масла. Ответ представьте в мегавольтах на метр. [3]

4.4.8. В некоторой точке напряженность электрического поля, создаваемого одним точечным зарядом $E_1 = 30$ Н/Кл, а другим – $E_2 = 40$ Н/Кл. Известно, что угол между направлениями векторов \vec{E}_1 и \vec{E}_2 равен $\pi/2$. Определите результирующую напряженность электрического поля в этой точке. Ответ представьте в единицах СИ. [50]

4.4.9. Два электрических заряда создают вокруг себя электрическое поле напряженностью \vec{E}_1 и \vec{E}_2 . В точке А пространства векторы \vec{E}_1 и \vec{E}_2 направлены таким образом, что угол между ними равен 60° . Определите величину напряженности E результирующего поля в этой точке, если $E_1 = 100$ В/м, $E_2 = 200$ В/м. Ответ представьте в единицах СИ и округлите до целого числа. [265]

4.4.10. Напряженность электрического поля в некоторой точке равна 400 В/м. Определите силу, с которой поле в данной точке будет действовать на помещенный точечный заряд $4,5 \cdot 10^{-6}$ Кл. Ответ представьте в миллиньютонах. [1,8]

4.4.11. Определите напряженность электрического поля, созданного точечным зарядом $2 \cdot 10^{-8}$ Кл на расстоянии от этого заряда 1 м. Ответ представьте в единицах СИ. [180]

4.4.12. Точечный заряд 10 нКл , находясь в некоторой точке поля, обладает потенциальной энергией 10 мкДж . Найдите потенциал этой точки поля. Ответ представьте в единицах СИ. [1000]

4.4.13. При внесении заряда $2 \cdot 10^{-8} \text{ Кл}$ из бесконечности в электрическое поле была совершена работа $6 \cdot 10^{-6} \text{ Дж}$. Определите потенциал точки поля, в которую внесен заряд. Ответ представьте в единицах СИ. [300]

4.4.14. Определите разность потенциалов между обкладками плоского конденсатора, находящимися на расстоянии 2 мм друг от друга, если известно, что напряженность созданного между ними однородного электрического поля равна $1,5 \cdot 10^5 \text{ В/м}$. Ответ представьте в единицах СИ. [300]

4.4.15. Металлическому шару радиусом 10 см сообщен заряд, равный $-12,56 \cdot 10^{-8} \text{ Кл}$. Определите поверхностную плотность заряда. Ответ представьте в единицах СИ. [-10^{-6}]

4.4.16. Электрические потенциалы двух одинаковых изолированных проводников, находящихся в воздухе, равны $+110 \text{ В}$ и -110 В . Какую работу (в джоулях) совершит электрическое поле этих двух заряженных проводников при переносе заряда $5 \cdot 10^{-4} \text{ Кл}$ с одного проводника на другой? [0,11]

4.4.17. Какой скоростью обладает электрон, пролетевший ускоряющую разность потенциалов 100 В ? Ответ представьте в мегаметрах в секунду и округлите до целого числа. [6]

4.4.18. Энергию движущейся заряженной частицы принято выражать в электронвольтах (эВ). Один электронвольт – это энергия, которую приобретает электрон после прохождения в вакууме ускоряющей разности потенциалов 1 В . Вычислите, какая энергия соответствует 1 эВ в единицах СИ. [$1,6 \cdot 10^{-19}$]

4.4.19. Электрон ускоряется разностью потенциалов 10 В . На сколько увеличится его кинетическая энергия? Ответ представьте в электронвольтах. [10]

4.4.20. Электрический потенциал на поверхности металлического шара равен 120 В. Чему равны напряженность и потенциал электрического поля внутри этого шара? Ответ представьте в единицах СИ. [0; 120]

4.4.21. В паспорте конденсатора указано: “150 мкФ”; “200 В”. Какой наибольший допустимый электрический заряд можно сообщить данному конденсатору? Ответ представьте в единицах СИ. [0,03]

4.4.22. Какой электроемкостью обладает Земля? Ответ представьте в микрофарадах и округлите до десятых. [0,7]

4.4.23. Определите электроемкость батареи конденсаторов, изображенной на рис. 4.47, если $C_1 = 0,1$ мкФ, $C_2 = 0,4$ мкФ, $C_3 = 0,52$ мкФ. Ответ представьте в микрофарадах. [0,6]

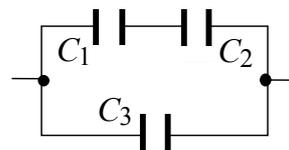


Рис. 4.47

4.4.24. Электроемкость батареи конденсаторов, изображенной на рис. 4.48, равна 1 мкФ. Определите емкость конденсатора C_3 , если $C_1 = 0,8$ мкФ, $C_2 = 1,2$ мкФ. Ответ представьте в микрофарадах. [2]

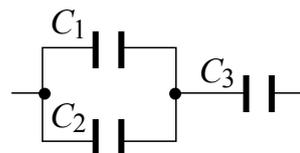


Рис. 4.48

4.4.25. При сообщении конденсатору заряда $5 \cdot 10^{-6}$ Кл его энергия оказалась равной 0,01 Дж. Определите напряжение на обкладках конденсатора. Ответ представьте в киловольтах. [4]

4.5.

4.5.1. Два шарика, расположенные на расстоянии 10 см друг от друга, имеют отрицательные одинаковые заряды и взаимодействуют с силой 0,23 мН. Найдите число “избыточных” электронов на каждом шарике. Ответ округлите до первой значащей цифры. [$1 \cdot 10^{11}$]

4.5.2. Сколько электронов потеряла каждая из двух одинаковых маленьких капелек, находящихся на расстоянии 0,09 м друг от друга в воздухе, если они отталкиваются с силой $7 \cdot 10^{-19}$ Н? Ответ округлите до целого числа. [4961]

4.5.3. Два положительных точечных заряда q и $4q$ закреплены на расстоянии 60 см друг от друга. Определите, на каком расстоянии от большего заряда должен находиться заряд q_0 , чтобы он находился в равновесии. Ответ представьте в сантиметрах. [40]

4.5.4. Расстояние между зарядами (рис. 4.49) $q_1 = 180$ нКл и $q_2 = 720$ нКл равно 60 см. Определите, на каком расстоянии x от заряда q_1 следует поместить заряд q_3 , чтобы заряд q_3 находился в равновесии. Ответ представьте в сантиметрах. [20]

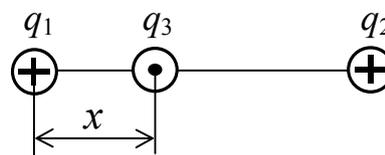


Рис. 4.49

4.5.5. В некоторой точке напряженность электростатического поля 10^3 В/м. Определите ускорение электрона, помещенного в эту точку. Ответ представьте в единицах СИ и округлите до первой значащей цифры. [$2 \cdot 10^{14}$]

4.5.6. Два точечных заряда одинаковой величины $q = 1$ нКл находятся на расстоянии R друг от друга. В какую точку следует поместить точечный заряд q_0 , чтобы система находилась в равновесии? Найдите заряд q_0 в нанокюлонах. [В точку, расположенную на середине отрезка; $-0,25$]

4.5.7. Два точечных заряда 0,6 мкКл и $-0,3$ мкКл находятся в вакууме на расстоянии 10 см друг от друга. На каком расстоянии от положительного заряда находится точка, в которой напряженность электрического поля равна нулю? Ответ представьте в сантиметрах и округлите до целого числа. [34]

4.5.8. Два одноименных точечных заряда $1 \cdot 10^{-8}$ Кл и $4 \cdot 10^{-8}$ Кл расположены на расстоянии 30 см друг от друга. На каком расстоянии от меньшего заряда находится точка, в которой напряженность поля равна нулю? Ответ представьте в сантиметрах. [10]

4.5.9. Два точечных заряда, равные $-1 \cdot 10^{-8}$ Кл и $4 \cdot 10^{-8}$ Кл, расположены на расстоянии 0,2 м друг от друга. Определите напряженность поля в точке посередине между зарядами. Ответ представьте в киловольтах на метр. [45]

4.5.10. Определите заряд пылинки массой 0,01 г, если она находится в равновесии в поле напряженностью 1000 Н/Кл. Ответ представьте в единицах СИ. [10^{-7}]

4.5.11. На расстоянии 10 см от положительного точечного заряда потенциал электрического поля равен 45 В. Определите потенциал точек поля на расстоянии 30 см. Ответ представьте в единицах СИ. [15]

4.5.12. Во всех углах квадрата со стороной 10 см расположены точечные заряды $3 \cdot 10^{-7}$ Кл. Определите потенциал поля в центре квадрата. Ответ представьте в киловольтах и округлите до целого числа. [153]

4.5.13. В вершинах квадрата расположены точечные заряды: 1,33 нКл; $-0,66$ нКл; 0,99 нКл; 1,32 нКл. Определите потенциал поля в центре квадрата, если его диагональ равна 20 см. Ответ представьте в единицах СИ и округлите до целого числа. [268]

4.5.14. Заряды $q_1 = 1$ мкКл и $q_2 = -1$ мкКл находятся на расстоянии $d = 10$ см (рис. 4.50). Определите потенциал ϕ поля в точке А, удаленной на расстояние $r = 10$ см от q_1 . Ответ представьте в кВ и округлите до целого числа. [26]

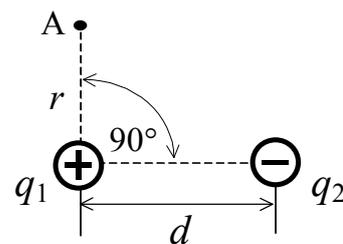


Рис. 4.50

4.5.15. Потенциал заряженного проводника 300 В. Какой минимальной скоростью должен обладать электрон, чтобы улететь с поверхности проводника на бесконечно далекое расстояние? Ответ представьте в мегаметрах за секунду и округлите до целого числа. [10]

4.5.16. При перемещении точечного заряда 10^{-8} Кл из бесконечности в данную точку поля была совершена работа 10^{-5} Дж. Определите работу по перемещению этого заряда из данной точки поля в точку с потенциалом 500 В. Ответ представьте в микроджоулях. [5]

4.5.17. Определите разность потенциалов начальной и конечной точек пути электрона в электрическом поле, если его скорость увеличилась от $1 \cdot 10^6$ до $3 \cdot 10^6$ м/с. Ответ представьте в единицах СИ. [22,75]

4.5.18. Заряженная частица прошла ускоряющую разность потенциалов 600 В и приобрела скорость $5,4 \cdot 10^6$ м/с. Определите удельный заряд частицы (отношение заряда к массе). Ответ представьте в гигакулонах на килограмм. [24,3]

4.5.19. Электрон и протон ускоряются в одном и том же электрическом поле. Считая их начальные скорости равными нулю, определите отношение модулей этих скоростей после прохождения электроном и протоном одной и той же разности потенциалов. Принять отношение массы протона к массе электрона равным 1836. Заряд электрона по модулю равен заряду протона. Ответ округлите до целого числа. [43]

4.5.20. Материальная точка с зарядом 0,67 нКл, двигаясь в ускоряющем электрическом поле, приобретает кинетическую энергию 10 МэВ. Найдите разность потенциалов между начальной и конечной точками траектории частицы в поле, если ее начальная кинетическая энергия равна нулю. Ответ представьте в милливольтгах и округлите до десятых. [2,4]

4.5.21. Две плоские параллельные бесконечные пластины, находящиеся на расстоянии 10 см друг от друга, заряжены до разности потенциалов 1 кВ. Какая сила будет действовать на заряд $1 \cdot 10^{-4}$ Кл, помещенный между пластинами? Ответ представьте в единицах СИ. [1]

4.5.22. Между пластинами плоского конденсатора находится плотно прилегающая стеклянная пластинка. Конденсатор заряжен до разности потенциалов 100 В и отключен от источника. Какова будет разность потенциалов на пластинах этого конденсатора без стекла? Ответ представьте в единицах СИ. [600]

4.5.23. Напряженность электрического поля между пластинами плоского конденсатора емкостью 4 мкФ равна 10^3 В/м. Расстояние между пластинами 1 мм. Определите энергию электрического поля конденсатора. Ответ представьте в микроджоулях. [2]

4.5.24. Три одинаковых конденсатора соединены, как показано на рис. 4.51. При разности потенциалов 10^3 В между точками А и В энергия этой батареи конденсаторов равна 1 Дж. Чему равна емкость каждого конденсатора? Ответ представьте в микрофарадах. [6]



Рис. 4.51

4.5.25. Три одинаковых конденсатора соединены, как показано на рис. 4.52. При разности потенциалов 10^3 В между точками А и В энергия этой батареи конденсаторов равна 3 Дж. Чему равна емкость каждого конденсатора? Ответ представьте в микрофарадах. [2]

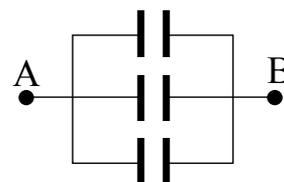


Рис. 4.52

4.6.

4.6.1. Два одинаковых по знаку точечных заряда $q_1 = 1,2 \cdot 10^{-8}$ Кл и $q_2 = 2,4 \cdot 10^{-8}$ Кл находятся в вакууме на расстоянии 9 см друг от друга. Определите величину силы, действующей на точечный заряд $q = 3 \cdot 10^{-9}$ Кл, помещенный между q_1 и q_2 на соединяющей их линии в 3 см от меньшего заряда. Ответ представьте в миллиньютонах. [0,18]

4.6.2. Два одинаково заряженных шарика, имеющих массу 0,5 г каждый, подвешенных на нитях длиной 1 м, разошлись на 4 см друг от друга. Найдите заряд каждого шарика. Ответ представьте в нанокулонах и округлите до десятых. [4,2]

4.6.3. В вершинах шестиугольника со стороной 10 см расположены равные точечные заряды q ($q = 0,1$ мкКл). Один из зарядов отрицательный. Найдите силу F , действующий на точечный заряд $q_0 = 0,1$ мкКл, находящийся в плоскости шестиугольника и равноудаленный от его вершин. Ответ представьте в миллиньютонах и округлите до целого числа. [18]

4.6.4. В двух вершинах равностороннего треугольника со стороной 0,2 м помещены два разноименных заряда по 10^{-8} Кл. Найдите напряженность электрического поля в третьей вершине треугольника. Ответ представьте в единицах СИ. [2250]

4.6.5. Проводящий шар имеет поверхностную плотность заряда 2 нКл/м². Определите напряженность электрического поля в точке, удаленной от поверхности шара на расстояние, равное пяти радиусам шара. Ответ представьте в единицах СИ и округлите до десятых. [6,3]

4.6.6. Два положительных заряда каждый по 10^{-9} Кл, находятся на расстоянии 10 см друг от друга. Изобразите графически и вычислите значение напряженности поля в точке, расположенной на перпендикуляре, проходящем через середину прямой, соединяющей заряды, на расстоянии 5 см от этой прямой. Ответ представьте в киловольтах на метр и округлите до десятых. [2,5]

4.6.7. Напряженность поля плоского конденсатора 10^4 Н/Кл. Расстояние между пластинами 20 мм. Из отрицательно заряженной пластины вылетает электрон. Какова будет его скорость, когда он долетит до положительной пластины? Начальную скорость электрона принять равной нулю. Ответ представьте в мегаметрах за секунду и округлите до десятых. [8,4]

4.6.8. Электрон со скоростью $2 \cdot 10^7$ м/с влетает в однородное электрическое поле с напряженностью $3 \cdot 10^4$ В/м и движется в направлении силовых линий. Определите кинетическую энергию электрона в тот момент, когда он пройдет в поле расстояние 2 см. Ответ представьте в килоэлектронвольтах и округлите до сотых. [0,54]

4.6.9. Электрон со скоростью $2 \cdot 10^7$ м/с влетает в однородное электрическое поле с напряженностью $2,5 \cdot 10^4$ В/м и движется в направлении против силовых линий. Определите кинетическую энергию электрона в тот момент, когда он пройдет в поле расстояние 7 см. Ответ представьте в килоэлектронвольтах и округлите до десятых. [2,9]

4.6.10. Два точечных заряда $6,6 \cdot 10^{-9}$ Кл и $1,32 \cdot 10^{-8}$ Кл находятся на расстоянии 40 см друг от друга. Какую работу надо совершить, чтобы сблизить их до расстояния 25 см? Ответ представьте в микроджоулях и округлите до десятых. [1,2]

4.6.11. Воздушный конденсатор емкостью $C = 100$ мкФ заполняют парафином. Конденсатор какой емкости надо включить последовательно с данным, чтобы такая батарея вновь имела емкость C ? Ответ представьте в микрофарадах. [200]

4.6.12. К системе из двух последовательно соединенных конденсаторов емкостями 4 мкФ и 8 мкФ присоединен источник питания с напряжением 24 В. Чему равен заряд на каждом конденсаторе? Ответ представьте в микрокулонах. [64]

4.6.13. К конденсатору, электрическая емкость которого $C = 16$ пФ, подключают два одинаковых конденсатора емкостью C_X : один – параллельно, а второй – последовательно (рис. 4.53). Емкость образовавшейся батареи конденсаторов равна емкости C . Какова емкость C_X ? Ответ представьте в пикофарадах и округлите до целого числа. [26]

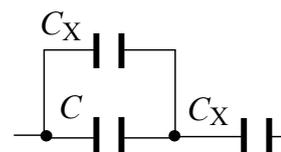


Рис. 4.53

4.6.14. Конденсатор емкостью 3 мкФ, заряженный до разности потенциалов 100 В, и конденсатор емкостью 4 мкФ, заряженный до разности потенциалов 50 В, соединили параллельно. Каким будет заряд на конденсаторе с большей емкостью после соединения? Ответ представьте в милликулонах и округлите до сотых. [0,29]

4.6.15. В термоядерной установке Токамак Т-10 мощность в импульсе электрического разряда $3 \cdot 10^6$ кВт, продолжительность импульса 1 с. Какой емкостью должна обладать батарея конденсаторов при напряжении 20 кВ, используемая в качестве накопителя энергии? Ответ представьте в единицах СИ. [15]

4.6.16. К воздушному конденсатору, заряженному до разности потенциалов 600 В и отключенному от источника напряжения, присоединили параллельно второй незаряженный конденсатор таких же размеров и формы, но с диэлектриком (фарфор). Определите диэлектрическую проницаемость фарфора, если после присоединения второго конденсатора разность потенциалов уменьшилась до 100 В. [5]

4.6.17. Плоский конденсатор, расстояние между пластинами которого $0,5$ мм, заряжен до разности потенциалов 10 В и отключен от источника. Какова будет разность потенциалов, если пластины раздвинуть до расстояния 5 мм? Ответ представьте в единицах СИ. [100]

4.6.18. Конденсатор емкостью $0,2$ мкФ заряжен до разности потенциалов 320 В. После того как его соединили параллельно со вторым конденсатором, заряженным до разности потенциалов 450 В, напряжение на нем изменилось до 400 В. Вычислите емкость второго конденсатора. Ответ представьте в микрофарадах и округлите до десятых. [0,3]

4.6.19. Конденсатор, заряженный до напряжения 100 В соединяют параллельно с конденсатором такой же емкости, но заряженным до напряжения 200 В. Определите установившееся напряжение при соедине-

нии одноименно заряженных пластин конденсаторов. Ответ представьте в единицах СИ. [150]

4.6.20. Два шара, радиусы которых 50 мм и 80 мм, а потенциалы, соответственно, 120 и 50 В, соединяют проводом. Найдите (в вольтах) потенциал шаров после их соединения. Ответ округлите до целого числа. [77]

4.6.21. Металлические шары, радиус одного из которых в два раза больше другого, заряжены электричеством с одинаковой поверхностной плотностью заряда. Найдите отношение потенциала меньшего шара к потенциалу большего шара. [0,5]

4.6.22. Два последовательно соединенных конденсатора, ёмкости которых 1 мкФ и 2 мкФ, подключены к источнику с напряжением 210 В. Найдите напряжение на конденсаторе меньшей емкости. Ответ представьте в единицах СИ. [140]

4.6.23. Емкость плоского воздушного конденсатора незаполненного диэлектриком равна 20 мкФ. Чему равна емкость этого конденсатора, если пространство между пластинами, как показано на рис. 4.54, до половины заполнить воском? Ответ представьте в микрофарадах. [88]

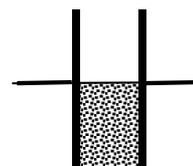


Рис. 4.54

4.6.24. На рис. 4.55 изображен вектор напряженности \vec{E} электрического поля в точке C , которое создано двумя точечными зарядами q_A и q_B . Каков заряд q_B , если заряд q_A равен $+2 \cdot 10^{-8}$ Кл? Ответ представьте в нанокюлонах. [+20]

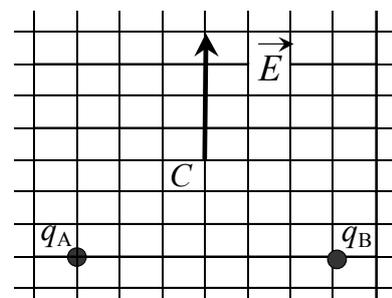


Рис. 4.55

4.6.25. На рис. 4.56 изображен вектор напряженности \vec{E} электрического поля в точке C , которое создано двумя точечными зарядами q_A и q_B . Каков заряд q_B , если заряд q_A равен $+1 \cdot 10^{-8}$ Кл? Ответ представьте в нанокюлонах и округлите до целого числа. [-10]

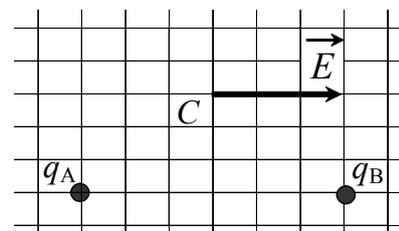


Рис. 4.56

4.7.

4.7.1. Каждой из двух одинаковых капелек воды, находящихся в воздухе, сообщен заряд $1,7 \cdot 10^{-16}$ Кл. При этом кулоновская сила отталкивания капелек уравновесила силу их гравитационного притяжения. Определите объем этих капелек. Ответ представьте в кубических миллиметрах и округлите до целого числа. [2]

4.7.2. Вокруг неподвижного точечного заряда 10^{-9} Кл, находящегося в вакууме, равномерно вращается под действием силы притяжения маленький шарик, заряженный отрицательно. Определите отношение заряда шарика к его массе, если радиус окружности, по которой движется шарик, равен 2 см, а угловая скорость вращения 3 рад/с. Ответ представьте в микрокулонах на килограмм. [8]

4.7.3. Конденсатор состоит из двух неподвижных вертикально расположенных, параллельных, разноименно заряженных пластин. Пластины расположены на расстоянии 5 см друг от друга. Напряженность поля внутри конденсатора равна 10^4 В/м. Между пластинами, на равном расстоянии от них, помещен шарик с зарядом 10^{-5} Кл и массой 20 г. После того как шарик отпустили, он начинает падать и ударяется об одну из пластин. Оцените время падения шарика. Ответ представьте в единицах СИ. [0,1]

4.7.4. Три одинаковых заряда $q = 1$ нКл каждый расположены в вершинах равностороннего треугольника. Какой отрицательный заряд q_0 нужно поместить в центре треугольника, чтобы его притяжение уравновесило силы взаимного отталкивания зарядов q ? Ответ представьте в нанокюлонах и округлите до сотых. [-0,58]

4.7.5. Три одинаковых отрицательных заряда по 9 нКл каждый расположены в вершинах равностороннего треугольника. Какой заряд нужно поместить в центре треугольника, чтобы все заряды находились в равновесии? Ответ представьте в нанокюлонах и округлите до десятых. [5,2]

4.7.6. В вершинах квадрата находятся одинаковые заряды по 0,3 нКл каждый. Какой отрицательный заряд q_5 нужно поместить в центре квадрата, чтобы сила взаимного отталкивания положительных зарядов была уравновешена силой притяжения отрицательного заряда? Ответ представьте в нанокюлонах и округлите до сотых. [-0,29]

4.7.7. Точечный заряд q , помещенный в начало координат, создает в точке А (рис. 4.57) электростатическое поле с напряженностью $E_1 = 65$ В/м. Какова величина напряженности поля E_2 в точке D? Ответ представьте в единицах СИ. [25]

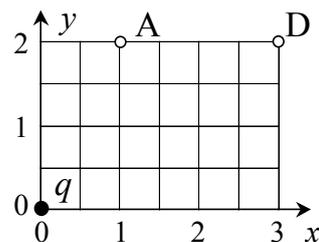


Рис. 4.57

4.7.8. Три отрицательных точечных заряда по $3 \cdot 10^{-7}$ Кл каждый расположены в вершинах равнобедренного прямоугольного треугольника. Определите напряженность электрического поля в точке посередине гипотенузы длиной 10 см. Ответ представьте в мегавольтах на метр и округлите до десятых. [1,1]

4.7.9. В трех вершинах квадрата со стороной 20 см расположены одинаковые по величине и знаку точечные заряды по 20 нКл. Заряды находятся в вакууме. Определите напряженность электрического поля в свободной от заряда вершине квадрата. Ответ представьте в вольтах на сантиметр и округлите до целого числа. [86]

4.7.10. Два одинаковых заряженных шарика притягиваются друг к другу. После того как шарики привели в соприкосновение и раздвинули на расстояние в 2 раза большее, чем прежде, сила взаимодействия между ними уменьшилась в 12 раз. Каков максимальный заряд (по величине) первого шарика, если заряд второго шарика был равен 10^{-9} Кл? Ответ представьте в нанокулонах. [3]

4.7.11. Заряженная положительным зарядом пылинка массой 10^{-8} г находится в равновесии внутри плоского конденсатора, пластины которого расположены горизонтально. Между пластинами создана разность потенциалов 6 кВ. На сколько необходимо изменить разность потенциалов, чтобы пылинка оставалась в равновесии, если ее заряд уменьшился на 10^3 элементарных зарядов? Расстояние между пластинами 5 см. Ответ представьте в единицах СИ и округлите до целого числа. [1426]

4.7.12. Шарик массой 20 мг, несущий заряд $2 \cdot 10^{-10}$ Кл, подвешен на изолирующей нити и помещен в плоский конденсатор. Расстояние между обкладками конденсатора 20 см, разность потенциалов 7 кВ. Определите угол, на который шарик отклонится от вертикали. Ответ представьте в градусах и округлите до целого числа. [2]

4.7.13. Шарик, имеющий массу 0,4 г и заряд $5 \cdot 10^{-7}$ Кл, подвешен на нити в однородном электрическом поле, силовые линии которого горизонтальны. На какой угол от вертикали отклонится при этом нить, если напряженность поля $8 \cdot 10^3$ В/м? Ответ представьте в градусах. [45]

4.7.14. В однородном электрическом поле с вектором напряженности ($E = 50$ кВ/м), направленным вертикально вниз, равномерно вращается шарик массой 10 г с положительным зарядом $2,5 \cdot 10^{-6}$ Кл. Шарик подвешен на нити длиной l . Угол отклонения нити от вертикали равен 60° . Найдите (в ньютонах) силу натяжения нити. [0,45]

4.7.15. Горизонтальная бесконечная плоскость заряжена с поверхностной плотностью 10^{-5} Кл/м². Каким должен быть положительный заряд шарика массой 1 мг, прикрепленного на шелковой нити к плоскости, чтобы нить была вертикальна и натянута с силой, в 2 раза большей силы тяжести шарика? Ответ представьте в пикокулонах. Решите задачу для двух случаев: а) шарик находится над плоскостью; в) шарик находится под плоскостью. [53,1; 17,7]

4.7.16. Проводящий шар радиусом 1 м равномерно заряжен по поверхности зарядом 1 нКл. Каково (в сантиметрах) минимальное расстояние между точками А и В, такими, что разность потенциалов между ними равна -1 В? [12,5]

4.7.17. Плоский конденсатор имеет площадь пластин 2000 см², расстояние между которыми 0,5 мм. В конденсаторе находится пластинка слюды толщиной 0,3 мм, в остальной части – воздух. Определите емкость конденсатора. Ответ представьте в нанофарадах и округлите до десятых. [7,3]

4.7.18. Емкость плоского конденсатора 200 пФ. Диэлектрик – фарфор. Конденсатор зарядили до разности потенциалов 600 В и отключили от источника напряжения. Какую работу нужно совершить, чтобы вынуть диэлектрик из конденсатора? Трение пренебрежимо мало. Ответ представьте в микроджоулях. [144]

4.7.19. Плоский заряженный конденсатор заполнен диэлектриком. Энергия конденсатора 20 мкДж. Конденсатор отключили от источника ЭДС. Затем диэлектрик вынули. Работа против сил электрического поля при вытаскивании диэлектрика равна 70 мкДж. Какова диэлектрическая проницаемость диэлектрика? [4,5]

4.7.20. Какое количество электрической энергии перейдет в теплоту при соединении одноименно заряженных пластин конденсаторов 2 мкФ и 0,5 мкФ, заряженных до напряжений 100 В и 50 В соответственно. Ответ представьте в миллиджоулях. [0,5]

4.7.21. Площадь пластин плоского воздушного конденсатора 0,01 м². Расстояние между ними 5 мм. Какая разность потенциалов была приложена к пластинам конденсатора, если при разряде конденсатора выделилось 50 мкДж теплоты? Ответ представьте в киловольтах и округлите до десятых. [2,4]

4.7.22. Энергия плоского воздушного заряженного конденсатора, отключенного от источника тока, равна 20 мкДж. Какую работу нужно совершить, чтобы увеличить расстояние между пластинами такого конденсатора в 3 раза? Ответ представьте в микроджоулях. [40]

4.7.23. Две параллельные незаряженные пластины с площадью 1 см² каждая находятся во внешнем однородном электрическом поле напряженностью 10³ В/м, перпендикулярном к пластинам. Определите заряды пластин после замыкания их проводником. Ответ представьте в единицах СИ. [8,85·10⁻¹³]

4.7.24. Два шара, радиусы которых 50 мм и 80 мм, а потенциалы соответственно 120 и 50 В соединяют проводом. Найдите заряд, перешедший с одного шара на другой после их соединения. Ответ представьте в нанокюлонах и округлите до сотых. [0,24]

4.7.25. Три одинаковые заряженные частицы каждая массой 2 г и зарядом 10⁻⁹ Кл поместили в вершинах равностороннего треугольника со стороной 10 см. Затем частицы одновременно освободили, после чего они стали симметрично разлетаться под действием кулоновских сил отталкивания. Найдите максимальное значение скорости частиц. Ответ представьте в миллиметрах за секунду и округлите до десятых. [9,5]

4.7.26. Найдите потенциальную электростатическую энергию системы трех положительных зарядов (рис. 4.58), равных 1 нКл, расположенных в вакууме на расстоянии $a = 1$ м друг от друга. Ответ представьте в наноджоулях. [22.5]

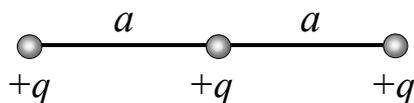


Рис. 4.58

4.7.27. Найдите потенциальную электростатическую энергию системы четырех положительных зарядов (рис. 4.59), равных 1 нКл, расположенных в вакууме на расстоянии $a = 1$ м друг от друга. Ответ представьте в наноджоулях. [39]

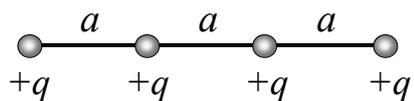


Рис. 4.59

4.7.28. Металлический шар радиусом 1 м, имеющий потенциал 1 В, окружают сферической оболочкой радиусом 2 м. Чему будет равен потенциал шара, если заземлить оболочку? Ответ представьте в единицах СИ. [0,5]

4.7.29. Металлический шар радиуса $R_1 = 5$ см, заряженный до потенциала 200 В, окружили незаряженной концентрической сферической проводящей оболочкой радиуса $R_2 = 20$ см (рис. 4.60). Чему станет равен потенциал шара, если его соединить проводником с оболочкой? Ответ представьте в единицах СИ. [50]

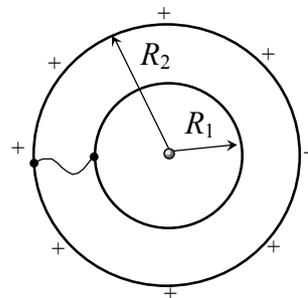


Рис. 4.60

4.7.30. Внутри шарового металлического слоя (рис. 4.61), внутренний и внешний радиусы которого соответственно равны $R_1 = 10$ см и $R_2 = 20$ см, на расстоянии $r_0 = 5$ см от центра находится положительный точечный заряд $q_0 = 2$ нКл. Чему равен потенциал в центре сферы? Ответ представьте в единицах СИ. [270]

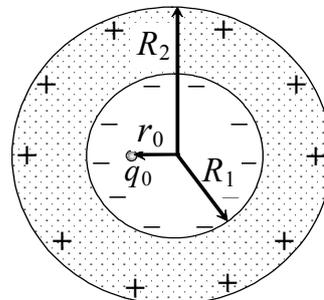


Рис. 4.61

4.8.

4.8.1. Четыре одинаковых положительных точечных заряда $3 \cdot 10^{-9}$ Кл находятся в вершинах квадрата. Найдите величину заряда, помещенного в центр квадрата, при котором система находится в равновесии. Ответ представьте в нанокулонах и округлите до десятых. $[-2,9]$

4.8.2. В вершинах правильного шестиугольника со стороной $a = 10$ см расположены точечные заряды: $q; 2q; 3q; 4q; 5q; 6q$ ($q = 0,1$ мкКл). Найдите силу F взаимодействия 7-го точечного заряда q с остальными. Седьмой заряд находится в плоскости шестиугольника и равноудален от его вершин. Ответ представьте в миллиньютонах. $[54]$

4.8.3. Точечный заряд q создает на расстоянии R от него электрическое поле с потенциалом $\varphi_0 = 10$ В. Три концентрические сферы радиусами $R, 2R$ и $3R$ имеют равномерно распределенные по их поверхностям заряды $q_1 = +2q, q_2 = -q, q_3 = +q$ соответственно (рис. 4.62). Каков потенциал поля в точке A , отстоящей от центра сфер на расстоянии $2,5R$? Ответ представьте в единицах СИ и округлите до десятых. $[7,3]$

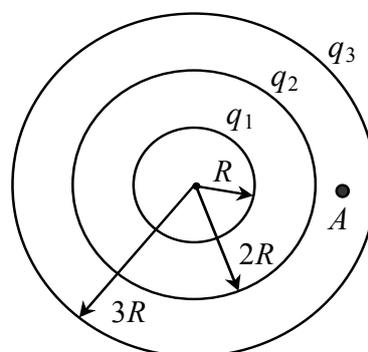


Рис. 4.62

4.8.4. Точечный заряд q создает на расстоянии R от него электрическое поле с потенциалом $\varphi_0 = 60$ В. Три концентрические сферы радиусами $R, 2R$ и $3R$ имеют равномерно распределенные по их поверхностям заряды $q_1 = -2q, q_2 = q_3 = +q$ соответственно (рис. 4.63). Каков потенциал поля в точке A , отстоящей от центра сфер на расстоянии $1,5R$? Ответ представьте в единицах СИ. $[-30]$

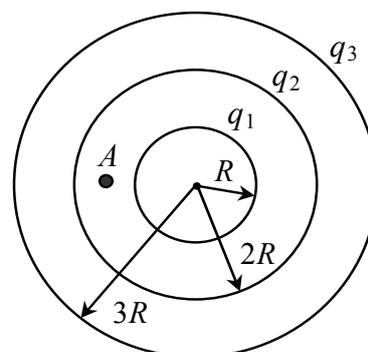


Рис. 4.63

4.8.5. Два одинаковых шарика подвешены в одной точке на нитях длиной 20 см каждая и находятся в вакууме. После сообщения шарикам одинаковых зарядов $4 \cdot 10^{-8}$ Кл они разошлись так, что нити образовали между собой угол 60° . Найдите массу каждого шарика. Ответ представьте в миллиграммах и округлите до целого числа. $[62]$

4.8.6. Два одинаковых шарика массой $0,1$ г каждый подвешены в одной точке на нитях длиной по 20 см. Шарика получили одинаковый заряд и разошлись. Нити образовали между собой угол 60° . Найдите заряд на каждом шарике. Ответ представьте в микрокулонах и округлите до сотых. [0,05]

4.8.7. Одинаковые шарика, подвешенные на нитях равной длины, закрепленных в одной точке, зарядили одинаковыми одноименными зарядами. Шарика оттолкнулись, и угол между нитями стал равен 60° . После погружения шариков в жидкий диэлектрик угол между нитями уменьшился до 50° . Найдите диэлектрическую проницаемость среды. Выталкивающей силой пренебречь. Ответ округлите до десятых. [1,7]

4.8.8. Два шарика равной массы, одинаково заряженных, подвешены в одной точке на нитях равной длины. При погружении шариков в масло угол расхождения нитей остался неизменным. Определите диэлектрическую проницаемость масла. Плотность материала шариков 1600 кг/м³. [2]

4.8.9. Два одинаковых шарика, которым сообщили равные по величине и знаку электрические заряды, подвешены на нитях равной длины и опущены в керосин. Какова должна быть плотность материала шариков, чтобы угол расхождения нитей в вакууме и керосине был один и тот же? Ответ представьте в единицах СИ. [1600]

4.8.10. Маленький шарик массой 100 мг и зарядом $16,7$ нКл подвешен на нити. На какое расстояние надо подвести к нему снизу одноименный и равный ему заряд, чтобы сила натяжения нити уменьшилась вдвое? Ответ представьте в сантиметрах и округлите до целого числа. [7]

4.8.11. Капелька масла радиусом 1 мкм, несущая на себе заряд двух электронов, находится в равновесии в электрическом поле расположенного горизонтально плоского конденсатора. К пластинам конденсатора, расстояние между которыми 8 мм, приложено напряжение 820 В. Чему равен заряд электрона? Принять $g = 9,8$ м/с². Ответ представьте в единицах СИ и округлите до второй значащей цифры. [$1,6 \cdot 10^{-19}$]

4.8.12. Шар, диаметр которого 1 см и заряд 1 мкКл, погружен в масло. Плотность материала шара 8600 кг/м^3 . Определите направленную вертикально вверх напряженность электрического поля, в которое надо поместить шар, чтобы он находился в равновесии. Ответ представьте в киловольтах на метр и округлите до целого числа. [41]

4.8.13. Стальной шар объемом $0,5 \text{ см}^3$, погруженный в керосин, находится в однородном электрическом поле напряженностью $3,5 \cdot 10^6 \text{ В/м}$, направленной вертикально вверх. Определите заряд шарика, если он находится в равновесии. Ответ представьте в нанокюлонах. [10]

4.8.14. Ртутный шарик, потенциал которого 1,2 кВ, разбивается на 27 одинаковых капелек. Определите потенциал каждой капельки. Ответ представьте в единицах СИ и округлите до целого числа. [133]

4.8.15. Протон с начальной скоростью 100 км/с влетел в однородное электрическое поле с напряженностью 300 В/см. Вектор скорости совпал с направлением линий напряженности. Какой путь должен пройти протон для удвоения его скорости? Ответ представьте в миллиметрах и округлите до десятых. [5,2]

4.8.16. Плоский воздушный конденсатор состоит из двух круглых пластин радиусом 10 см каждая. Расстояние между пластинами 1 см. Конденсатор зарядили до разности потенциалов 1,2 кВ и отключили от источника напряжения. Какую работу A нужно совершить чтобы, удаляя пластины друг от друга, увеличить расстояние между ними до 3,5 см? Ответ представьте в микроджоулях и округлите до целого числа. [50]

4.8.17. Электрон влетает в плоский горизонтальный конденсатор параллельно его пластинам со скоростью $2 \cdot 10^7 \text{ м/с}$. Напряженность поля в конденсаторе $2 \cdot 10^4 \text{ В/м}$, длина пластин конденсатора 5 см. Найдите величину скорости электрона при вылете его из конденсатора. Действие силы тяжести не учитывать. Ответ представьте в мегаметрах за секунду и округлите до целого числа. [22]

4.8.18. Электрон влетает в плоский воздушный конденсатор параллельно его пластинам со скоростью 10^6 м/с . Длина конденсатора 1 см, напряженность электрического поля в нем 500 В/м. Найдите смещение электрона при вылете его из конденсатора. Действие силы тяжести не

учитывать. Ответ представьте в единицах СИ, округлите до двух значащих цифр и умножьте на 10^4 . [44]

4.8.19. Электроны, ускоренные разностью потенциалов 1 кВ, влетают в электрическое поле отклоняющих пластин параллельно им, а затем попадают на экран, расположенный на расстоянии 0,1 м от конца пластин. На какое расстояние сместится электронный луч на экране, если на пластины, имеющие длину 0,05 м и расположенные на расстоянии 0,01 м одна от другой, подать напряжение 100 В? Поле в пространстве между пластинами считать однородным. Влиянием гравитационного поля пренебречь. Ответ представьте в миллиметрах. [31,25]

4.8.20. Конденсатор состоит из двух неподвижных, вертикально расположенных, параллельных, разноименно заряженных пластин. Пластины расположены на расстоянии 5 см друг от друга. Напряженность поля внутри конденсатора равна 10^4 В/м. Между пластинами, на равном расстоянии от них, помещен шарик с зарядом 10^{-5} Кл и массой 20 г. После того как шарик отпустили, он начинает падать и ударяется об одну из пластин. На сколько уменьшится высота шарика к моменту его удара об одну из пластин? Ответ представьте в сантиметрах. [5]

4.8.21. Отрицательно заряженное тело малого размера с зарядом $q = -10^{-5}$ Кл и массой $m = 20$ г начинает скользить без трения по незаряженной непроводящей наклонной плоскости, угол наклона которой $\varphi = 30^\circ$. Начальная скорость тела равна нулю. Горизонтальная непроводящая поверхность под наклонной плоскостью заряжена положительно и создает вертикально направленное однородное поле напряженностью $E = 10^4$ В/м. Какое время требуется телу для соскальзывания с вершины наклонной плоскости, высота которой $h = 50$ см, до основания? Ответ представьте в единицах СИ и округлите до сотых. [0,52]

4.8.22. В плоском конденсаторе, расположенном горизонтально и находящемся в вакууме, взвешена заряженная капелька ртути на равном расстоянии от пластин конденсатора. Расстояние между пластинами конденсатора 2 см. К конденсатору приложена разность потенциалов 500 В. Внезапно разность потенциалов падает до 490 В и равновесие капельки нарушается. Определите время, в течение которого капелька достигнет нижней пластины конденсатора. Ответ представьте в единицах СИ и округлите до сотых. [0,32]

4.8.23. Два одинаковых по размерам плоских конденсатора, один из которых воздушный, а второй заполнен фарфором, соединены, как показано на рис. 4.64. Конденсаторы зарядили до напряжения 100 В и отключили от источника напряжения. Какую работу надо совершить, чтобы вытащить фарфоровую пластинку из конденсатора? Емкость воздушного конденсатора $C = 1$ мкФ. Ответ представьте в миллиджоулях. [60]

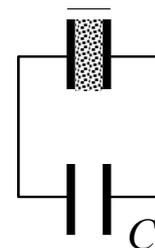


Рис. 4.64

4.8.24. Шарик массой 40 мг заряжен положительно. Величина заряда 1 нКл. Шарик движется из бесконечности с начальной скоростью 10 см/с. На какое минимальное расстояние может приблизиться шарик к покоящемуся положительному точечному заряду 1,33 нКл? Ответ представьте в сантиметрах и округлите до целого числа. [6]

4.8.25. Две частицы, имеющие массу 1 мг и заряд 10^{-9} Кл каждая, летят из бесконечности со скоростями $v_1 = 1$ м/с и $v_2 = 2$ м/с навстречу друг другу. На какое минимальное расстояние они могут сблизиться? Гравитационное взаимодействие не учитывать. Ответ представьте в миллиметрах. [4]

4.8.26. Шарик массой 10 мг, несущий электрический заряд 0,5 мкКл, влетает в горизонтальное однородное электрическое поле напряженностью 2 В/см вдоль силовых линий. При прохождении тормозящей разности потенциалов 10 В горизонтальная составляющая скорости шарика становится равной нулю. Найдите работу, которую совершает над шариком сила тяжести за это время. Ответ представьте в микроджоулях. [5]

4.8.27. Горизонтально расположенная, отрицательно заряженная пластина создает поле напряженностью 10^4 В/м. На нее с высоты 10 см падает шарик малого размера массой 20 г, имеющий положительный заряд 10^{-5} Кл и начальную скорость 1 м/с, направленную вертикально вниз. Какую энергию шарик передаст пластине при абсолютно неупругом ударе? Ответ представьте в единицах СИ. [0,04]

4.8.28. Горизонтально расположенная, положительно заряженная пластина создает поле напряженностью 10^4 В/м. На нее с высоты 10 см падает шарик малого размера массой 20 г, имеющий положительный заряд 10^{-5} Кл и начальную скорость 1 м/с, направленную вертикально

вниз. Какую энергию шарик передаст пластине при абсолютно неупругом ударе? Ответ представьте в единицах СИ. [0,02]

4.8.29. Отрицательно заряженная пластина, создающая вертикально направленное однородное электрическое поле напряженностью 10^4 В/м, укреплена на горизонтальной плоскости. На нее с высоты 10 см падает шарик массой 20 г, имеющий положительный заряд 10^{-5} Кл. Какой импульс шарик передаст пластине при абсолютно упругом ударе? Ответ представьте в единицах СИ и округлите до сотых. [0,07]

4.8.30. Положительно заряженная пластина, создающая вертикально направленное однородное электрическое поле напряженностью 10^4 В/м, укреплена на горизонтальной плоскости. На нее с высоты 10 см падает шарик массой 20 г, имеющий положительный заряд 10^{-5} Кл. Какой импульс передаст шарик пластине при абсолютно неупругом ударе? Ответ представьте в единицах СИ и округлите до сотых. [0,02]

4.8.31. *Конденсатор зарядили до 100 В и подключили к нему резистор. Сразу после этого за некоторый интервал времени в цепи выделилось в виде тепла энергия 1 Дж, а за следующий такой же интервал – энергия 0,3 Дж. Определите емкость конденсатора. Принять, что за одинаковый интервал времени энергия конденсатора уменьшается в одинаковое число раз. Ответ представьте в микрофарадах и округлите до целого числа. [286]

4.8.32. *Три маленьких заряженных шарика с зарядами $q_1 = -1$ нКл, $q_2 = 5$ нКл и $q_0 = 10^{-8}$ Кл соответственно закреплены в вакууме вдоль одной прямой на расстоянии $a = 1$ см друг от друга (рис. 4.65). Какую максимальную скорость приобретет правый шарик массой $m_0 = 10$ нг, если его освободить? Ответ представьте в единицах СИ. [90]

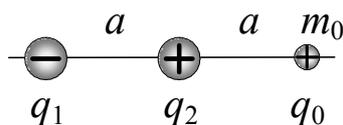


Рис. 4.65

4.8.33. *Два небольших шарика массой 10^{-6} кг, несущие заряд 10^{-6} Кл каждый, соединены непроводящей нитью длиной 1 м. В некоторый момент времени середина нити начинает двигаться со скоростью 100 м/с, перпендикулярно направлению нити в начальный момент времени. Определите, на какое минимальное расстояние сблизятся шарики. Ответ представьте в сантиметрах и округлите до целого числа. [47]

4.8.34. *Два шарика с зарядами q_1 и q_2 имели вначале одинаковые по модулю и направлению скорости. После того, как на некоторое время было включено однородное электрическое поле, направление скорости 1-го шарика повернулось на 60° , а модуль скорости уменьшился вдвое. Направление скорости 2-го шарика повернулось на 90° . Во сколько раз изменилась скорость второго шарика? Определите модуль отношения заряда к массе 2-го шарика, если для 1-го он равен k_1 . Электрическим взаимодействием шариков пренебечь. [$k_2 = 4k_1/3$, $v_2 = v_0/\sqrt{3}$]

4.8.35. *В тонкостенной непроводящей равномерно заряженной сфере радиуса $r = 1$ см имеются два небольших диаметрально противоположных отверстия, рис. 4.66. По прямой, соединяющей отверстия, из бесконечности движется со скоростью $v = 5000$ м/с частица массой m с зарядом q (заряды сферы и частицы одноименные). Найдите время, в течение которого заряд будет находиться внутри сферы. Заряды и массы сферы и частицы принять одинаковыми и равными $m = 1$ мг и $q = 1$ мкКл. Ответ представьте в микросекундах и округлите до десятых. [4,3]

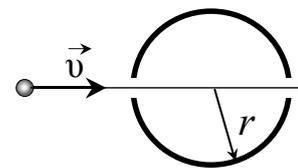


Рис. 4.66

ТАБЛИЦЫ КОНСТАНТ И ЗНАЧЕНИЙ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

Таблица 1

Физические постоянные

Ускорение свободного падения	$g = 10 \text{ м/с}^2$
Гравитационная постоянная	$G = 6,7 \cdot 10^{-11} \text{ Н} \cdot \text{м}^2 / \text{кг}^2$
Универсальная газовая постоянная	$R = 8,31 \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К})$
Число Авогадро	$N_A = 6 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$
Постоянная Больцмана	$k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К}$
Элементарный электрический заряд	$e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$
Электрическая постоянная	$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$
Постоянная в законе Кулона	$k = 1/(4\pi\epsilon_0) = 9 \cdot 10^9 \text{ м/Ф}$
Постоянная Фарадея	$F = 9,65 \cdot 10^4 \text{ Кл/моль}$

Таблица 2

Плотность некоторых веществ

Вещество	$\rho, 10^3 \text{ кг/м}^3$	Вещество	$\rho, 10^3 \text{ кг/м}^3$
Алюминий	2,7	Сталь	8,0
Вода	1,0	Медь	8,9
Золото	19,3	Никель	8,8
Керосин	0,8	Ртуть	13,6
Лед	0,9	Серебро	10,5
Масло	0,8		

Таблица 3

Удельная теплоемкость некоторых веществ

Вещество	$c, \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$	Вещество	$c, \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$
Вода	4200	Медь	380
Железо	460	Олово	200
Латунь	380	Свинец	130
Лед	2100	Сталь	460

Таблица 4

**Температура плавления $t_{пл}$ и удельная теплота плавления λ
некоторых веществ**

Вещество	$t_{пл}, ^\circ\text{C}$	$\lambda, 10^3 \text{ Дж/кг}$
Лед	0	330
Олово	230	60
Свинец	327	25
Сталь	1320	270

Таблица 5

Удельная теплота парообразования (испарения) воды	$r = 2,310^6 \text{ Дж/кг}$
Нормальное атмосферное давление	$p_0 = 10^5 \text{ Па}$
Удельная теплота сгорания бензина	$q = 4,5 \cdot 10^7 \text{ Дж/кг}$

Таблица 6

Молярная масса веществ

Газ	$M, 10^{-3} \text{ кг/моль}$	Газ	$M, 10^{-3} \text{ кг/моль}$
Азот, N_2	28	Медь, Cu	64
Аргон, Ar	40	Неон, Ne	20
Водород, H_2	2	Никель, Ni	58,7
Воздух	29	Озон, O_3	48
Гелий, He	4	Углекислый газ CO_2	44
Кислород, O_2	32	Углерод, C	12

Таблица 7

Диэлектрическая проницаемость ϵ некоторых диэлектриков

Диэлектрик	ϵ	Диэлектрик	ϵ	Диэлектрик	ϵ
Вода	81	Парафин	2,0	Спирт 80 %	26
Воздух	1,00058	Парафинированная бумага	2,0	Стекло	6,0
Воск	7,8	Плексиглас	3,5	Фарфор	5,0
Керосин	2,0	Полиэтилен	2,3	Эбонит	2,7
Масло (трансф)	2,25	Слюда	7,0		

Таблица 8

Некоторые астрономические величины

Наименование	Значение
Средний радиус Земли	6 400 км
Масса Земли	$6 \cdot 10^{24}$ кг
Средний радиус Солнца	$7 \cdot 10^8$ м
Масса Солнца	$2 \cdot 10^{30}$ кг
Среднее расстояние от Земли до Солнца	$1,5 \cdot 10^{11}$ м (1 а.е.)
Радиус Луны	1700 км

Таблица 9

Соотношение между различными единицами

Температура	$0 \text{ К} = -273 \text{ }^\circ\text{С}$
Электронвольт	$1 \text{ эВ} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$
Атмосфера	$1 \text{ атм} = 10^5 \text{ Па}$
Примерное число секунд в году	$3 \cdot 10^7 \text{ с}$

Таблица 10

Масса и энергия покоя элементарных частиц

Частица	Масса	
	кг	а.е.м.
Электрон	$9,1 \cdot 10^{-31}$	0,00055
Протон	$1,67 \cdot 10^{-27}$	1,00728
Нейтрон	$1,68 \cdot 10^{-27}$	1,00867

Таблица 11

Некоторые десятичные приставки к названиям единиц

Наименование	тера	гига	мега	микро	нано	пико	фемто	атто
Приставка	Т	Г	М	мк	н	п	ф	а
Множитель	10^{12}	10^9	10^6	10^{-6}	10^{-9}	10^{-12}	10^{-15}	10^{-18}

**Некоторые приближенные числа и тригонометрические функции
некоторых углов**

Таблица 12

**Некоторые приближенные числа и
тригонометрические функции некоторых углов**

$\pi \approx 3,14$	$\pi^2 \approx 10$
$\ln 2 \approx 0,693$	$\lg 2 \approx 0,301$
$\sqrt{2} \approx 1,41$	$\sqrt{3} \approx 1,732$
$\sqrt{5} \approx 2,236$	$\sqrt{7} \approx 2,646$
$\sin \frac{\pi}{3} = \cos \frac{\pi}{6} = \frac{\sqrt{3}}{2} \approx 0,866$	$\sin \frac{\pi}{4} = \cos \frac{\pi}{4} = \frac{1}{\sqrt{2}} \approx 0,707$
$\sin \frac{\pi}{2} = \cos 0^\circ = 1$	$\cos \frac{\pi}{2} = \sin 0^\circ = 0$
$\operatorname{tg} \frac{\pi}{4} = \operatorname{ctg} \frac{\pi}{4} = 1$	$\operatorname{tg} \frac{\pi}{6} = \operatorname{ctg} \frac{\pi}{3} = 0,577$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ханнанов Н.К., Никифоров Г.Г., Орлов В.А.. Физика. Сборник заданий ЕГЭ 2014. – М.: Эксмо, 2013. – 239 с.
2. Орлов В.А., Демидова М.Ю., Никифоров Г.Г., Ханнанов Н.К. Единый государственный экзамен 2010. Физика. Универсальные материалы для подготовки учащихся / ФИПИ. – М.: Интеллект-Центр, 2010. – 224 с.
3. Вишнякова Е.А., Макаров В.А., Семенов М.В. и др. Отличник ЕГЭ. Физика. Решение сложных задач. / ФИПИ. – М.: Интеллект-Центр, 2010. – 368 с.
4. Веретельник В.И., Поздеева Э.В., Рудковская В.Ф., Сёмкина Л.И., Сивов Ю.А., Толмачева Н.Д., Хоружий В.Д.. Физика. Тренинговые задания: в 2-х частях. – Томск: ТПУ, 2006. – 346 с.
5. Веретельник В.И., Сивов Ю.А., Толмачева Н.Д., Хоружий В.Д. Банк задач по физике для поступающих в ТПУ: в 2-х частях. – Томск: Из-во ТПУ, 2010. – 255 с.

СОДЕРЖАНИЕ

	стр.
Предисловие	3
1. Кинематика	5
Содержание раздела	5
Основные законы и формулы	5
Примеры решения задач	9
Задачи для самостоятельного решения	25
2. Динамика. Статика. Законы сохранения в механике ...	54
Содержание раздела	54
Основные законы и формулы	54
Примеры решения задач	58
Задачи для самостоятельного решения	76
3. Гидростатика. Молекулярная физика. Термодинамика	108
Содержание раздела	108
Основные законы и формулы	108
Примеры решения задач	112
Задачи для самостоятельного решения	128
4. Электростатика	157
Содержание раздела	157
Основные законы и формулы	157
Примеры решения задач	161
Задачи для самостоятельного решения	178
Приложение	212
Список литературы	216

Учебное издание

ВЕРЕТЕЛЬНИК Владимир Иванович
СИВОВ Юрий Александрович
ТОЛМАЧЕВА Нелла Дмитриевна
ХОРУЖИЙ Владимир Дмитриевич

СБОРНИК ВОПРОСОВ И ЗАДАЧ ПО ФИЗИКЕ ДЛЯ ПОСТУПАЮЩИХ В ВУЗЫ

Часть I

Учебное пособие

Издано в авторской редакции

Компьютерная верстка *В.М. Толмачев*
Дизайн обложки *Т.А. Фатеева*

**Отпечатано в Издательстве ТПУ в полном соответствии
с качеством предоставленного оригинал-макета**

Подписано к печати 07.07.2015. Формат 60x84/16. Бумага «Снегурочка».
Печать XEROX. Усл. печ. л. 12,56. Уч.-изд. л. 11,36.
Тираж 500 экз.



Национальный исследовательский Томский политехнический университет
Система менеджмента качества
Издательства Томского политехнического университета
сертифицирована в соответствии с требованиями ISO 9001:2008



ИЗДАТЕЛЬСТВО  **ТПУ**. 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30
Тел./факс: 8(3822)56-35-35, www.tpu.ru