Министерство образования Российской Федерации
УФИМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АВИАЦИОННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

СБОРНИК
ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ЗАДАНИЙ

**по разделам: «Физические основы механики»,
«Молекулярная физика и термодинамика»**

Уфа 2004

Министерство образования Российской Федерации
УФИМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АВИАЦИОННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

СБОРНИК
ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ЗАДАНИЙ

по разделам: «Физические основы механики», «Молекулярная физика и термодинамика»

Уфа 2004

Министерство образования Российской Федерации
УФИМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АВИАЦИОННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
Кафедра общей физики

СБОРНИК
ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ЗАДАНИЙ

по разделам: «Физические основы механики»,
«Молекулярная физика и термодинамика»

Уфа 2004

Составители: С.А. Шатохин, Е.В. Трофимова, Г.П. Михайлов

УДК [531+539.19](07)

ББК [22.2+22.36](Я7)

Сборник индивидуальных заданий по разделам курса общей физики «Физические основы механики», «Молекулярная физика и термодинамика». / Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т; Сост.: С.А. Шатохин, Е.В. Трофимова, Г.П. Михайлов. – Уфа, 2004. - 61 с.

Приведены задачи по физическим основам механики, физике колебаний и волн, молекулярной физике и термодинамике и дан список индивидуальных заданий.

Сборник предназначен для самостоятельной работы студентов дневного отделения и контрольных работ студентов заочного отделения, изучающих I раздел курса общей физики.

Табл.8.
Библиогр.: 3 назв.

Рецензенты: А.С. Краузе
Э.З. Якупов

Содержание

Введение

В сборнике подобраны задачи по разделам: «Физические основы механики», «Молекулярная физика и термодинамика» курса общей физики, предназначенные для самостоятельной работы студентов – выполнения домашних заданий и контрольных работ.

Содержание задач направлено на формирование у студентов знаний физических явлений, законов, формул, единиц измерения физических величин, умения применять законы для решения качественных и расчетных задач, графически представить физические явления и законы, анализировать их. Решение задач формирует навыки самостоятельного мышления.

Самостоятельная работа студентов поможет им при подготовке к экзамену, и будет способствовать более глубокому изучению данного раздела курса общей физики.

Указания к выполнению заданий и контрольных работ.

Номера вариантов и темы заданий определяет преподаватель.

К выполнению индивидуальных занятий (или контрольных работ для заочников) рекомендуется приступать после изучения материала, соответствующего данному разделу программы, внимательного ознакомления с примерами решения задач, приведенных в методических указаниях по данному разделу (см. «Механика». Методические указания к практическим занятиям по курсу общей физики: УГАТУ, Сост. Е.В. Трофимова, Уфа, 2003).

Задания и контрольные работы выполняются в обычной школьной тетради, на обложке которой приводятся сведения:

– для очного отделения – Фамилия И.О. студента, группа, индивидуальные задания по физике по I части;
– для заочного отделения – студент … факультета заочного отделения УГАТУ, группа, Фамилия И.О., адрес, контрольная работа № 1.

Для замечаний преподавателя в тетради оставляются поля. Каждая следующая задача должна начинаться с новой страницы. Условия задач переписываются полностью, без сокращений.

В решении необходимо указать основные законы и формулы, на которых базируется решение задачи, дать словесную формулировку этих законов, разъяснить смысл символов, употребляемых в записи формул. Если при решении задачи применяется формула, справедливая для частного случая, не выражающая какой-либо физический закон или не являющаяся определением физической величины, то ее следует вывести.

Во всех случаях, когда это возможно, должен быть представлен чертеж, поясняющий задачу. Решение задачи должно сопровождаться краткими, но исчерпывающими пояснениями.

Результат должен быть получен в общем виде, сделана проверка, дает ли рабочая формула правильную размерность искомой величины, подставлены числовые данные и получен окончательный числовой результат.

Все величины, входящие в условие задачи, выразить в единицах одной системы (преимущественно СИ) и для наглядности выписать столбиком.

1. Кинематика

Скорость и ускорение прямолинейного движения в общем случае определяются формулами

$$\upsilon = \frac{ds}{dt}, \quad a = \frac{d\upsilon}{dt} = \frac{d^2 s}{dt^2}.$$

В случае прямолинейного равномерного движения

$$\upsilon = \frac{s}{t} = \text{const}, \quad a = 0.$$

В случае прямолинейного равнопеременного движения

$$s = \upsilon_0 t \pm \frac{at^2}{2}, \quad \upsilon = \upsilon_0 + at, \quad a = \text{const}.$$

В этих уравнениях ускорение a положительно при равноускоренном движении и отрицательно при равнозамедленном.

При криволинейном движении полное ускорение

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

Здесь a_τ – тангенциальное (касательное) ускорение и a_n – нормальное (центростремительное) ускорение, причем

$$a_\tau = \frac{d\upsilon}{dt}, \quad a_n = \frac{\upsilon^2}{R},$$

где υ – скорость движения и R – радиус кривизны траектории в данной точке.

При вращательном движении в общем случае угловая скорость и угловое ускорение находятся по формулам

$$\omega = \frac{d\varphi}{dt}, \quad \varepsilon = \frac{d\omega}{dt} = \frac{d^2\varphi}{dt^2}.$$

В случае равномерного вращательного движения угловая скорость

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

где T – период вращения, n – частота вращения, т.е. число оборотов в единицу времени.

Угловая скорость ω связана с линейной скоростью υ соотношением $\upsilon = \omega R$.

Тангенциальное и нормальное ускорения при вращательном движении могут быть выражены в виде

$$a_\tau=\varepsilon R,\quad a_n=\omega^2 R.$$

1. 1. Капля дождя при скорости ветра υ = 11 м/с падает под углом α = 30° к вертикали. Определить, при какой скорости ветра υ_2 капля будет падать под углом β = 45°. Ответ: 19 м/с.

1. 2. Два автомобиля, выехав одновременно из одного пункта, движутся прямолинейно в одном направлении. Зависимость пройденного ими пути задается уравнениями $s_1 = At + Bt^2$ и $s_2 = Ct + Dt^2 + Ft^3$. Определить относительную скорость u автомобилей. Ответ: $u = A - C + 2(B-D)t - 3Ft^2$.

1. 3. Велосипедист проехал первую половину времени своего движения со скоростью υ_1 = 16 км/ч, вторую половину времени — со скоростью υ_2 = 12 км/ч. Определить среднюю скорость движения велосипедиста. Ответ: 14 км/ч.

1. 4. Велосипедист проехал первую половину пути со скоростью υ_1 = 16 км/ч, вторую половину пути — со скоростью υ_2 = 12 км/ч. Определить среднюю скорость движения велосипедиста. Ответ: 13,7 км/ч.

1. 5. Студент проехал половину пути на велосипеде со скоростью υ_1=16 км/ч. Далее половину оставшегося времени он ехал со скоростью υ_2 = 12 км/ч, а затем до конца пути шел пешком со скоростью υ_3 = 5 км/ч. Определить среднюю скорость движения студента на всем пути. Ответ: $\langle\upsilon\rangle$ = 11,1 км/ч.

1. 6. В течение времени τ скорость тела задается уравнением вида $\upsilon = A + Bt + Ct^2$ $(0 \le t \le \tau)$. Определить среднюю скорость за промежуток времени τ. Ответ: $\langle\upsilon\rangle = A + \dfrac{B\tau}{2} + \dfrac{C\tau^2}{3}$.

1. 7. При падении камня в колодец его удар о поверхность воды доносится через t=5 с. Принимая скорость звука υ = 330 м/с, определить глубину колодца. Ответ: 109 м.

1. 8. Тело падает с высоты h=1 км с нулевой начальной скоростью. Пренебрегая сопротивлением воздуха, определить, какой путь пройдет тело: 1) за первую секунду своего падения; 2) за последнюю секунду своего падения. Ответ: 1) 4,9м; 2) 132 м.

1. 9. Тело падает с высоты h=1 км с нулевой начальной скоростью. Пренебрегая сопротивлением воздуха, определить, какое время

понадобится телу для прохождения: 1) первых 10 м своего пути; 2) последних 10 м своего пути. Ответ: 1) 1,43 с; 2) 0,1 с.

1. 10.Тело брошено под углом к горизонту. Оказалось, что максимальная высота подъема $h=\frac{1}{4}s$ (s — дальность полета). Пренебрегая сопротивлением воздуха, определить угол броска к горизонту. Ответ: 45°.

1. 11.Тело брошено со скоростью υ_o= 15 м/с под углом α=30° к горизонту. Пренебрегая сопротивлением воздуха, определить: 1) высоту h подъема тела; 2) дальность полета (по горизонтали) s тела; 3) время его движения. Ответ: 1) 2,87 м; 2) 19,9 м; 3) 1,53 с.

1. 12.Тело брошено со скоростью υ_o = 20 м/с под углом α=30° к горизонту. Пренебрегая сопротивлением воздуха, определить для момента времени t=1,5 с после начала движения: 1) нормальное ускорение; 2) тангенциальное ускорение. Ответ: 1) 9,47 м/с^2; 2) 2,58 м/с^2.

1. 13.С башни высотой h=40 м брошено тело со скоростью υ_o=20 м/с под углом α=45° к горизонту. Пренебрегая сопротивлением воздуха, определить: 1) время t движения тела; 2) на каком расстоянии s от основания башни тело упадет на Землю; 3) скорость υ падения тела на Землю; 4) угол φ, который составит траектория тела с горизонтом в точке его падения. Ответ: 1) 4,64 с; 2) 65,7 м; 3) 34,4 м/с; 4) 65,7°.

1. 14.Тело брошено горизонтально со скоростью υ_o = 15 м/с. Пренебрегая сопротивлением воздуха, определить радиус кривизны траектории тела через t= 2 с после начала движения. Ответ: 102 м.

1. 15.С башни высотой h = 30 м в горизонтальном направлении брошено тело с начальной скоростью υ_o = 10 м/с. Определить: 1) уравнение траектории тела $y(x)$; 2) скорость υ тела в момент падения на Землю; 3) угол φ, который образует эта скорость с горизонтом в точке его падения. Ответ: 1) $y = \frac{g}{2\upsilon_o^2}x^2$; 2) 26,2 м/с; 3) 67,8°.

1. 16.Зависимость пройденного телом пути от времени задается уравнением $s = A–Bt + Ct^2 + Dt^3$ (A = 6 м, B=3 м/с, C=2 м/с^2, D=l м/с^3). Определить для тела в интервале времени от t_1 = 1 с до t_2=4 с: 1) среднюю скорость; 2) среднее ускорение. Ответ: 1) 28 м/с; 2) 19 м/с^2.

1. 17.Зависимость пройденного телом пути от времени задается уравнением $s = A + Bt + Ct^2 + Dt^3$ (C = 0,1 м/с^2, D = 0,03 м/с^3). Определить: 1) через сколько времени после начала движения ускорение а тела будет равно 2 м/с^2; 2) среднее ускорение $\langle a \rangle$ тела за этот промежуток времени. Ответ: 1) 10 с; 2) 1,1 м/с^2.

1. 18.Тело движется равноускоренно с начальной скоростью υ_o. Определить ускорение тела, если за время t = 2 с оно прошло путь s = 16 м и его скорость $\upsilon = 3\,\upsilon_o$. Ответ: 4 м/с^2.

1. 19.Материальная точка движется вдоль прямой так, что ее ускорение линейно растет, и за первые 10 с достигает значения 5 м/с^3. Определить в конце десятой секунды: 1) скорость точки; 2) пройденный точкой путь. Ответ: 1) 25 м/с; 2) 83,3 м.

1. 20.Кинематические уравнения движения двух материальных точек имеют вид $x_1 = A_1t + B_1t^2 + C_1t^3$ и $x_2 = A_2t + B_2t^2 + C_2t^3$, где B_1 = 4 м/с^2, C_1 = –3 м/с^3, B_2 = –2 м/с^2, C_2 = 1 м/с^3. Определить момент времени, для которого ускорения этих точек будут равны. Ответ: 0,5 с.

1. 21.Кинематические уравнения движения двух материальных точек имеют вид $x_1 = A_1+B_1t+C_1t^2$ и $x_2 = A_2+B_2\,t + C_2\,t^2$, где C_1 = –2 м/с^2, C_2 = 1 м/с^2. Определить: 1) момент времени, для которого скорости этих точек будут равны; 2) ускорения a_1 и a_2 для этого момента. Ответ: 1) 0; 2) a_1 = –4 м/с^2, a_2=2 м/с^2.

1. 22.Нормальное ускорение точки, движущейся по окружности радиусом r = 4 м, задается уравнением $a_n = A + Bt + Ct^2$ (A=1 м/с^2, B = 6 м/с^3, C = 9 м/с^4). Определить: 1) тангенциальное ускорение точки; 2) путь, пройденный точкой за время t_1 = 5 с после начала движения; 3) полное ускорение для момента времени t_2 = 1 с. Ответ: 1) 6 м/с^2; 2) 85 м; 3) 6,32 м/с^2.

1. 23.Зависимость пройденного телом пути s от времени t выражается уравнением $s = At - Bt^2 + Ct^3$ (A = 2 м/с, B=3 м/с^2, C=4 м/с^3). Записать выражения для скорости и ускорения. Определить для момента времени t = 2 с после начала движения: 1) пройденный путь; 2) скорость; 3) ускорение. Ответ: 1) 24 м; 2) 38 м/с; 3) 42 м/с^2.

1. 24.Зависимость пройденного телом пути по окружности радиусом r = 3 м задается уравнением $s = At^2 + Bt$ (A = 0,4 м/с^2, B = 0,1 м/с). Определить для момента времени t = 1 с после начала

движения ускорения: 1) нормальное; 2) тангенциальное; 3) полное. Ответ: 1) 0,27 м/с^2; 2) 0,8 м/с^2; 3) 0,84 м/с^2.

1. 25.Радиус-вектор материальной точки изменяется со временем по закону $r = t^3 i + 3t^2 j$, где i, j — орты осей x и y. Определить для момента времени $t = 1$ с: 1) модуль скорости; 2) модуль ускорения. Ответ: 1) 6,7 м/с; 2) 8,48 м/с^2.

1. 26.Радиус-вектор материальной точки изменяется со временем по закону $r=4t^2 i+3tj+2k$. Определить: 1) скорость υ; 2) ускорение a; 3) модуль скорости в момент времени $t = 2$ с. Ответ: 3) 16,3 м/с.

1. 27.Материальная точка начинает двигаться по окружности радиусом $r = 12{,}5$ см с постоянным тангенциальным ускорением $a_\tau = 0{,}5$ см/с^2. Определить: 1) момент времени, при котором вектор ускорения a образует с вектором скорости υ угол $\alpha = 45°$; 2) путь, пройденный за это время движущейся точкой. Ответ: 1) 5 с; 2) 6,25 см.

1. 28.Линейная скорость υ_1 точки, находящейся на ободе вращающегося диска, в три раза больше, чем линейная скорость υ_2 точки, находящейся на 6 см ближе к его оси. Определить радиус диска. Ответ: 9 см.

1. 29.Колесо вращается с постоянным угловым ускорением $\varepsilon = 3$ рад/с^2. Определить радиус колеса, если через $t = 1$ с после начала движения полное ускорение колеса $a = 7{,}5$ м/с^2. Ответ: 79 см.

1. 30. Найти линейную скорость υ вращения точек земной поверхности на широте Санкт-Петербурга ($\varphi = 60^o$). Ответ: 231 м/с.

1. 31.Якорь электродвигателя, имеющий частоту вращения n=50 с$^{-1}$, после выключения тока, сделав $N = 628$ оборотов, остановился. Определить угловое ускорение ε якоря. Ответ: 12,5 рад/с^2.

1. 32.Колесо автомашины вращается равнозамедленно. За время $t = 2$ мин оно изменило частоту вращения от 240 до 60 мин-^{1}. Определить: 1) угловое ускорение колеса; 2) число полных оборотов, сделанных колесом за это время. Ответ: 1) 0,157 рад/с^2; 2) 300.

1. 33.Точка движется по окружности радиусом $R = 15$ см с постоянным тангенциальным ускорением a_τ. К концу четвертого оборота после начала движения линейная скорость точки υ= 15 см/с. Определить нормальное ускорение a_n точки через $t = 16$ с после начала движения. Ответ: 1,5 см/с^2.

1. 34.Диск радиусом $R = 10$ см вращается вокруг неподвижной оси так, что зависимость угла поворота радиуса диска от времени

задается уравнением $\varphi = A+Bt+Ct^2+Dt^3$ ($B = 1$ рад/с, $C = 1$ рад/с^2, $D = 1$ рад/с^3). Определить для точек на ободе диска к концу второй секунды после начала движения: 1) тангенциальное ускорение a_τ; 2) нормальное ускорение a_n; 3) полное ускорение a. Ответ: 1) 1,4м/с^2; 2) 28,9 м/с^2; 3) 28,9 м/с^2.

1. 35.Диск вращается вокруг неподвижной оси так, что зависимость угла поворота радиуса диска от времени задается уравнением $\varphi = At^2$ ($A = 0{,}1$ рад/с^2). Определить полное ускорение a точки на ободе диска к концу второй секунды после начала движения, если линейная скорость этой точки в этот момент $\upsilon = 0{,}4$ м/с. Ответ: 0,26 м/с^2.

1. 36.Диск радиусом $R = 10$ см вращается так, что зависимость линейной скорости точек, лежащих на ободе диска, от времени задается уравнением $\upsilon = At + Bt^2$ ($A = 0{,}3$ м/с^2, $B = 0{,}1$ м/с^3). Определить момент времени, для которого вектор полного ускорения а образует с радиусом колеса угол $\varphi = 4°$. Ответ: 2 с.

1. 37.Во сколько раз нормальное ускорение a_n точки, лежащей на ободе вращающегося колеса, больше ее тангенциального ускорения a_τ для того момента, когда вектор полного ускорения точки составляет угол $\alpha = 30^o$ с вектором ее линейной скорости? Ответ: $a_n/a_\tau = 0{,}58$.

2. Динамика материальной точки

Основной закон динамики (второй закон Ньютона) выражается уравнением

$$\boldsymbol{F}\, dt = d\,(m\boldsymbol{\upsilon}).$$

Если масса m постоянна, то $F = m\dfrac{d\upsilon}{dt} = ma$, где a – ускорение, которое приобретает тело массой m под действием силы F.

Работа силы при перемещении s может быть выражена формулой

$$A = \int_s F_s\, ds,$$

где F_s – проекция силы на направление перемещения, ds – длина перемещения. Интегрирование должно быть распространено на все перемещение s. В случае постоянной силы, действующей под углом α

к перемещению, имеем $A = F_s \cos\alpha$, где α – угол между силой F и перемещением s.

Мощность определяется формулой

$$N = \frac{dA}{dt}.$$

В случае постоянной мощности

$$N = \frac{A}{t},$$

где A – работа, совершаемая за время t.

Мощность может быть определена также формулой

$$N = F\upsilon \cdot \cos\alpha,$$

т.е. произведением скорости движения на проекцию силы на направление движения.

Для кинетической энергии тела массой m, движущегося со скоростью υ, имеем

$$W_k = \frac{m\upsilon^2}{2}.$$

Формулы для потенциальной энергии имеют разный вид в зависимости от характера действующих сил.

В изолированной системе импульс входящих в нее тел остается постоянным, т.е.

$$m_1\vec{\upsilon}_1 + m_2\vec{\upsilon}_2 + \ldots + m_n\vec{\upsilon}_n = \text{const}.$$

При неупругом центральном ударе двух тел с массами m_1 и m_2 общая скорость движения этих тел после удара может быть найдена по формуле

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

где υ_1 – скорость первого тела до удара и υ_2 – скорость второго тела до удара.

При упругом центральном ударе тел, двигающихся навстречу друг другу, скорость первого тела после удара

$$u_1 = \frac{(m_1 - m_2)\upsilon_1 + 2m_2\upsilon_2}{m_1 + m_2};$$

скорость второго тела после удара

$$u_2 = \frac{(m_2 - m_1)\upsilon_2 + 2m_1\upsilon_1}{m_1 + m_2}.$$

При криволинейном движении сила, действующая на материальную точку, может быть разложена на две составляющие: тангенциальную и нормальную. Нормальная составляющая

$$F_n = \frac{m\upsilon^2}{R}$$

является центростремительной силой. Здесь – линейная скорость движения тела массой *m*, *R* – радиус кривизны траектории в данной точке.

Сила, вызывающая упругую деформацию *x*, пропорциональна деформации, т.е.

$$F=kx,$$

где *k* – жесткость (коэффициент, численно равный силе, вызывающей деформацию, равную единице).

Потенциальная энергия упругого тела

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

2. 1. Тело массой $m = 2$ кг движется прямолинейно по закону $s = A–Bt + Ct^2 –Dt^3$ (С = 2 м/с^2, $D = 0{,}4$ м/с^3). Определить силу, действующую на тело в конце первой секунды движения. Ответ: 3,2 Н.

2. 2. К нити подвешен груз массой $m = 500$ г. Определить силу натяжения нити, если нить с грузом: 1) поднимать с ускорением 2 м/с^2; 2) опускать с ускорением 2 м/с^2. Ответ: 1) 5,9 Н. 2) 3,9 Н .

2. 3. Два груза ($m_1 = 500$ г и $m_2 = 700$ г) связаны невесомой нитью и лежат на гладкой горизонтальной поверхности. К грузу m_1 приложена горизонтально направленная сила $F = 6$ Н. Пренебрегая трением, определить: 1) ускорение грузов; 2) силу натяжения нити Ответ: 1) 5 м/с^2; 2) 3,5 Н .

2. 4. Тело массой *m* движется в плоскости *xy* по закону $x = A\cos\omega t$, $y = B\sin\omega t$, где *A*, *B* и ω — некоторые постоянные. Определить модуль силы, действующей на это тело. Ответ: $F = m\omega^2\sqrt{x^2 + y^2}$

2. 5. Тело массой $m = 2$ кг падает вертикально с ускорением $a = 5$ м/с^2. Определить силу сопротивления при движении этого тела. Ответ: 9,62 Н .

2. 6. С вершины клина, длина которого $1 = 2$ м и высота $h = 1$ м, начинает скользить небольшое тело. Коэффициент трения между телом и клином $f = 0{,}15$. Определить: 1) ускорение, с которым движется тело; 2) время прохождения тела вдоль клина; 3) скорость тела у основания клина. Ответ: 1) 3,63 м/с^2; 2) 1,05 с; 3) 3,81 м/с.

2. 7. По наклонной плоскости с углом α наклона к горизонту, равным 30°, скользит тело. Определить скорость тела в конце второй секунды от начала скольжения, если коэффициент трения $f = 0{,}15$. Ответ: 7,26 м/с.

2. 8. Снаряд массой $m = 5$ кг, вылетевший из орудия, в верхней точке траектории имеет скорость $\upsilon = 300$ м/с. В этой точке он разорвался на два осколка, причем больший осколок массой $m_1 = 3$ кг полетел в обратном направлении со скоростью υ_1=100 м/с. Определить скорость υ_2 второго, меньшего, осколка. Ответ: 900 м/с.

2. 9. Граната, летящая со скоростью $\upsilon = 10$ м/с, разорвалась на два осколка. Больший осколок, масса которого составляла 0,6 массы всей гранаты, продолжал двигаться в прежнем направлении, но с увеличенной скоростью $u_1 = 25$ м/с. Найти скорость u_2 меньшего осколка. Ответ: $u_2 = -12{,}5$ м/с.

2. 10.Лодка массой $M = 150$ кг и длиной $1 = 2{,}8$ м стоит неподвижно в стоячей воде. Рыбак массой $m = 90$ кг в лодке переходит с носа на корму. Пренебрегая сопротивлением воды, определить, на какое расстояние s при этом сдвинется лодка. Ответ: 1,05 м.

2. 11.Снаряд, вылетевший из орудия со скоростью υ_o, разрывается на два одинаковых осколка в верхней точке траектории на расстоянии ℓ (по горизонтали). Один из осколков полетел в обратном направлении со скоростью движения снаряда до разрыва. Пренебрегая сопротивлением воздуха, определить, на каком расстоянии (по горизонтали) от орудия упадет второй осколок. Ответ: $s = 4\ell$.

2. 12.Платформа с песком общей массой $M = 2$ т стоит на рельсах на горизонтальном участке пути. В песок попадает снаряд массой $m = 8$ кг и застревает в нем. Пренебрегая трением, определить, с какой скоростью будет двигаться платформа, если в момент попадания скорость снаряда $\upsilon = 450$ м/с, а ее направление — сверху вниз под углом $\alpha = 30°$ к горизонту. Ответ: 1,55 м/с.

2. 13.Из орудия массой $m_1 = 5$ т вылетает снаряд массой $m_2 = 100$ кг. Кинетическая энергия снаряда при вылете $W_{к2} = 7{,}5$ МДж. Какую кинетическую энергию $W_{к1}$ получает орудие вследствие отдачи? Ответ: 150 кДж.

2. 14.На железнодорожной платформе, движущейся по инерции со скоростью $\upsilon_o = 3$ км/ч, укреплено орудие. Масса платформы с орудием $M = 10$ т. Ствол орудия направлен в сторону движения платформы. Снаряд массой $m = 10$ кг вылетает из ствола под углом $\alpha = 60°$ к горизонту. Определить скорость и снаряда (относительно Земли), если после выстрела скорость платформы уменьшилась в $n = 2$ раза. Ответ: 835 м/с.

2. 15.Пуля, летящая горизонтально, попадает в шар, подвешенный на невесомом жестком стержне, и застревает в нем. Масса пули $m_1 = 5$ г, масса шара $m_2 = 0{,}5$ кг. Скорость пули $\upsilon_1 = 500$ м/с. При каком предельном расстоянии l от центра шара до точки подвеса стержня шар от удара пули поднимется до верхней точки окружности? Ответ: 0,64 м.

2. 16.На катере массой $m = 4{,}5$ т находится водомет, выбрасывающий со скоростью $u = 6$ м/с относительно катера назад $\mu = 25$ кг/с воды. Пренебрегая сопротивлением движению катера, определить: 1) скорость катера через $t = 3$ мин после начала движения; 2) предельно возможную скорость катера. Ответ: 1) 3,8 м/с; 2) 6 м/с.

2. 17.Ракета, масса которой в начальный момент времени $M = 2$ кг, запущена вертикально вверх. Относительная скорость выхода продуктов сгорания $u = 150$ м/с, расход горючего $\mu = 0{,}2$ кг/с. Пренебрегая сопротивлением воздуха, определить ускорение a ракеты через $t = 3$ с после начала ее движения. Поле силы тяжести считать однородным. Ответ: 11,6 м/с^2.

2. 18.Ракета, масса которой в начальный момент $M = 300$ г, начинает выбрасывать продукты сгорания с относительной скоростью $u = 200$ м/с. Расход горючего $\mu = 100$ г/с. Пренебрегая сопротивлением воздуха и внешним силовым полем, определить: 1) за какой промежуток времени скорость ракеты станет равной $\upsilon_1 = 50$ м/с; 2) скорость υ_2, которую достигнет ракета, если масса заряда $m_o = 0{,}2$ кг. Ответ: 1) 0,66 с; 2) 220 м/с.

2. 19.Стальной шарик массой $m = 20$ г, падая с высоты $h_1 = 1$ м на стальную плиту, отскакивает от нее на высоту $h_2 = 81$ см. Найти

импульс силы $F\,\Delta t$, полученный плитой за время удара, и количество теплоты Q, выделившейся при ударе. Ответ: 0,17 нс; $37{,}2\cdot10^{-3}$ Дж.

2. 20.Камень, привязанный к веревке длиной l = 50 см, равномерно вращается в вертикальной плоскости. При какой частоте вращения ν веревка разорвется, если известно, что она разрывается при силе натяжения, равной десятикратной силе тяжести, действующей на камень? Ответ: 2,1 $с^{-1}$.

2. 21.Диск вращается вокруг вертикальной оси с частотой n = 30 об/мин. На расстоянии r = 20 см от оси вращения на диске лежит тело. Каким должен быть коэффициент трения k между телом и диском, чтобы тело не скатилось с диска? Ответ: 0,2.

2. 22.Груз массой m = 150 кг подвешен на стальной проволоке, выдерживающей силу натяжения T = 2,94 кН. На какой наибольший угол α можно отклонить проволоку с грузом, чтобы она не разорвалась при прохождении грузом положения равновесия? Ответ: 60°.

2. 23.Найти первую космическую скорость υ_1, т.е. скорость, которую надо сообщить телу у поверхности Земли, чтобы оно начало двигаться вокруг Земли по круговой орбите в качестве спутника. Ответ: 7,9 км/с.

2. 24.Тело массой m = 5 кг поднимают с ускорением a = 2 $м/с^2$. Определить работу силы в течение первых пяти секунд. Ответ: 1,48 кДж.

2. 25.Автомашина массой m = 1,8 т движется в гору, уклон которой составляет 3 м на каждые 100 м пути. Определить: 1) работу, совершаемую двигателем автомашины на пути 5 км, если коэффициент трения равен 0,1; 2) развиваемую двигателем мощность, если известно, что этот путь был преодолен за 5 мин. Ответ: 1) 11,5 кДж; 2) 38,3 кВт.

2. 26.Определить работу, совершаемую при подъеме груза массой m = 50 кг по наклонной плоскости с углом наклона α = 30° к горизонту на расстояние s = 4 м, если время подъема t = 2 с, а коэффициент трения f = 0,06. Ответ: 1,48 кДж.

2. 27.Тело скользит с наклонной плоскости высотой h и углом наклона α к горизонту и движется далее по горизонтальному участку. Принимая коэффициент трения на всем пути постоянным и равным f, определить расстояние s, пройденное телом на горизонтальном участке, до полной остановки. Ответ: $s = h(1 - f\,\mathrm{ctg}\alpha)/f$.

2. 28.Поезд массой m = 600 т движется под гору с уклоном α = 0,3° и за время t = 1 мин развивает скорость υ = 18 км/ч. Коэффициент трения f = 0,01. Определить среднюю мощность $\langle N \rangle$ локомотива. Ответ: 195 кВт.

2. 29.Автомобиль массой m = 1,8 т спускается при выключенном двигателе с постоянной скоростью υ = 54 км/ч по уклону дороги (угол к горизонту α = 3°). Определить, какова должна быть мощность двигателя автомобиля, чтобы он смог подниматься на такой же подъем с той же скоростью. Ответ: 27,7 кВт.

2. 30.Материальная точка массой m = 1 кг двигалась под действием некоторой силы согласно уравнению $s = A - B + Ct^2 - Dt^3$ (B = 3 м/с, C = 5 м/с^2, D = l м/с^3). Определить мощность N, затрачиваемую на движение точки в момент времени t = 1 с. Ответ: 16 Вт.

2. 31.Тело массой m поднимается без начальной скорости с поверхности Земли под действием силы F, меняющейся с высотой подъема y по закону $F = -2mg(\text{l}-Ay)$ (где A — некоторая положительная постоянная), и силы тяжести mg. Определить: 1) весь путь подъема; 2) работу силы F на первой трети пути подъема. Поле силы тяжести считать однородным. Ответ: 1) H=1/A; 2) $A_F = 5mg/(9A)$.

2. 32.Тело массой m начинает двигаться под действием силы $F = 2ti + 3t^2j$, где i и j — соответственно единичные векторы координатных осей x и y. Определить мощность $N(t)$, развиваемую силой в момент времени 1. Ответ: $N(t) = (2t^3 + 3t^5)/m$.

2. 33.Тело массой m = 5 кг падает с высоты h = 20 м. Определить сумму потенциальной и кинетической энергий тела в точке, находящейся от поверхности Земли на высоте h_1 = 5 м. Трением тела о воздух пренебречь. Сравнить эту энергию с первоначальной энергией тела. Ответ: 981 Дж.

2. 34.Тело, падая с некоторой высоты, в момент соприкосновения с Землей обладает импульсом р=100 кг-м/с и кинетической энергией Т=500Дж. Определить:

2. 35.с какой высоты тело падало; 2) массу тела. Ответ: 1) 5,1 м; 2) 10 кг.

2. 36.С башни высотой H =20 м горизонтально со скоростью υ_o = 10 м/с брошен камень массой m = 400 г. Пренебрегая сопротивлением воздуха, определить для момента времени t= 1 с

после начала движения: 1) кинетическую энергию; 2) потенциальную энергию. Ответ: 1)39,2 Дж; 2)59,2Дж.

2. 37.Автомашина массой $m = 2000$ кг останавливается за $t = 6$ с, пройдя расстояние $S = 30$м. Определить: 1) начальную скорость автомашины; 2) силу торможения. Ответ: 1) 10 м/с; 2) 3,33 кН.

2. 38.Материальная точка массой $m = 20$ г движется по окружности радиусом $R = 10$ см с постоянным тангенциальным ускорением. К концу пятого оборота после начала движения кинетическая энергия материальной точки оказалась равной 6,3 мДж. Определить тангенциальное ускорение. Ответ: 0,1 м/с^2.

2. 39.Ядро массой m=5 кг бросают под углом α=60° к горизонту, затрачивая при этом работу 500 Дж. Пренебрегая сопротивлением воздуха, определить: 1) через какое время ядро упадет на землю; 2) какое расстояние по горизонтали оно пролетит. Ответ: 1) 2,5 с; 2) 17,6 м.

2. 40.Тело массой $m = 0{,}5$ кг бросают со скоростью $\upsilon_o =$ 10 м/с под углом α=30° к горизонту. Пренебрегая сопротивлением воздуха, определить кинетическую T, потенциальную П и полную E энергии тела: 1) через $t = 0{,}4$ с после начала движения; 2) в высшей точке траектории. Ответ: 1) T= 19,0 Дж, П = 5,9 Дж, E=24,9 Дж; 2) T=18,7 Дж, П = 6,2 Дж, E = 24,9 Дж.

2. 41.К нижнему концу пружины жесткостью k_1 присоединена другая пружина жесткостью k_2, к концу которой прикреплена гиря. Пренебрегая массой пружин, определить отношение потенциальных энергий пружин. Ответ: $П_1|П_2=k_2 \,|\, k1$.

2. 42.Тело массой m = 0,4 кг скользит с наклонной плоскости высотой h= 10 см и длиной 1= 1 м. Коэффициент трения тела на всем пути f=0,04. Определить: 1) кинетическую энергию тела у основания плоскости; 2) путь, пройденный телом на горизонтальном участке до остановки. Ответ: 1) 0,24 Дж; 2) 1,53м.

2. 43.Тело брошено вертикально вверх со скоростью υ_o= 20 м/с. Пренебрегая сопротивлением воздуха, определить, на какой высоте h кинетическая энергия тела будет равна его потенциальной энергии. Ответ: 10,2 м.

2. 44.Тело массой m = 70 кг движется под действием постоянной силы F = 63 H. Определить, на каком пути s скорость этого тела возрастет в n=3 раза по сравнению с моментом времени, когда скорость тела была равна υ_o=1,5м/с. Ответ: 10м.

2. 45.Подвешенный на нити шарик массой m = 200 г отклоняют на угол $\alpha = 45°$. Определить силу натяжения нити в момент прохождения шариком положения равновесия. Ответ: 3,11 Н.

2. 46.Тело брошено под углом $\alpha = 45°$ к горизонту со скоростью $\upsilon_o =$ 15 м/с. Используя закон сохранения энергии, определить скорость υ тела в высшей точке его траектории. Ответ: $\upsilon = \upsilon_o \cos\alpha$ = 10,6 м/с.

2. 47.Пренебрегая трением, определить наименьшую высоту h, с которой должна скатываться тележка с человеком по желобу, переходящему в петлю радиуса R = 6 м, и не оторваться от него в верхней точке петли. Ответ: 15 м.

2. 48.Спортсмен с высоты h=12м падает на упругую сетку. Пренебрегая массой сетки, определить, во сколько раз наибольшая сила давления спортсмена на сетку больше его силы тяжести, если прогиб сетки под действием силы тяжести спортсмена x_o = 15 см. Ответ: в 13,7 раза.

2. 49.С вершины идеально гладкой сферы радиусом R = 1,2 м соскальзывает небольшое тело. Определить высоту h (от вершины сферы), с которой тело со сферы сорвется. Ответ: 40 см.

2. 50.Пуля массой m= 15 г, летящая горизонтально со скоростью υ = 200 м/с, попадает в баллистический маятник длиной l=1 м и массой M = 1,5 кг и застревает в нем. Определить угол отклонения φ маятника. Ответ: 36,9°.

2. 51.Пуля массой m = 12 г, летящая с горизонтальной скоростью υ = 0,6 км/с, попадает в мешок с песком массой M = 10 кг, висящий на длинной нити, и застревает в нем. Определить: 1) высоту, на которую поднимется мешок, отклонившись после удара; 2) долю кинетической энергии, израсходованной на пробивание песка. Ответ: 1) 2,64 см; 2) 99,9 % .

2. 52.Зависимость потенциальной энергии П тела в центральном силовом поле от расстояния r до центра поля задается функцией $\Pi(r) = \frac{A}{r^2} - \frac{B}{r}$ (А = 6 мкДж·м^2, В=0,3 мДж·м). Определить, при каких значениях r максимальное значение принимают: 1) потенциальная энергия тела; 2) сила, действующая на тело. Ответ: 1) r =2A/B = 4см; 2) r = 3A/B=6см.

2. 53.При центральном упругом ударе движущееся тело массой m_1 ударяется в покоящееся тело массой m_2, в результате чего скорость первого тела уменьшается в 2 раза. Определить: 1) во сколько раз

масса первого тела больше массы второго тела; 2) кинетическую энергию T'_2 второго тела непосредственно после удара, если первоначальная кинетическая энергия T_1 первого тела равна 800 Дж. Ответ: 1) в 3 раза; 2) 450 Дж.

2. 54.Определить, во сколько раз уменьшится скорость шара, движущегося со скоростью υ_1, при его соударении с покоящимся шаром, масса которого в n раз больше массы налетающего шара. Удар считать центральным абсолютно упругим. Ответ: В $(1+n)/(1-n)$ раза.

2. 55.Тело массой m_1 = 3 кг движется со скоростью υ_1 = 2 м/с и ударяется о неподвижное тело такой же массы. Считая удар центральным и неупругим, определить количество теплоты, выделившееся при ударе. Ответ: 3 Дж.

2. 56.Два шара массами m_1 = 9 кг и m_2 = 12 кг подвешены на нитях длиной l = 1,5 м. Первоначально шары соприкасаются между собой, затем меньший шар отклонили на угол α=30° и отпустили. Считая удар неупругим, определить высоту h, на которую поднимутся оба шара после удара. Ответ: $h = (\frac{m_1}{m_1 + m_2})^2 l(1 - \cos\alpha) = 3{,}7 \quad \text{см}$.

2. 57.Два шара массами m_1 = 3 кг и m_2 = 2 кг подвешены на нитях длиной 1= 1 м. Первоначально шары соприкасаются между собой, затем больший шар отклонили от положения равновесия на угол α =60° и отпустили. Считая удар упругим, определить скорость $\upsilon_2^{/}$ второго шара после удара. Ответ: 3,76 м/с.

2. 58.Два шара массами m_1= 200 г и m_2 =400 г подвешены на нитях длиной l = 67,5 см. Первоначально шары соприкасаются между собой, затем первый шар отклонили от положения равновесия на угол α = 60° и отпустили. Считая удар упругим, определить на какую высоту h поднимется второй шар после удара. Ответ: $h = \frac{4m_1^2 l(1 - \cos\alpha)}{(m_1 + m_2)^2} = 15 см$.

2. 59.Шар сталкиваетсяс другим покоящимся шаром такой же массы. Доказать, что в случае упругого, но не центрального удара угол между направлениями скоростей после удара составляет π/2.

3. Динамика вращательного движения.

Момент М силы F относительно какой-нибудь оси вращения определяется формулой

$$M=Fl,$$

где l – кратчайшее расстояние от прямой, вдоль которой действует сила, до оси вращения.

Моментом инерции материальной точки относительно какой-нибудь оси вращения называется величина

$$J=mr^2,$$

где m – масса материальной точки и r – ее расстояние до оси вращения.

Моментом инерции твердого тела относительно его оси вращения

$$J = \int r^2 dm,$$

где интегрирование должно быть распределено навесь объем тела. Производя интегрирование можно получить момент инерции тела любой формы.

Момент инерции сплошного однородного цилиндра (диска) относительно оси цилиндра

$$J = \frac{1}{2} mR^2,$$

где R – радиус цилиндра и m – его масса.

Момент инерции полого цилиндра (обруча) с внутренним радиусом R_1 и внешним R_2 относительно оси цилиндра

$$J = \frac{1}{2} m(R_1^2 + R_2^2),$$

для тонкостенного полого цилиндра $R_1 \approx R_2 = R$ и $J \approx mR^2$.

Момент инерции однородного шара радиусом R относительно оси, проходящей через его центр,

$$J = \frac{2}{5} mR^2.$$

Момент инерции однородного стержня относительно оси, проходящей через его середину перпендикулярно к нему,

$$J = \frac{1}{12} ml^2.$$

Если для какого-либо тела известен его момент инерции J_0 относительно оси, проходящей через центр масс, то момент инерции относительно любой оси, параллельно первой, может быть найден по формуле Штейнера

$$J=J_0+md^2,$$

где m – масса тела и D – расстояние от центра масс тела до оси вращения.

Основной закон динамики вращательного движения (закон сохранения момента импульса) выражается уравнением

$$M\cdot dt=dL=d(J\omega),$$

где M – момент сил, приложенных к телу, L – момент импульса тела (J – момент инерции тела, ω – его угловая скорость). Если J=const, то

$$M = J\frac{d\omega}{dt} = J\varepsilon,$$

где ε – угловое ускорение, приобретаемое телом под действием момента сил M.

Кинетическая энергия вращающегося тела

$$W_k = \frac{J\omega^2}{2},$$

где J –момент инерции тела и ω – его угловая скорость.

3. 1. Вывести формулу для момента инерции тонкого кольца радиусом R и массой m относительно оси симметрии. Ответ: $J = mR^2$.

3. 2. Определить момент инерции сплошного однородного диска радиусом R = 40 см и массой m = 1 кг относительно оси, проходящей через середину одного из радиусов перпендикулярно плоскости диска. Ответ: 0,12 кг·м^2.

3. 3. Определить момент инерции J тонкого однородного стержня длиной l = 50 см и массой m = 360 г относительно оси, перпендикулярной стержню и проходящей через: 1) конец стержня; 2) точку, отстоящую от конца стержня на 1/6 его длины. Ответ: 1) $3\cdot10^{-2}$ кг·м^2; 2) $1{,}75\cdot10^{-2}$ кг·м^2.

3. 4. Шар и сплошной цилиндр, изготовленные из одного и того же материала, одинаковой массы катятся без скольжения с одинаковой скоростью. Определить, во сколько раз кинетическая энергия шара меньше кинетической энергии сплошного цилиндра. Ответ: В 1,07 раза.

3. 5. Полная кинетическая энергия T диска, катящегося по горизонтальной поверхности, равна 24 Дж. Определить кинетическую энергию T_1 поступательного и T_2 вращательного движения диска. Ответ: T_1 = 16 Дж, T_2 = 8 Дж.

3. 6. Полый тонкостенный цилиндр массой m = 0,5 кг, катящийся без скольжения, ударяется о стену и откатывается от нее. Скорость цилиндра до удара о стену υ_1=1,4 м/с, после удара υ'_1=1 м/с. Определить выделявшееся при ударе количество теплоты Q. Ответ: $Q=m(\upsilon_1^2 - \upsilon'^2_1)$ = 0,48 Дж.

3. 7. Однородный стержень длиной l = 1 м и массой m = 0,5 кг вращается в вертикальной плоскости вокруг горизонтальной оси, проходящей через середину стержня. С каким угловым ускорением ε вращается стержень, если на него действует момент сил M = 98,1 мН·м? Ответ: 2,35 рад/с^2.

3. 8. К ободу однородного сплошного диска массой m = 10 кг, насажанного на ось, приложена постоянная касательная сила F = 30 Н. Определить кинетическую энергию диска через время t = 4 с после начала действия силы. Ответ: 1,44 кДж.

3. 9. Маховое колесо, момент инерции которого J = 245 кг·м^2, вращается с частотой n=20 об/с. Через время t = 1 мин после того, как на колесо перестал действовать момент сил M, оно остановилось. Найти момент сил трения $M_{тр}$ и число оборотов N, которое сделало колесо до полной остановки после прекращения действия сил. Колесо считать однородным диском. Ответ: 513 Н·м; 600.

3. 10.Шар радиусом R = 10 см и массой m = 5 кг вращается вокруг оси симметрии согласно уравнению $\varphi = A + Bt^2 + Ct^3$ (B = 2 рад/с^2, C = –0,5 рад/с^3). Определить момент сил M для t = 3 с. Ответ: –0,1 Н·м.

3. 11.Вентилятор вращается с частотой n = 600 об/мин. После выключения он начал вращаться равнозамедленно и, сделав N = 50 оборотов, остановился. Работа A сил торможения равна 31,4 Дж. Определить: момент M сил торможения; 2) момент инерции J вентилятора. Ответ: 1) 0,1 Н·м; 2) 15,9 мН·м.

3. 12.Маховик в виде сплошного диска, момент инерции которого J=150 кг·м^2, вращается с частотой n = 240 об/мин. Через время t=1 мин, как на маховик стал действовать момент сил торможения, он остановился. Определить: 1) момент М сил торможения; 2) число

оборотов маховика от начала торможения до полной остановки. Ответ: 1) 62,8 Н·м; 2) 120.

3. 13.Сплошной однородный диск скатывается без скольжения по наклонной плоскости, образующей угол α с горизонтом. Определить линейное ускорение a центра диска. Ответ: a = $^2/3 g\sin\alpha$.

3. 14.К ободу однородного сплошного диска радиусом R = 0,5 м приложена постоянная касательная сила F = 400 Н. При вращении диска на него действует момент сил трения $M_{тр}$ = 2 Н·м. Определить массу m диска, если известно, что его угловое ускорение ε постоянно и равно 16 рад/с^2. Ответ: 24 кг.

3. 15.Частота вращения n_o маховика, момент инерции J которого равен 120 кг·м^2, составляет 240 об/мин. После прекращения действия на него вращающего момента маховик под действием сил трения в подшипниках остановился за время t = π мин. Считая трение в подшипниках постоянным, определить момент М сил трения. Ответ: 16 Н·м.

3. 16.Маховик в виде сплошного диска, момент инерции которого J=1,5 кг·м^2, вращаясь при торможении равнозамедленно, за время t= 1 мин уменьшил частоту своего вращения с n_0 = 240 об/мин до n_1 = 120 об/мин. Определить: 1) угловое ускорение ε маховика; 2) момент M силы торможения; 3) работу торможения А. Ответ: 1) 0,21 рад/с^2, 2) 0,047 Н·м; 3) 355 Дж.

3. 17.Колесо радиусом R = 30 см и массой m = 3 кг скатывается по наклонной плоскости длиной 1 = 5 м и углом наклона α = 25°. Определить момент инерции колеса, если его скорость υ в конце движения составляла 4,6 м/с. Ответ: 0,259 кг·м^2.

3. 18.С наклонной плоскости, составляющей угол α = 30° к горизонту, скатывается без скольжения шарик. Пренебрегая трением, определить время движения шарика по наклонной плоскости, если известно, что его центр масс при скатывании понизился на 30 см. Ответ: 0,585 с.

3. 19.На однородный сплошной цилиндрический вал радиусом R = 50 см намотана легкая нить, к концу которой прикреплен груз массой m = 6,4 кг. Груз, разматывая нить, опускается с ускорением a = 2 м/с^2. Определить: 1) момент инерции J вала; 2) массу M вала. Ответ: 1) 6,25 кг·м^2; 2) 50 кг.

3. 20.На однородный сплошной цилиндрический вал радиусом R = 20 см, момент инерции которого J = 0,15 кг·м^2, намотана легкая

нить, к концу которой прикреплен груз массой $m = 0{,}5$кг. До начала вращения барабана высота h груза над полом составляла 2,3 м. Определить: 1) время опускания груза до пола; 2) силу натяжения нити; 3) кинетическую энергию груза в момент удара о пол. Ответ: 1) 2 с; 2) 4,31 Н; 3) 1,32 Дж.

3. 21.Через неподвижный блок в виде однородного сплошного цилиндра массой $m = 0{,}2$ кг перекинута невесомая нить, к концам которой прикреплены тела массами $m_1 = 0{,}35$ кг и $m_2 = 0{,}55$ кг. Пренебрегая трением в оси блока, определить: 1) ускорение грузов; 2) отношение T_2/T_1 сил натяжения нити. Ответ: 1) 1,96 м/с^2; 2) 1,05.

3. 22.Кинетическая энергия вала, вращающегося с частотой $n = 5$ об/с, $W_к = 60$ Дж. Найти момент импульса L вала. Ответ: 3,8 кг·м^2/с.

3. 23.Карандаш длиной l=15 см, поставленный вертикально, падает на стол. Какую угловую скорость ω и линейную скорость υ будут иметь в конце падения середина и верхний конец карандаша? Ответ: $\omega_с = \omega_к$=14 рад/с; $\upsilon_с$=1,05 м/с, $\upsilon_к$=2,1 м/с.

3. 24.Маховик начинает вращаться из состояния покоя с постоянным угловым ускорением $\varepsilon = 0{,}4$ рад/с^2. Определить кинетическую энергию маховика через время $t_2 = 25$ с после начала движения, если через $t_1 = 10$ с после начала движения момент импульса L_1 маховика составлял 60кг·м^2/с. Ответ: 1) $E_к = 75$ Дж.

3. 25.Горизонтальная платформа массой $m = 25$ кг и радиусом $R = 0{,}8$ м вращается с частотой $n_1 = 18$ мин-^{1}. В центре стоит человек и держит в расставленных руках гири. Считая платформу диском, определить частоту вращения платформы, если человек, опустив руки, уменьшит свой момент инерции от $J_1 = 3{,}5$ кг·м^2 до $J_2 = 1$ кг·м^2. Ответ: 23 мин$^{-1}$.

3. 26.Человек, стоящий на скамье Жуковского, держит в руках стержень длиной $l = 2{,}5$ м и массой $m = 8$ кг, расположенный вертикально вдоль оси вращения скамейки. Эта система (скамья и человек) обладает моментом инерции $J = 10$ кг·м^2 и вращается с частотой $n_1 = 12$ мин$^{-1}$. Определить частоту n_2 вращения системы, если стержень повернуть в горизонтальное положение. Ответ: 8,5 мин$^{-1}$.

3. 27.Человек массой $T = 60$ кг, стоящий на краю горизонтальной платформы массой $M = 120$ кг, вращающейся по инерции вокруг неподвижной вертикальной оси с частотой n_1=10 мин$^{-1}$, переходит к

ее центру. Считая платформу круглым однородным диском, а человека — точечной массой, определить, с какой частотой будет тогда вращаться платформа. Ответ: 20 мин$^{-1}$.

3. 28.Платформа, имеющая форму сплошного однородного диска, может вращаться по инерции вокруг неподвижной вертикальной оси. На краю платформы стоит человек, масса которого в 3 раза меньше массы платформы. Определять, как и во сколько раз изменится угловая скорость вращения платформы, если человек перейдет ближе к центру на расстояние, равное половине радиуса платформы. Ответ: Возрастет в 1,43 раза.

3. 29.Человек массой m = 60 кг, стоящий на краю горизонтальной платформы радиусом R = 1 м массой M = 120 кг, вращающейся по инерции вокруг неподвижной вертикальной оси с частотой n_1 = 10 мин$^{-1}$, переходит к ее центру. Считая платформу круглым однородным диском, а человека — точечной массой, определить работу, совершаемую человеком при переходе от края платформы к ее центру. Ответ: 65,8 Дж.

3. 30.Однородный стержень длиной l = 0,5 м совершает малые колебания в вертикальной плоскости около горизонтальной оси, проходящей через его верхний конец. Найти период колебаний T стержня. Ответ: 1,16 с.

3. 31.Обруч диаметром D = 56,5 см висит на гвозде, вбитом в стену, и совершает малые колебания в плоскости, параллельной стене. Найти период колебаний T обруча. Ответ: 1,5 с.

4. Элементы специальной теории относительности

Длина l тела, движущегося со скоростью υ относительно некоторой системы отсчета, связана с длиной l_0 тела, неподвижного в этой системе, соотношением

$$l = l_0\sqrt{1-\beta^2}\,,$$

где $\beta=\upsilon/c$, c – скорость распространения света.

Промежуток времени $\Delta\tau$ в системе, движущейся со скоростью υ по отношению к наблюдателю, связан с промежутком времени $\Delta\tau_0$ в неподвижной для наблюдателя системе соотношением

$$\Delta\tau = \frac{\Delta\tau_0}{\sqrt{1-\beta^2}}.$$

Зависимость массы m тела от скорости υ его движения дается уравнением

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1-\beta^2}},$$

где m_0 – масса покоя этого тела.

Зависимость кинетической энергии тела от скорости υ его движения дается уравнением

$$W_k = m_0 c^2\left(\frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}} - 1\right).$$

Изменение массы системы на Δm соответствует изменению энергии системы на

$$\Delta W = c^2\,\Delta m.$$

Релятивистский закон сложения скоростей для тела, движущегося вдоль оси OX, имеет вид

$$u = \frac{u' + \upsilon}{1 + \frac{u'\upsilon}{c^2}},$$

где υ – скорость движущейся системы отсчета K', u' – скорость относительно системы K', u – скорость относительно неподвижной.

4. 1. Две нестабильные частицы движутся в системе отсчета K в одном направлении вдоль одной прямой с одинаковой скоростью υ = 0,6 с. Расстояние между частицами в системе K равно 64 м. Обе частицы распались одновременно в системе K', которая связана с ними. Определить промежуток времени между распадом частиц в системе K. Ответ: 0,2 мкс.

4. 2. Определить, во сколько раз увеличивается время жизни нестабильной частицы (по часам неподвижного наблюдателя), если она начинает двигаться со скоростью, равной 0,9 с. Ответ: В 2,29 раза.

4. 3. Собственное время жизни частицы отличается на 1 % от времени жизни по неподвижным часам. Определить $\beta = \upsilon/c$. Ответ: 0,141.

4. 4. Космический корабль движется со скоростью υ = 0,8 с по направлению к Земле. Определить расстояние, пройденное им в системе отсчета, связанной с Землей (системе *К*), за t_0 = 0,5 с, отсчитанное по часам в космическом корабле (системе *К'*). Ответ: 200 Мм.

4. 5. Мюоны, рождаясь в верхних слоях атмосферы, при скорости υ = 0,995 с пролетают до распада *l* = 6 км. Определить: 1) собственную длину пути, пройденную ими до распада; 2) время жизни мюона для наблюдателя на Земле; 3) собственное время жизни мюона. Ответ: 1) 599 м; 2) 20,1 мкс; 3) 2 мкс.

4. 6. Определить относительную скорость движения, при которой релятивистское сокращение линейных размеров тела составляет 10%. Ответ: $1{,}31\cdot10^5$ км/с.

4. 7. В системе *К'* покоится стержень (собственная длина l_0 = 1,5 м), ориентированный под углом θ' = 30° к оси Ох'. Система *К'* движется относительно системы *К* со скоростью υ = 0,6 с. Определить в системе К: 1) длину стержня *1*; 2) соответствующий угол θ. Ответ: 1) 1,28 м; 2) 35°48'.

4. 8. Определить собственную длину стержня, если в лабораторной системе его скорость υ = 0,6 с, длина *l* = 1,5 м и угол между ним и направлением движения ϑ=30°. Ответ: 1,79 м.

4. 9. Ионизованный атом, вылетев из ускорителя со скоростью 0,8 с, испустил фотон в направлении своего движения. Определить скорость фотона относительно ускорителя. Ответ: *с*.

4. 10.Две ракеты движутся навстречу друг другу относительно неподвижного наблюдателя с одинаковой скоростью, равной 0,5 с. Определить скорость сближения ракет, исходя из закона сложения скоростей: 1) в классической механике; 2) в специальной теории относительности. Ответ: 1) *с*; 2) 0,8 с.

4. 11.Частица движется со скоростью υ = 0,8 с. Определить отношение массы релятивистской частицы к ее массе покоя. Ответ: 1,67.

4. 12.Определить на сколько процентов масса релятивистской элементарной частицы, вылетающей из ускорителя со скоростью υ = 0,75 с, больше ее массы покоя Ответ: На 51,2%.

4. 13.Определить скорость движения релятивистской частицы, если ее масса в два раза больше массы покоя. Ответ: 0,866 с.

4. 14.Определить релятивистский импульс протона, если скорость его движения υ = 0,8с. Ответ: $6{,}68\cdot10^{-19}$ кг·м/с.

4. 15.Определить скорость, при которой релятивистский импульс частицы превышает ее ньютоновский импульс в n = 3 раза. Ответ: 0,943 с.

4. 16.Полная энергия релятивистской частицы в 8 раз превышает ее энергию покоя. Определить скорость этой частицы. Ответ: 298 Мм/с.

4. 17.Кинетическая энергия частицы оказалась равной ее t энергии покоя. Определить скорость частицы. Ответ: 260 Мм/с.

4. 18.Определить релятивистский импульс p и кинетическую энергию T протона, движущегося со скоростью υ = 0,75 с. Ответ: $5{,}68\cdot10^{-19}$ кг·м/с; $7{,}69\cdot10^{-11}$ Дж.

4. 19.Определить кинетическую энергию электрона, если масса движущегося электрона втрое больше его массы покоя. Ответ выразить в электронвольтах. Ответ: 1,02 МэВ.

4. 20.Определить работу, которую необходимо совершить, чтобы увеличить скорость частицы с массой покоя m_o от 0,5 с до 0,7 с. Ответ: 0,245 $m_o c^2$.

4. 21.Определить релятивистский импульс электрона, кинетическая энергия которого T = 1 ГэВ. Ответ: $5{,}34\cdot10^{-19}$ кг·м/с.

5. Механические колебания и волны

Уравнение гармонического колебательного движения имеет вид

$$x = A\sin\left(\frac{2\pi}{T}t + \varphi\right) = A\sin(2\pi\nu t + \varphi) = A\sin(\omega t + \varphi),$$

где x – смещение точки от положения равновесия, разное для разных моментов времени, A – амплитуда, T – период, φ – начальная фаза, ν [Гц]=1/T – частота колебаний, ω [с$^{-1}$]=2π/T – круговая частота.

Скорость и ускорение точки, совершающей колебание, определяются соотношениями

$$\upsilon = \frac{dx}{dt} = \frac{2\pi}{T} A\cos\left(\frac{2\pi}{T}t + \varphi\right),$$

$$a = \frac{d\upsilon}{dt} = \frac{d^2x}{dt^2} = -\frac{4\pi^2}{T^2} A\sin\left(\frac{2\pi}{T}t + \varphi\right).$$

Сила, под действием которой точка массой m совершает гармоническое колебание,

$$F = ma = -\frac{4\pi^2 m}{T^2} A\sin\left(\frac{2\pi}{T}t + \varphi\right) = -\frac{4\pi^2 m}{T^2} x = -kx,$$

где $k = 4\pi^2 m/T$, $T = 2\pi\sqrt{m/k}$. Здесь T – период колебаний точки, совершающей колебания под действием силы $F = -kx$, где k – жесткость, численно равная силе, вызывающей смещение, равное единице.

Кинетическая и потенциальная энергии колеблющейся точки имеют вид

$$W_к = \frac{m\upsilon^2}{2} = \frac{2\pi^2 m}{T^2} A^2 \cos^2\left(\frac{2\pi}{T}t + \varphi\right),$$

$$W_п = \frac{kx^2}{2} = \frac{2\pi^2 m}{T^2} A^2 \sin^2\left(\frac{2\pi}{T}t + \varphi\right).$$

Полная энергия

$$W = \frac{2\pi^2 m}{T^2} A^2.$$

Примером гармонических колебательных движений могут служить малые колебания маятника. Период колебаний математического маятника

$$T = 2\pi\sqrt{l/g},$$

где l – длина маятника, g – ускорение свободного падения.

При сложении двух одинаково направленных гармонических колебаний одинакового периода получается гармоническое колебание того же периода с амплитудой

$$A = \sqrt{A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2\cos(\varphi_2 - \varphi_1)}$$

и с начальной фазой, определяемой из уравнения

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{A_1\sin\varphi_1 + A_2\sin\varphi_2}{A_1\cos\varphi_1 + A_2\cos\varphi_2},$$

где A_1 и A_2 – амплитуды слагаемых колебаний, φ_1 и φ_2 – их начальные фазы.

При сложении двух взаимно перпендикулярных колебаний одинакового периода уравнение траектории результирующего движения имеет вид

$$\frac{x^2}{A_1^2}+\frac{y^2}{A_2^2}+\frac{2xy}{A_1A_2}\cos(\varphi_2-\varphi_1)=\sin^2(\varphi_2-\varphi_1).$$

Если на материальную точку массой m, кроме упругой силы $F = -kx$, действует еще сила трения $F_{тр} = -r\upsilon$, где r – коэффициент трения и υ – скорость колеблющейся точки, то колебания точки будут затухающими. Уравнение затухающего колебательного движения имеет вид $x = Ae^{-\delta t}\sin(\omega t+\varphi)$, где δ [$с^{-1}$] – коэффициент затухания. При этом $\delta = r/2m$ и $\omega=\sqrt{\omega_о^2-\delta^2}$, где $\omega_о$ – круговая частота собственных колебаний. Величина $æ = \delta T$, называется логарифмическим декрементом затухания.

Если на материальную точку массой m, колебание которой дано в виде $x_1 = Ae^{-\delta t}\sin\omega_о t$, действует внешняя периодическая сила $F = F_o sin\omega t$, то колебания точки будут вынужденными и уравнение ее движения примет вид $x_2 = A\sin(\omega t+\varphi)$,

где $A=\dfrac{F_о}{m\sqrt{(\omega_о^2-\omega^2)^2+4\delta^2\omega^2}}$, $\qquad \mathrm{tg}\,\varphi=\dfrac{2\delta\omega}{\omega_о^2-\omega^2}$.

Резонанс наступает тогда, когда частота вынужденных колебаний ω связана с частотой собственных колебаний $\omega_о$ и с коэффициентом затухания δ соотношением $\omega=\sqrt{\omega_о^2-2\delta^2}$.

При распространении незатухающих колебаний со скоростью c вдоль некоторого направления, называемого лучом, смещение любой точки, лежащей на луче и отстоящей от источника колебаний на расстоянии l, дается уравнением

$$x=A\sin\left(\frac{2\pi}{T}t-\frac{2\pi l}{\lambda}\right),$$

где A – амплитуда колеблющихся точек, λ –длина волны. При этом $\lambda=cT$. Две точки, лежащие на луче на расстояниях l_1 и l_2 от источника колебаний, имеют разность фаз

$$\varphi_2-\varphi_1=2\pi\frac{l_2-l_1}{\lambda}.$$

При интерференции волн максимум и минимум амплитуды получаются соответственно при условиях

$$l_2 - l_1 = 2n\frac{\lambda}{2} \qquad (n = 0, 1, 2, \ldots),$$

$$l_2 - l_1 = (2n+1)\frac{\lambda}{2} \qquad (n = 0, 1, 2, \ldots).$$

Здесь $l_2 - l_1$ – разность хода лучей.

5. 1. Точка совершает гармонические колебания с периодом $T = 6$ с и начальной фазой, равной нулю. Определить, за какое время, считая от начала движения, точка сместится от положения равновесия на половину амплитуды. Ответ: 1 с.

5. 2. Точка совершает гармонические колебания по закону $x = 3\cos\alpha(\frac{\pi}{2}t + \frac{\pi}{8})$ м. Определить: 1) период T колебаний; 2) максимальную скорость υ_{max} точки; 3) максимальное ускорение $\boldsymbol{a}_{max}$ точки. Ответ:1) $T = 4$ с; 2) $\upsilon_{max} = 4{,}71$ м/с, 3) $\boldsymbol{a}_{max} = 7{,}4$ м/с^2.

5. 3. Точка совершает гармонические колебания с амплитудой A =10 см и периодом T=5 с. Определить для точки: 1) максимальную скорость; 2) максимальное ускорение. Ответ:1) 12,6 см/с; 2) 15,8 см/с^2.

5. 4. Материальная точка совершает колебания согласно уравнению $x = A\sin\omega t$. В какой-то момент времени смещение точки $x_1 = 15$см. При возрастании фазы колебаний в два раза смещение x_2 оказалось равным 24 см. Определить амплитуду A колебаний. Ответ: 25 см.

5. 5. Материальная точка совершает гармонические колебания согласно уравнению $x = 0{,}02\cos(\pi t + \frac{\pi}{2})$, м. Определить: 1) амплитуду колебаний; 2) период колебаний; 3) начальную фазу колебаний; 4) максимальную скорость точки; 5) максимальное ускорение точки; 6) через сколько времени после начала отсчета точка будет проходить через положение равновесия. Ответ:1) 2 см, 2) 2 с; 3) $\pi/2$; 4) 6,28 см/с; 5) 19,7 см/с^2; 6) $t = m$, где m = 0, 1, 2, ...

5. 6. Материальная точка, совершающая гармонические колебания с частотой $\nu = 1$ Гц, в момент времени $t = 0$ проходит положение, определяемое координатой $x_o = 5$ см, со скоростью $\upsilon_o = 15$ см/с. Определить амплитуду колебаний. Ответ: 5,54 см.

5. 7. Определить максимальные значения скорости и ускорения точки, совершающей гармонические колебания с амплитудой A = 3 см и периодом T = 4 с. Ответ: υ_{max} = 4,71 см/с^2; $\boldsymbol{a}_{max}$ = 7,4 см/с^2.

5. 8. Тело массой m= 10 г совершает гармонические колебания по закону $x = 0{,}1\cos(4\pi t + \pi/4)$ м. Определить максимальные значения: 1) возвращающей силы; 2) кинетической энергии. Ответ:1) 0,158 Н; 2) 7,89 мДж.

5. 9. Материальная точка массой m = 50 г совершает гармонические колебания согласно уравнению $x = 0{,}1\cos\frac{3\pi}{2}t$ м. Определить: 1) возвращающую силу F для момента времени t = 0,5 с; 2) полную энергию Е точки. Ответ:1) 78,5 мН; 2) 5,55 мДж.

5. 10.Материальная точка массой m = 20 г совершает гармонические колебания по закону $x = 0{,}1\cos(4\pi t + \pi/4)$ м. Определить полную энергию E этой точки. Ответ: 15,8 мДж.

5. 11.Полная энергия E гармонически колеблющейся точки равна 10 мкДж, а максимальная сила F_{max}, действующая на точку, равна -0,5 мН. Написать уравнение движения этой точки, если период T колебаний равен 4 с, а начальная фаза $\varphi = \pi/6$. Ответ: $x = 0{,}04\cos(\frac{\pi}{2}t + \frac{\pi}{6})$, м.

5. 12.Определить отношение кинетической энергии T точки, совершающей гармонические колебания, к ее потенциальной энергии П, если известна фаза колебания. Ответ: $\mathrm{tg}^2(\omega_0 t + \varphi)$.

5. 13.Груз, подвешенный к спиральной пружине, колеблется по вертикали с амплитудой A = 8 см. Определить жесткость k пружины, если известно, что максимальная кинетическая энергия T_{max} груза составляет 0,8 Дж. Ответ: 250 Н/м.

5. 14.Материальная точка колеблется согласно уравнению $x = A\cos\omega t$, где A = 5 см и $\omega = \pi/12$ с$^{-1}$. Когда возвращающая сила F в первый раз достигает значения — 12мН, потенциальная энергия П точки оказывается равной 0,15 мДж. Определить: 1) этот момент времени t; 2) соответствующую этому моменту фазу ωt. Ответ:1) 4с; 2) $\pi/3$.

5. 15.Груз, подвешенный к спиральной пружине, колеблется по вертикали с амплитудой A = 6 см. Определить полную энергию E колебаний груза, если жесткость k пружины составляет 500 Н/м. Ответ: 0,9 Дж.

5. 16.Спиральная пружина обладает жесткостью k = 25 Н/м. Определить, тело какой массой m должно быть подвешено к пружине, чтобы за t = 1 мин совершалось 25 колебаний. Ответ: 3,65 кг.

5. 17.Если увеличить массу груза, подвешенного к спиральной пружине, на 600 г, то период колебаний груза возрастает в 2 раза. Определить массу первоначально подвешенного груза. Ответ: 0,2 кг.

5. 18.При подвешивании грузов массами m_1 = 600 г и m_2 = 400 г к свободным пружинам последние удлинились одинаково (l = 10 см). Пренебрегая массой пружин, определить: 1) периоды колебаний грузов; 2) какой из грузов при одинаковых амплитудах обладает большей энергией и во сколько раз. Ответ: 1) $T_1 = T_2$ = 0,63 с; 2) груз большей массы, в 1,5 раза.

5. 19.Физический маятник представляет собой тонкий однородный стержень длиной 35 см. Определить, на каком расстоянии от центра масс должна быть точка подвеса, чтобы частота колебаний была максимальной. Ответ: 10,1 см.

5. 20.Однородный диск радиусом R = 20 см колеблется около горизонтальной оси, проходящей на расстоянии l = 15 см от центра диска. Определить период T колебаний диска относительно этой оси. Ответ: 1,07 с.

5. 21.Тонкий обруч радиусом R = 50 см подвешен на вбитый в стену гвоздь и колеблется в плоскости, параллельной стене. Определить период T колебаний обруча. Ответ: 2 с.

5. 22.Тонкий однородный стержень длиной l = 60 см может свободно вращаться вокруг горизонтальной оси, проходящей через верхний конец стержня. Стержень отклонили на угол α_0 = 0,01 рад и в момент времени t_0 = 0 отпустили. Считая колебания малыми, определить период колебаний стержня и записать функцию $\alpha(t)$. Ответ: 1,27 с, $\alpha(t) = 0{,}01 \cos 1{,}57\pi t$ рад.

5. 23.Тонкий однородный стержень длиной l = 60 см может свободно вращаться вокруг горизонтальной оси, отстоящей на расстоянии x = 15 см от его середины. Определить период колебаний стержня, если он совершает малые колебания. Ответ: 2,2 с.

5. 24.Математический маятник, состоящий из нити длиной l = 1 м и свинцового шарика радиусом r = 2 см, совершает гармонические колебания с амплитудой A = 6 см. Определить: 1) скорость шарика при прохождении им положения равновесия; 2) максимальное

значение возвращающей силы. Плотность свинца $\rho = 11{,}3$ г/см^3. Ответ:1) 0,186 м/с; 2) 69,5 мН.

5. 25.Два математических маятника имеют одинаковые массы, длины, отличающиеся в n = 1,5 раза, и колеблются с одинаковыми угловыми амплитудами. Определить, какой из маятников обладает большей энергией и во сколько раз. Ответ: Маятник большей длины, в 1,5 раза.

5. 26.Два математических маятника, длины которых отличаются на Δl = 16 см, совершают за одно и то же время один n_1 = 10 колебаний, другой — n_2 = 6 колебаний. Определить длины маятников l_1 и l_2. Ответ: l_1 = 9 см, l_2 = 25 см.

5. 27.Математический маятник длиной l = 50 см подвешен в кабине самолета. Определить период T колебаний маятника, если самолет движется: 1) равномерно; 2) горизонтально с ускорением a = 2,5 м/с^2. Ответ:1) 1,42 с; 2) 1,4 с.

5. 28.Математический маятник длиной l = 1 м подвешен к потолку кабины, которая начинает опускаться вертикально вниз с ускорением a_1 = g/4. Спустя время t_1 = 3 с после начала движения кабина начинает двигаться равномерно, а затем в течение 3 с тормозится до остановки. Определить: 1) периоды T_1, T_2, T_3 гармонических колебаний маятника на каждом из участков пути; 2) период T_4 гармонических колебаний маятника при движении точки подвеса в горизонтальном направлении с ускорением a_4 = g/4. Ответ: T_1 = 2,32 с, T_2 = 2,01 с, T_3= 1,79 с, T_4 = 0,621 с.

5. 29.Два одинаково направленных гармонических колебания одинакового периода с амплитудами A_1 = 4 см и A_2 = 8 см имеют разность фаз φ = 45°. Определить амплитуду результирующего колебания. Ответ: 11,2 см.

5. 30.Амплитуда результирующего колебания, получающегося при сложении двух одинаково направленных гармонических колебаний одинаковой частоты, обладающих разностью фаз φ = 60°, равна A = 6 см. Определить амплитуду A_2 второго колебания, если A_1 = 5 см. Ответ: 1,65 см.

5. 31.Определить разность фаз двух одинаково направленных гармонических колебаний одинаковых частоты и амплитуды, если амплитуда их результирующего колебания равна амплитудам складываемых колебаний. Ответ:120°.

5. 32.Разность фаз двух одинаково направленных гармонических колебаний одинакового периода $T = 4$ с и одинаковой амплитуды $A = 5$ см составляет $\pi/4$. Написать уравнение движения, получающегося в результате сложения этих колебаний, если начальная фаза одного из них равна нулю. Ответ: $x = 9{,}24\cos\left(\frac{\pi}{2}t + \frac{\pi}{8}\right)$, см.

5. 33.Складываются два гармонических колебания одного направления, описываемых уравнениями $x_1 = 3\cos 2\pi t$ см и $x_2 = 3\cos(2\pi t + \pi/4)$ см. Определить для результирующего колебания: 1) амплитуду; 2) начальную фазу. Записать уравнение результирующего колебания и представить векторную диаграмму сложения амплитуд. Ответ: 1) 5,54 см; 2) $\pi/8$; $x = 5{,}54\cos\left(2\pi t + \frac{\pi}{8}\right)$, см.

5. 34.Частоты колебаний двух одновременно звучащих камертонов настроены соответственно на 560 и 560,5 Гц. Определить период биений. Ответ: 2 с.

5. 35.В результате сложения двух колебаний, период одного из которых $T_1 = 0{,}02$ с, получают биения с периодом $T_б = 0{,}2$ с. Определить период T_2 второго складываемого колебания. Ответ: 22,2 мс.

5. 36.Складываются два гармонических колебания одного направления, имеющие одинаковые амплитуды и одинаковые начальные фазы, с периодами $T_1 = 2$ с и $T_2 = 2{,}05$ с. Определить: 1) период результирующего колебания; 2) период биения. Ответ: 1) 2,02 с; 2) 82 с.

5. 37.Результирующее колебание, получающееся при сложении двух гармонических колебаний одного направления, описывается уравнением вида $x = A\cos t \cos 45t$ (t — в секундах). Определить: 1) циклические частоты складываемых колебаний; 2) период биений результирующего колебания. Ответ:1) $\omega_1 = 46$ с$^{-1}$, $\omega_2 = 45$ с$^{-1}$; 2) $T = 6{,}28$ с.

5. 38.Точка участвует одновременно в двух гармонических колебаниях, происходящих во взаимно перпендикулярных направлениях и описываемых уравнениями $x = 3\cos\omega t$, см и

$y = 4\cos\omega t$, см. Определить уравнение траектории точки и вычертить ее с нанесением масштаба. Ответ: $y = 4x/3$.

5. 39.Точка участвует одновременно в двух гармонических колебаниях, происходящих во взаимно перпендикулярных направлениях и описываемых уравнениями $x = 3\cos 2\omega t$, см и $y = 4\cos(2\omega t + \pi)$, см. Определить уравнение траектории точки и вычертить ее с нанесением масштаба. Ответ: $y = -4x/3$.

5. 40.Точка участвует одновременно в двух гармонических колебаниях, происходящих во взаимно перпендикулярных направлениях и описываемых уравнениями $x = A\sin\omega t$ и $y = B\cos\omega t$, где A, B и ω — положительные постоянные. Определить уравнение траектории точки, вычертить ее с нанесением масштаба, указав направление ее движения по этой траектории. Ответ: $x^2/A^2 + y^2/B^2 = 1$, по часовой стрелке.

5. 41.Точка участвует одновременно в двух гармонических колебаниях одинаковой частоты, происходящих во взаимно перпендикулярных направлениях и описываемых уравнениями $x = A\sin(\omega t + \pi/2)$ и $y = A\sin\omega t$. Определить уравнение траектории точки и вычертить ее с нанесением масштаба, указав направление ее движения по этой траектории. Ответ: $x^2 + y^2 = A^2$, против часовой стрелки.

5. 42.Точка участвует одновременно в двух гармонических колебаниях, происходящих во взаимно перпендикулярных направлениях и описываемых уравнениями $x = \cos 2\pi t$ и $y = \cos\pi t$. Определить уравнение траектории точки и вычертить ее с нанесением масштаба Ответ: $2y^2 - x = 1$.

5. 43.Точка участвует одновременно в двух гармонических колебаниях, происходящих во взаимно перпендикулярных направлениях и описываемых уравнениями $x = A\sin\omega t$ и $y = A\sin 2\omega t$. Определить уравнение траектории точки и вычертить ее с нанесением масштаба. Ответ: $y^2 = 4x^2(1-x^2/A^2)$.

5. 44.Период затухающих колебаний $T = 1$ с, логарифмический декремент затухания $\Theta = 0{,}3$, начальная фаза равна нулю. Смещение точки при $t = 2\,T$ составляет 5см. Записать уравнение движения этого колебания. Ответ: $x = 9{,}1\cdot e^{-0{,}3t}\cos 2\pi t$, см.

5. 45.Амплитуда затухающих колебаний маятника за $t = 2$ мин уменьшилась в 2 раза. Определить коэффициент затухания δ. Ответ: $5{,}78\cdot 10^{-3}$ $с^{-1}$.

5.46. Логарифмический декремент колебаний Θ маятника равен 0,01. Определить число N полных колебаний маятника до уменьшения его амплитуды в 3 раза. Ответ: 110.

5.47. Амплитуда затухающих колебаний математического маятника за 1 мин уменьшилась в 3 раза. Определить, во сколько раз она уменьшится за 4 мин. Ответ: В 81 раз.

5.48. Начальная амплитуда затухающих колебаний маятника A_0 = 3 см. По истечении t_1 = 10 с A_1 = 1 см. Определить, через сколько времени амплитуда колебаний станет равной A_2 = 0,3 см. Ответ: 21 с.

5.49. Тело массой m = 0,6 кг, подвешенное к спиральной пружине жесткостью k = 30 Н/м, совершает в некоторой среде упругие колебания. Логарифмический декремент колебаний Θ = 0,01. Определить: 1) время t, за которое амплитуда колебаний уменьшится в 3 раза; 2) число N полных колебаний, которые должна совершить гиря, чтобы произошло подобное уменьшение амплитуды. Ответ: 1) 97,6 с; 2) 110.

5.50. При наблюдении затухающих колебаний выяснилось, что для двух последовательных колебаний амплитуда второго меньше амплитуды первого на 60 %. Период затухающих колебаний T = 0,5 с. Определить: 1) коэффициент затухания δ; 2) для тех же условий частоту ν_o незатухающих колебаний. Ответ:1) δ=1,83$с^{-1}$; 2) 2,02 Гц.

5.51. Тело массой m = 100 г, совершая затухающие колебания, за τ = 1 мин потеряло 40 % своей энергии. Определить коэффициент сопротивления r. Ответ: $8{,}51 \cdot 10^{-4}$ кг/с.

5.52. За время, в течение которого система совершает N = 50 полных колебаний, амплитуда уменьшается в 2 раза. Определить добротность Q системы. Ответ: 227.

5.53. Частота свободных колебаний некоторой системы ω = 65 рад/с, а ее добротность Q = 2. Определить собственную частоту ω_o колебаний этой системы. Ответ: 67 рад/с.

5.54. Определить резонансную частоту колебательной системы, если собственная частота колебаний ν_o = 300 Гц, а логарифмический декремент Θ = 0,2. Ответ: 300 Гц.

5.55. Собственная частота ν_o колебаний некоторой системы составляет 500 Гц. Определить частоту ν затухающих колебаний этой системы, если резонансная частота $\nu_{рез}$ = 499 Гц. Ответ: 499,5 Гц.

5. 56.Период затухающих колебаний системы составляет 0,2 с, а отношение амплитуд первого и шестого колебаний равно 13. Определить резонансную частоту данной колебательной системы. Ответ: 4,97 Гц.

5. 57.Определить разность фаз $\Delta\varphi$ колебаний двух точек, лежащих на луче и друг от друга на расстоянии $\Delta l = 1$ м, если длина волны $\lambda = 0{,}5$м. Ответ: $\Delta\varphi = 4\pi$, точки колеблются в одинаковых фазах.

5. 58.Две точки лежат на луче и находятся от источника колебаний на расстояниях $x_1 = 4$ м и $x_2 = 7$ м. Период колебаний $T = 20$ мс и скорость н распространения волны равна 300 м/с. Определить разность фаз колебаний этих точек. Ответ: $\Delta\varphi = \pi$, точки колеблются в противоположных фазах.

5. 59.Волна распространяется в упругой среде со скоростью $\upsilon = 150$ м/с. Определить частоту н колебаний, если минимальное расстояние Δx между точками среды, фазы колебаний которых противоположны, равно 0,75 м. Ответ: 100 Гц.

5. 60.Определить длину волны λ, если числовое значение волнового вектора k равно 0,02512 см$^{-1}$. Ответ: 2,5 м.

5. 61.Звуковые колебания с частотой $\nu = 450$ Гц и амплитудой $A = 0{,}3$ мм распространяются в упругой среде. Длина волны $\lambda = 80$ см. Определить: 1) скорость распространения волн; 2) максимальную скорость частиц среды. Ответ: 1) 360 м/с; 2) 84,8 см/с.

5. 62.Два когерентных источника колеблются в одинаковых фазах с частотой $\nu = 400$ Гц. Скорость распространения колебаний в среде $\upsilon = 1$ км/с. Определить при какой наименьшей разности хода будет наблюдаться: 1) максимальное усиление колебаний; 2) максимальное ослабление колебаний. Ответ:1) 2,5 м; 2) 1,25 м.

5. 63.Два когерентных источника посылают поперечные волны в одинаковых фазах. Периоды колебаний $T = 0{,}2$ с, скорость распространения волн в среде $\upsilon = 800$ м/с. Определить, при какой разности хода в случае наложения волн будет наблюдаться: 1) ослабление колебаний; 2) усиление колебаний. Ответ: 1) $\pm 80(2m+1)$, м ($m = 0, 1, 2, \ldots$); 2) $\pm 160m$, м ($m = 0, 1, 2, \ldots$).

5. 64.Два динамика расположены на расстоянии $d = 0{,}5$ м друг от друга и воспроизводят один и тот же музыкальный тон на частоте $\nu = 1500$ Гц. Приемник находится на расстоянии $l = 4$ м от центра динамиков. Принимая скорость звука $\upsilon = 340$ м/с, определить на какое расстояние от центральной линии параллельно динамикам надо

отодвинуть приемник, чтобы он зафиксировал первый интерференционный минимум. Ответ: 90,7 см.

5. 65. Определить длину волны λ, если расстояние Δl между первым и четвертым узлами стоячей волны равно 30 см. Ответ: 20 см.

5. 66. Для определения скорости звука в воздухе методом акустического резонанса используется труба с поршнем и звуковой мембраной, закрывающей один из ее торцов. Расстояние между соседними положениями поршня, при котором наблюдается резонанс на частоте $\nu = 2500$ Гц, составляет $l = 6{,}8$ см. Определить скорость звука в воздухе. Ответ: 340 м/с.

6. Молекулярно-кинетическая теория идеальных газов

- Концентрация частиц (молекул, атомов и т.п.) однородной системы

$$n = N/V$$

где V-объём системы

- Основное уравнение кинетической теории газов

$$p = \tfrac{2}{3} n < E_k >$$

где p — давление газа; $<E_k>$-средняя кинетическая энергия поступательного движения молекулы.

- Средняя кинетическая энергия:

приходящаяся на одну степень свободы молекулы

$$E_1 = \tfrac{1}{2} kT$$

приходящаяся на все степени свободы молекулы (полная энергия молекулы)

$$E = \tfrac{i}{2} kT$$

поступательное движение молекулы

$$E_1 = \tfrac{3}{2} kT$$

где k-постоянная Больцмана; T-термодинамическая температура; i-число степеней свободы молекулы;

Энергия вращательного движения молекулы

$$E_{вр} = \tfrac{i-3}{2} kT$$

- Зависимость давления газа от концентрации молекул и температуры

$$P = nkT$$

- Скорость молекулы:

средняя квадратичная

$$< \upsilon_{кв} >= \sqrt{3kT/m_1}\text{, или } < \upsilon_{кв} >= \sqrt{3RT/M}$$

средняя арифметическая

$$< \upsilon >= \sqrt{8kT/\ (\pi m_1)},\quad \text{или}\quad < \upsilon >= \sqrt{8RT/\ (\pi M)}$$

наиболее вероятная

$$\upsilon_в = \sqrt{2kT/m_1},\quad \text{или}\quad \upsilon_в = \sqrt{2RT/M}$$

где m_1 – масса одной молекулы.

- Барометрическая формула

$$p_h = p_0\, e^{-Mg(h-h_0)/(RT)},$$

где p_h и p_0 – давление газа на высоте h и h_0.

- Распределение Больцмана во внешнем потенциальном поле

$$n = n_0\, e^{-Mgh/(RT)} = n_0\, e^{-m_0 gh/(kT)}, \quad \text{или} \quad n = n_0\, e^{-\Pi/(kT)},$$

где n и n_0 – концентрация молекул на высоте h и h=0; $\Pi = m_0 gh$ – потенциальная энергия молекулы в поле тяготения.

- Среднее число соударений, испытываемых молекулой газа за 1 с

$$< z >= \sqrt{2}\pi d^2 n < \upsilon >,$$

где d – эффективный диаметр молекулы; n – концентрация молекул; $<\upsilon>$ - средняя арифметическая скорость молекул.

- Средняя длина свободного пробега молекул газа

$$< l >= \frac{< \upsilon >}{< z >} = \frac{1}{\sqrt{2}\pi d^2 n}.$$

- Закон теплопроводности Фурье

$$Q = -\lambda \frac{dT}{dx} St,$$

где Q – теплота, прошедшая посредством теплопроводности через площадь S за время t; dT/dx – градиент температуры; λ – теплопроводность:

$$\lambda = \frac{1}{3} c_V \rho < \upsilon >< l >,$$

где c_V – удельная теплоемкость газа при постоянном объеме; ρ – плотность газа; $<\upsilon>$ - средняя арифметическая скорость теплового движения его молекул; $<l>$ - средняя длина свободного пробега молекул.

- Закон диффузии Фика

$$M = -D \frac{d\rho}{dx} St,$$

где M – масса вещества, переносимая посредством диффузии через площадь S за время t; $d\rho/dx$ – градиент плотности; D – диффузия:

$$D = \frac{1}{3} < \upsilon >< l >.$$

- Закон Ньютона для внутреннего трения (вязкости)

$$F = -\eta \frac{d\upsilon}{dx} S,$$

где F – сила внутреннего трения между движущимися слоями площадью S; dυ/dx – градиент скорости; η – динамическая вязкость:

$$\eta = \frac{1}{3}\rho < \upsilon > < l >.$$

6.1. Начертить графики изотермического, изобарного и изохорного процессов в координатах P и V, P и T, T и V.

6.2. Определить число N атомов в 1 кг водорода и массу одного атома водорода. Ответ: $H = 3{,}01 \cdot 10^{26}$; $m_0 = 3{,}32 \cdot 10^{-27}$ кг.

6.3. В закрытом сосуде вместимостью 20 л находятся водород массой 6 г и гелий массой 12 г. Определить: 1) давление; 2) молярную массу газовой смеси в сосуде, если температура смеси $T = 300$ К. Ответ: 1) $P = 0{,}75$ кПа; 2) $M = 3 \cdot 10^{-3}$ кг/моль.

6.4. Определить плотность смеси газов водорода массой $m_1 = 8$ г и кислорода массой $m_2 = 64$ г при температуре $T = 290$ К и при давлении 0,1 МПа. Газы считать идеальными. Ответ: 0,498 кг/м^3.

6.5. Баллон вместимостью $V = 20$ л содержит смесь водорода и азота при температуре 290 К и давлении 1 МПа. Определить массу водорода, если масса смеси равна 150 г. Ответ: 6,3 г.

6.6. В сосуде вместимостью 1 л находится кислород массой 1 г. Определить концентрацию молекул кислорода в сосуде. Ответ: $1{,}88 \cdot 10^{25}$ м$^{-3}$.

6.7. Определить наиболее вероятную скорость молекул газа, плотность которого при давлении 40 кПа составляет 0,35 кг/м^3. Ответ: 478 м/с.

6.8. Определить среднюю кинетическую энергию $<E_0>$ поступательного движения молекул газа, находящегося под давлением 0,1 Па. Концентрация молекул газа равна 10^{13} см$^{-3}$. Ответ: $1{,}5 \cdot 10^{-19}$ Дж.

6.9. Используя закон распределения молекул идеального газа по скоростям, найти формулу наиболее вероятной скорости $\upsilon_В$. Ответ: $\upsilon_В = \sqrt{2kT / m_0}$

6.10. Используя закон распределения молекул идеального газа по скоростям, найти закон, выражающий распределение молекул по относительным скоростям и ($u = \upsilon/\upsilon_в$). Ответ: $f(u) = \frac{4}{\sqrt{\pi}} e^{-u^2} u^2$.

6.11. На какой высоте давление воздуха составляет 60 % от давления на уровне моря? Считать, что температура воздуха везде одинакова и равна 10 °С. Ответ: 4,22 км.

6.12. Каково давление воздуха в шахте на глубине 1 км, если считать, что температура по всей высоте постоянная и равна 22 °С, а ускорение свободного падения не зависит от высоты. Давление воздуха у поверхности Земли принять равным P_0. Ответ: 1,12 P_0.

6.13. Определить отношение давления воздуха на высоте 1 км к давлению на дне скважины глубиной 1 км. Воздух у поверхности Земли находится при нормальных условиях, и его температура не зависит от высоты Ответ: 0,78.

6.14. На какой высоте плотность воздуха в e раз (e — основание натуральных логарифмов) меньше по сравнению с его плотностью на уровне моря? Температуру воздуха и ускорение свободного падения считать не зависящими от высоты. Ответ: 7,98 км.

6.15. Определить среднюю длину свободного пробега $\langle l \rangle$ молекул кислорода, находящегося при температуре 0 °С, если среднее число $\langle z \rangle$ столкнрвений, испытываемых молекулой в 1 с, равно $3{,}7 \cdot 10^9$. Ответ: 115 нм.

6.16. При каком давлении средняя длина свободного пробега молекул водорода равна 2,5 см, если температура газа равна 67 °С? Диаметр молекулы водорода принять равным 0,28 нм. Ответ: 0,539 Па.

6.17. Определить среднюю продолжительность $\langle \tau \rangle$ свободного пробега молекул водорода при температуре 27 °С и давлении 5 кПа. Диаметр молекулы водорода' принять равным 0,28 нм. Ответ: 13,3 нс.

6.18. Средняя длина свободного пробега $\langle l \rangle$ молекул водорода при нормальных условиях составляет 0,1 мкм. Определить среднюю длину их свободного пробега при давлении 0,1 мПа, если температура газа остается постоянной. Ответ: 101 м.

6.19. При температуре 300 К и некотором давлении средняя длина свободного пробега $\langle l \rangle$ молекул кислорода равна 0,1 мкм. Чему равно среднее число $\langle z \rangle$ столкновений, испытываемых молекулами в 1 с, если сосуд откачать до 0,1 первоначального давления? Температуру газа считать постоянной. Ответ: $4{,}45 \cdot 10^8$ с$^{-1}$.

6.20. Определить коэффициент теплопроводности λ азота, находящегося в некотором объеме при температуре 280 К.

Эффективный диаметр молекул азота принять равным 0,38 нм. Ответ: 8,25 мВт/(м·К).

6.21. Кислород находится при нормальных условиях. Определить коэффициент теплопроводности λ кислорода, если эффективный диаметр его молекул равен 0,36 нм. Ответ: 8,49 мВт/(м·К).

6.22. Пространство между двумя параллельными пластинами площадью 150 см^2 каждая, находящимися на расстоянии 5 мм друг от друга, заполнено кислородом. Одна пластина поддерживается при температуре 17 °С, другая – при температуре 27 °С. Определить количество теплоты, прошедшее за 5 мин посредством теплопроводности от одной пластины к другой. Кислород находится при нормальных условиях. Эффективный диаметр молекул кислорода считать равным 0,36 нм. Ответ: 76,4 Дж.

6.23. Определить коэффициент диффузии D кислорода при нормальных условиях. Эффективный диаметр молекул кислорода принять равным 0,36 нм. Ответ: $9{,}18\cdot10^{-6}$ м^2/с.

6.24. Определить массу азота прошедшего вследствие диффузии через площадку 50 см^2 за 20 с, если градиент плотности в направлении, перпендикулярном площадке, равен 1 кг/м^4. Температура азота 290 К, а средняя длина свободного пробега его молекул равна 1 мкм. Ответ: 15,6 мг.

6.25. Определить коэффициент теплопроводности λ азота, если коэффициент динамической вязкости η для него при тех же условиях равен 10 мкПа·с Ответ: 7,42 мВт/(м·К).

7. Основы термодинамики

- Связь между молярной (C_m) и удельной (c) теплоёмкостями газа

$$C_m = cM$$

где M-молярная масса газа.

- Молярные теплоёмкости * при постоянном объёме и постоянном давлении соответственно равны

  $C_V = iR/\ 2$; $C_P = (i+2)\,R/\ 2$

где i-число степеней свободы; R-молярная газовая постоянная.

- Удельные теплоемкостью при постоянном объёме и постоянном давлении соответственно равны

$$C_v = \frac{i}{2}\frac{R}{M}; \quad c_p = \frac{i+2}{2}\frac{R}{M}$$

- Уравнение Майера $c_p - c_v = R$
- Показатель адиабаты

$$\gamma = \frac{c_p}{c_v}, \text{ или } \gamma = \frac{C_p}{C_v}, \text{ или } \gamma = \frac{i+2}{i}.$$

- Внутренняя энергия идеального газа

$$U = N < E_k >, \text{ или } U = \nu C_v T = \frac{i}{2}\nu RT,$$

где $<E_k>$-средняя кинетическая энергия молекулы; N-число молекул газа; k-количество вещества, $\nu = \frac{m}{M}$.

- Работа, связанная с изменением объёма газа, в общем случае вычисляется по формуле

$$A = \int_{V_1}^{V_2} pdV$$

где – V_1 начальный объём газа; V_2 - его конечныё объём.

Работа газа;

а) при изобарном процессе ($p=const$)

$$A = p(V_2 - V_1)$$

б) при изотермическом процессе ($T=const$)

$$A = \frac{m}{M}RT\ln\frac{V_2}{V_1}$$

в) при адиабатном процессе

$$A = \frac{m}{M}C_V(T_1 - T_2)$$

где T_1 –начальная температура газа; T_2 –ого конечная температура.

- Уравнение Пуассона (уравнение газового состояния при адиабатном процессе)

$$pV^{\gamma} = const$$

- Связь между начальным и конечным значениями параметров состояния газа при адиабатном процессе:

$$\frac{p_2}{p_1} = (\frac{V_1}{V_2})^{\gamma}; \quad \frac{T_2}{T_1} = (\frac{V_1}{V_2})^{\gamma-1}; \quad \frac{T_2}{T_1} = (\frac{p_2}{p_1})^{(\gamma-1)/\gamma}$$

- Первое начало термодинамики в общем случае записывается в виде

$$Q = \Delta U + A$$

где Q-количество теплоты, сообщение газу; ΔU-изменение его внутренней энергии; A-работа, совершаемая газом против внешних сил.

Первое начало термодинамики:

а) при изобарном процессе

$$Q = \Delta U + A = \frac{m}{M} C_V \Delta T + \frac{m}{M} R\Delta T = \frac{m}{M} C_p T$$

б) при изохорном процессе ($A=0$)

$$Q = \Delta U = \frac{m}{M} C_V \Delta T$$

в) при изотермическом процессе ($\Delta U=0$)

$$Q = A = \frac{m}{M} RT \ln \frac{V_2}{V_1}$$

г) при адиабатном процессе ($Q=0$)

$$Q = -\Delta U = -\frac{m}{M} C_V \Delta T$$

- Термический коэффициент полезного действия (КПД) цикла в общем случае

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}$$

где Q_1 – количество теплоты, полученное рабочим телом (газом) от нагревателя; Q_2 – количество теплоты, переданное рабочим телом охладителю.

КПД цикла Карно

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}, \quad \text{или} \quad \eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$

где T_1 – температура нагревателя; T_1 – температура охладителя.

- Изменение энтропии

$$\Delta S = \int_A^B \frac{dQ}{T},$$

где A и B – пределы интегрирования, соответствующие начальному и конечному состоянию системы. Так как процесс равновесный, то интегрирование проводится по любому пути.

- Формула Больцмана

$$S = k \ln W,$$

где S – энтропия системы; W – термодинамическая вероятность её состояния; k – постоянная Больцмана.

7.1. Азот массой $m = 10$ г находится при температуре $T = 290$ К. Определить: 1) среднюю кинетическую энергию одной молекулы азота; 2) среднюю кинетическую энергию вращательного движения всех молекул азота. Газ считать идеальным. Ответ: 1) 10^{-20} Дж; 2) 860 Дж.

7.2. Кислород массой $m = 1$ кг находится при температуре $T = 320$ К. Определить: 1) внутреннюю энергию молекул кислорода; 2) среднюю кинетическую энергию вращательного движения молекул кислорода. Газ считать идеальным. Ответ: 1) 208 кДж; 2) 83,1 кДж.

7.3. В закрытом сосуде находится смесь азота массой $m_1 = 56$ г и кислорода массой $m_2 = 64$ г. Определить изменение внутренней энергии этой смеси, если ее охладили на 20°. Ответ: 1,66 кДж.

7.4. Считая азот идеальным газом, определить его удельную теплоемкость: 1) для изобарного процесса; 2) для изохорного процесса. Ответ: 1) $c_V = 742$ Дж/(кг·К); 2) $c_p = 1{,}04$ кДж/(кг·К).

7.5. Определить удельные теплоемкости c_V и c_p, если известно, что некоторый газ при нормальных условиях имеет удельный объем $V = 0{,}7$ м^3/кг. Что это за газ? Ответ: $c_V = 649$ Дж/(кг·К), $c_p = 909$ Дж/(кг·К).

7.6. Определить удельные теплоемкости c_v и c_p смеси углекислого газа массой $m_1 = 3$ г и азота массой $m_2 = 4$ г. Ответ: $c_V = 667$ Дж/(кг·К), $c_p = 918$ Дж/(кг·К).

7.7. Определить показатель адиабаты г для смеси газов, содержащей гелий массой $m_1 = 8$ г и водород массой $m_2 = 2$ г Ответ: 1,55.

7.8. Применяя первое начало термодинамики и уравнение состояния идеального газа, показать, что разность удельных теплоемкостей $c_p - c_V = R/M$.

7.9. Кислород массой 32 г находится в закрытом сосуде под давлением 0,1 МПа при температуре 290 К. После нагревания давление в сосуде повысилось в 4 раза. Определить: 1) объем сосуда; 2) температуру, до которой газ нагрели; 3) количество теплоты, сообщенное газу. Ответ: 1) $2{,}4 \cdot 10^{-2}$ м^3; 2) 1,16 кК; 3) 18,1 кДж.

7.10. Определить количество теплоты, собщенное газу, если в процессе изохорного нагревания кислорода объемом V = 20 л его давление изменилось на ΔP = 100 кПа. Ответ: 5 кДж.

7.11. Двухатомный идеальный газ (ν = 2 моль) нагревают при постоянном объеме до температуры T_1 = 289 К. Определить количество теплоты, которое необходимо сообщить газу, чтобы увеличить его давление в n = 3 раза. Ответ: 24 кДж.

7.12. При изобарном нагревании некоторого идеального газа (ν = 2 моль) на ΔT = 90 К ему было сообщено количество теплоты 2,1 кДж. Определить: 1) работу, совершаемую газом; 2) изменение внутренней энергии газа; 3) величину $\gamma = C_p / C_V$. Ответ: 1) 1,5кДж; 2) 0,6 кДж; 3) 1,4.

7.13. Азот массой m = 280 г расширяется в результате изобарного процесса при давлении P = 1 МПа. Определить: 1) работу расширения; 2) конечный объем газа, если на расширение затрачена теплота Q = 5 кДж, а начальная температура азота T_1 = 290 К. Ответ: A = 1,43 кДж; V_2= 0,026 м^3.

7.14. Кислород объемом 1 л находится под давлением 1 МПа. Определить, какое количество теплоты необходимо сообщить газу, чтобы: 1) увеличить его объем вдвое в результате изобарного процесса; 2) увеличить его давление вдвое в результате изохорного процесса. Ответ: 1) 3,5 кДж; 2) 2,5 кДж.

7.15. Некоторый газ массой m = 5 г расширяется изотермически от объема V_1 до объема $V_2 = 2V_1$. Работа расширения A = 1 кДж. Определить среднюю квадратичную скорость молекул газа. Ответ: 930 м/с.

7.16. Азот массой m = 14 г сжимают изотермически при температуре T = 300 К от давления P_1 = 100 кПа до давления P_2 = 500 кПа. Определить: 1) изменение внутренней энергии газа; 2) работу сжатия; 3) количество выделившейся теплоты. Ответ: 1) 0; 2) –2,01 кДж; 3) 2,01 кДж.

7.17. Некоторый газ массой 1 кг находится при температуре T = 300 К и под давлением P_1 = 0,5 МПа. В результате изотермического сжатия давление газа увеличилось в два раза. Работа, затраченная на сжатие, A = –432 кДж. Определить: 1) какой это газ; 2) первоначальный удельный объем газа. Ответ: 2) 1,25 м^3/кг.

7.18. Азот массой m = 50 г находится при температуре T_1 = 280 К. В результате изохорного охлаждения его давление уменьшилось в

$n = 2$ раза, а затем в результате изобарного расширения температура газа в конечном состоянии стала равной первоначальной. Определить: 1) работу, совершенную газом; 2) изменение внутренней энергии газа. Ответ: 1) 2,08 кДж; 2) 0.

7.19. Работа расширения некоторого двухатомного идеального газа составляет $A = 2$ кДж. Определить количество подведенной к газу теплоты, если процесс протекал: 1) изотермически; 2) изобарно. Ответ: 1) 3 кДж; 2) 7 кДж.

7.20. При адиабатическом расширении кислорода ($\nu = 2$ моль), находящегося при нормальных условиях, его объем увеличился в $n = 3$ раза. Определить: 1) изменение внутренней энергии газа; 2) работу расширения газа. Ответ: 1) –4,03 кДж; 2) 4,03 кДж.

7.21. Азот массой $m = 1$ кг занимает при температуре $T_1 = 300$ К объем $V_1 = 0,5$ м^3. В результате адиабатического сжатия давление газа увеличилось в 3 раза. Определить: 1) конечный объем газа; 2) его конечную температуру; 3) изменение внутренней энергии газа. Ответ: 1) 0,228 м^3; 2) 411 К; 3) 82,4 кДж.

7.22. Азот, находившийся при температуре 400 К, подвергли адиабатическому расширению, в результате которого его объем увеличился в $n = 5$ раз, а внутренняя энергия уменьшилась на 4 кДж. Определить массу азота. Ответ: 28 г.

7.23. Двухатомный идеальный газ занимает объем $V_1 = 1$ л и находится под давлением $P_1 = 0,1$ МПа. После адиабатического сжатия газ характеризуется объемом V_2 и давлением P_2. В результате последующего изохор-ного процесса газ охлаждается до первоначальной температуры, а его давление $P_3 = 0,2$ МПа. Определить: 1) объем V_2; 2) давление P_2. Начертить график этих процессов. Ответ: 1) 0,5л; 2) 264 кПа.

7.24. Кислород, занимающий при давлении $P_1 = 1$ МПа объем $V_1 = 5$ л, расширяется в $n = 3$ раза. Определить конечное давление и работу, совершенную газом. Рассмотреть следующие процессы: 1) изобарный; 2) изотермический; 3) адиабатический. Ответ: 1) 1 МПа, 10 кДж; 2) 0,33 МПа, 5,5 кДж; 3) 0,21 МПа, 4,63 кДж.

7.25. Рабочее тело – идеальный газ – теплового двигателя совершает цикл, состоящий из последующих процессов: изобарного, адиабатического и изотермического.

7.26. В результате изобарного процесса газ нагревается от $T_1 = 300$ К до $T_2 = 600$ К. Определить термический к.п.д. теплового двигателя. Ответ: 30,7 %.

7.27. Азот массой 500 г, находящийся под давлением $P_1 = 1$ МПа при температуре $T_1 = 127$ °C, подвергли изотермическому расширению, в результате которого давление газа уменьшилось в $n = 3$ раза. После этого газ подвергли адиабатическому сжатию до начального давления, а затем он был изобарно сжат до начального объема. Построить график цикла и определить работу, совершенную газом за цикл. Ответ: –11,5 кДж.

7.28. Идеальный газ, совершающий цикл Карно, 70 % количества теплоты, полученной от нагревателя, отдает холодильнику. Количество теплоты, получаемое от нагревателя, равно 5 кДж. Определить: 1) термический к.п.д. цикла; 2) работу, совершенную при полном цикле. Ответ: 1) 30%; 2) 1,5 кДж.

7.29. Идеальный газ совершает цикл Карно. Газ получил от нагревателя количество теплоты 5,5 кДж и совершил работу 1,1 кДж. Определить: 1) термический к.п.д. цикла; 2) отношение температур нагревателя и холодильника. Ответ: 1) 20%; 2) 1,25.

7.30. Идеальный газ совершает цикл Карно, термический к.п.д. которого равен 0,4. Определить работу изотермического сжатия газа, если работа изотермического расширения составляет 400 Дж. Ответ: –240 Дж.

7.31. Идеальный газ совершает цикл Карно. Температура нагревателя $T_1 = 500$ К, холодильника $T_2 = 300$ К. Работа изотермического расширения газа составляет 2 кДж. Определить: 1) термический к.п.д. цикла; 2) количество теплоты, отданное газом при изотермическом сжатии холодильнику. Ответ: 1) 40 %; 2) 0,6 кДж.

7.32. Многоатомный идеальный газ совершает цикл Карно, при этом в процессе адиабатического расширения объем газа увеличивается в $n = 4$ раза. Определить термический к.п.д. цикла. Ответ: 37 %.

7.33. Во сколько раз необходимо увеличить объем $V = 5$ моль идеального газа при изотермическом расширении, если его энтропия увеличилась на 57,6 Дж/К? Ответ: 4.

7.34. При нагревании двухатомного идеального газа ($\nu = 3$ моль) его термодинамическая температура увеличилась в $n = 2$ раза.

Определить изменение энтропии, если нагревание происходит: 1) изохорно; 2) изобарно. Ответ: 1) 28,8 Дж/К; 2) 40,3 Дж/К.

7.35. Идеальный газ (ν = 2 моль) сначала изобарно нагрели, так что объем газа увеличился в n_1 = 2 раза, а затем изохорно охладили, так что давление его уменьшилось в n = 2 раза. Определить приращение энтропии в ходе указанных процессов. Ответ: 11,5 Дж/К.

7.36. Азот массой 28 г адиабатически расширили в n = 2 раза, а затем изобарно сжали до первоначального объема. Определить изменение энтропии газа в ходе указанных процессов.
Ответ: –0,2 Дж/К.

8. Реальные газы, жидкости и твердые тела

- Уравнение Ван-дер-Ваальса для одного моля газа

$$(p+\frac{a}{V_m^2})(V_m-b)=RT,$$

для произвольного количества вещества ν газа

$$(p+\frac{\nu^2 a}{V^2})(V_m-\nu b)=\nu RT,$$

где a и b – постоянные Ван-дер-Ваальса (рассчитанные на один моль газа); V – объём, занимаемый газом; V_m – молярный объём;
p - давление газа на стенки сосуда.

Внутреннее давление, обусловленное силами взаимодействия молекул,

$$p'=\frac{a}{V_m^2}, \text{ или } p'=\nu^2\frac{a}{V^2}.$$

- Связь критических параметров – объёма, давления и температуры газа – с постоянными a и b Ван-дер-Ваальса:

$$V_{mкк}=3b; \quad p_{кр}=\frac{a}{27b^2}; \quad T_{кр}=\frac{8a}{27Rb}$$

- Внутренняя энергия реального газа

$$U=\nu(C_V T-\frac{a}{V_m})$$

где C_V –молярная теплоёмкость газа при постоянном объёме.

- Поверхностное натяжение

$$\sigma = F / l$$

где F – сила поверхностного натяжения, действующая на контур l, ограничивающий поверхность жидкость, или

$$\sigma = \frac{\Delta E}{\Delta S},$$

где ΔE – изменение свободной энергии поверхностной плёнки жидкости, связанное с изменением площади ΔS – поверхности этой плёнки.

- Формула Лапласа в общем случае записывается в виде

$$p = \sigma\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right)$$

где p-давление, создаваемое изогнутой поверхностью жидкости; σ - поверхностное натяжение; R_1 и R_2 – радиусы кривизны двух взаимно перпендикулярных сечений жидкости, а в случае сферической поверхности

$$p = 2\sigma / R$$

- Высота подъёма жидкости в капилярной трубке

$$h = \frac{2\sigma\cos\theta}{\rho g R}$$

где θ – краевой угол; R-радиус канала трубки; ρ-плотность жидкости; g-ускорение свободного падения.

- Высота подъёма жидкости между двумя близкими и параллельными плоскостями

$$h = \frac{2\sigma\cos\theta}{\rho g d},$$

где d- расстояния между плоскостями.

- Закон Дюлонга и Пти

$$C_V = 3R,$$

где C_V – молярная (атомная) теплоемкость химически простых твердых тел.

8.1. Кислород (ν = 10 моль) находится в сосуде объемом V = 5 л. Определить: 1) внутреннее давление газа; 2) собственный объем молекул Поправки a и b принять равными соответственно 0,136 Н·м^4/моль^2 и 3,17·10^{-5} м^3/моль. Ответ: 1) 544 кПа; 2) 79,3 см^3.

8.2. Углекислый газ массой 6,6 кг при давлении 0,1 МПа занимает объем 3,75 $м^3$. Определить температуру газа, если: 1) газ реальный; 2) газ идеальный. Поправки *a* и *b* принять равными соответственно 0,361 $Н \cdot м^4/моль^2$ и $4{,}28 \cdot 10^{-5}$ $м^3$/моль. Ответ: 1) 302 К; 2) 301 К.

8.3. Углекислый газ массой 2,2 кг находится при температуре 290 К в сосуде вместимостью 30 л. Определить давление газа, если: 1) газ реальный; 2) газ идеальный. Поправки *a* и *b* принять равными соответственно 0,361 $Н \cdot м^4/моль^2$ и $4{,}28 \cdot 10^{-5}$ $м^3$/моль. Ответ: 1) 3,32 МПа; 2) 4,02 МПа.

8.4. Плотность азота ρ = 140 кг/$м^3$, его давление *P* = 10 МПа. Определить температуру газа, если: 1) газ реальный; 2) газ идеальный. Поправки *a* и *b* принять равными соответственно 0,135 $Н \cdot м^4/моль^2$ и $3{,}86 \cdot 10^{-5}$ $м^3$/моль. Ответ: 1) 260 К; 2) 241 К.

8.5. Азот (ν = 3 моль) расширяется в вакуум, в результате чего объем газа увеличивается от V_1 = 1 л до V_2 = 5 л. Какое количество теплоты *Q* необходимо сообщить газу, чтобы его температура осталась неизменной? Поправку *a* принять равной 0,135 $Н \cdot м^4/моль^2$. Ответ: 972 Дж.

8.6. Углекислый газ массой 88 г занимает при температуре 290 К объем 1000 $см^3$. Определить внутреннюю энергию газа, если: 1) газ идеальный; 2) газ реальный. Поправку *a* принять равной 0,361 $Н \cdot м^4/моль^2$. Ответ: 1) 14,5 кДж; 2) 13 кДж.

8.7. Кислород (ν = 2 моль) занимает объем V_1 = 1 л. Определить изменение температуры кислорода, если он адиабатически расширяется в вакууме до объема V_2 = 10 л. Поправку *a* принять равной 0,136 $Н \cdot м^4/моль^2$. Ответ: –11,8 К.

8.8. Азот (ν = 2 моль) адиабатически расширяется в вакуум. Температура газа при этом уменьшается на 1 К. Определить работу, совершаемую газом против межмолекулярных сил притяжения. Ответ: 83,1 Дж.

8.9. Кислород (ν = 1 моль) (реальный газ), занимавший при T_1 = 400 К объем V_1 = 1 л, расширяется изотермически до $V_2 = 2V_1$. Определить: 1) работу при расширении; 2) изменение внутренней энергии газа. Поправки *a* и *b* принять равными соответственно 0,136 $Н \cdot м^4/моль^2$ и $3{,}17 \cdot 10^{-5}$ $м^3$/моль. Ответ: 1) 2,29 кДж; 2) 68 Дж.

8.10. Определить радиус *R* капли спирта, вытекающей из узкой вертикальной трубки радиусом *r* = 1 мм. Считать, что в момент отрыва капля сферическая. Поверхностное натяжение спирта σ = 22 мН/м, а его плотность ρ = 0,8 г/см^3. Ответ: 1,61 мм.

8.11. Давление воздуха внутри мыльного пузыря на ΔP = 200 Па больше атмосферного. Определить диаметр d пузыря. Поверхностное натяжение мыльного раствора σ = 40 мН/м. Ответ: 1,6 мм.

8.12. Воздушный пузырек диаметром d = 0,02 мм находится на глубине h = 25 см под поверхностью воды. Определить давление воздуха в этом пузырьке. Атмосферное давление принять нормальным. Поверхностное натяжение воды σ = 73 мН/м, а ее плотность ρ = 1 г/см^3. Ответ: 118 кПа.

8.13. Вертикальный капилляр погружен в воду. Определить радиус кривизны мениска, если высота столба воды в трубке h = 20 мм. Плотность воды ρ = 1 г/см^3, поверхностное натяжение σ = 73мН/м. Ответ: 744мкм.

8.14. Широкое колено U-образного манометра имеет диаметр d_1 = 2 мм, узкое – d_2 = 1 мм. Определить разность Δh уровней ртути в обоих коленах, если поверхностное натяжение ртути σ = 0,5 Н/м, плотность ртути ρ = 13,6 г/см^2, а краевой угол θ = 138°. Ответ: 5,6 мм.

8.15. Используя закон Дюлонга и Пти, определить удельную теплоемкость: 1) натрия; 2) алюминия. Ответ: 1) 1,08 кДж/(кг·К); 2) 0,924 кДж/(кг·К).

8.16. Пользуясь законом Дюлонга и Пти, определить, во сколько раз удельная теплоемкость железа больше удельной теплоемкости золота. Ответ: 3,52.

8.17. Для нагревания металлического шарика массой 10 г от 20 до 50 °С затратили количество теплоты, равное 62,8 Дж. Пользуясь законом Дюлонга и Пти, определить материал шарика. Ответ: Олово, так как M = 0,119 кг/моль.

8.18. Изменение энтропии при плавлении 1 моль льда составило 25 Дж/К. Определить, насколько изменится температура плавления льда при увеличении внешнего давления на 1 МПа? Плотность льда ρ_1 = 0,9 г/см^3, воды ρ_2 = 1 г/см^3. Ответ: ΔT = –0,08 К.

Литература

1. *Волькенштейн В.С.* Сборник задач по курсу физики. – СПб.: СпецЛит, 2001.
2. *Трофимова Т.И.* Сборник задач по курсу физики для втузов. – М.: «Оникс 21 век», «Мир и Образование», 2003.
3. *Чертов А.Г., Воробьев А.А.* Задачник по физике. – М.: Интеграл-пресс, 1977.

Индивидуальные задания.

Тема 1. Кинематика

1	1.1, 1.31, 1.10	11	1.11, 1.27, 1.17	21	1.21, 1.3, 1.37
2	1.2, 1.32, 1.11	12	1.12, 1.26, 1.18	22	1.22, 1.4, 1.36
3	1.3, 1.33, 1.12	13	1.13, 1.25, 1., 2	23	1.23, 1.5, 1.35
4	1.4, 1.34, 1.20	14	1.14, 1.24, 1.3	24	1.24, 1.6, 1.34
5	1.5, 1.35, 1.21	15	1.15, 1.23, 1.4	25	1.25, 1.7, 1.33
6	1.6, 1.36, 1.22	16	1.16, 1.22, 1.5	26	1.26, 1.8, 1.32
7	1.7, 1.37, 1.23	17	1.17, 1.21, 1.6	27	1.27, 1.9, 1.31
8	1.8, 1.30, 1.24	18	1.18, 1.20, 1.7	28	1.28, 1.10, 1.15
9	1.9, 1.29, 1.15	19	1.19, 1.1, 1.8	29	1.29, 1.11, 1.6
10	1.10, 1.28, 1.16	20	1.20, 1.2, 1.30	30	1.30, 1.12, 1.17

Тема 2. Динамика материальной точки

1	2.1, 2.10, 2.59	11	2.11, 2.20, 2.51	21	2.10, 2.30, 2.40
2	2.2, 2.11, 2.58	12	2.12, 2.21, 2.50	22	2.11, 2.31, 2.41
3	2.3, 2.12, 2.57	13	2.13, 2.22, 2.49	23	2.12, 2.32, 2.42
4	2.4, 2.13, 2.56	14	2.14, 2.23, 2.48	24	2.13, 2.33, 2.43
5	2.5, 2.14, 2.55	15	2.15, 2.24, 2.47	25	2.14, 2.34, 2.44
6	2.6, 2.15, 2.54	16	2.16, 2.25, 2.46	26	2.15, 2.35, 2.45
7	2.7, 2.16, 2.53	17	2.17, 2.26, 2.45	27	2.16, 2.36, 2.46
8	2.8, 2.17, 2.52	18	2.18, 2.27, 2.44	28	2.17, 2.37, 2.47
9	2.9, 2.18, 2.53	19	2.19, 2.28, 2.43	29	2.18, 2.38, 2.48
10	2.10, 2.19, 2.52	20	2.20, 2.29, 2.42	30	2.19, 2.39, 2.49

Тема 3. Динамика вращательного движения

Тема 4. Элементы специальной теории относительности

1	3.1, 3.31, 4.1	11	3.11, 3.21, 4.11	21	3.21, 3.8, 4.21
2	3.2, 3.30, 4.2	12	3.12, 3.20, 4.12	22	3.22, 3.9, 4.1
3	3.3, 3.29, 4.3	13	3.13, 3.19, 4.13	23	3.23, 3.10, 4.2
4	3.4, 3.28, 4.4	14	3.14, 3.1, 4.14	24	3.24, 3.11, 4.3
5	3.5, 3.27, 4.5	15	3.15, 3.2, 4.15	25	3.25, 3.12, 4.4
6	3.6, 3.26, 4.6	16	3.16, 3.3, 4.16	26	3.26, 3.13, 4.5
7	3.7, 3.25, 4.7	17	3.17, 3.4, 4.17	27	3.27, 3.14, 4.6
8	3.8, 3.24, 4.8	18	3.18, 3.5, 4.18	28	3.28, 3.15, 4.7
9	3.9, 3.23, 4.9	19	3.19, 3.6, 4.19	29	3.29, 3.16, 4.8
10	3.10, 3.22, 4.10	20	3.20, 3.7, 4.20	30	3.30, 3.17, 4.9

Тема 5. Механические колебания и волны

1	5.1, 5.31, 5.61, 5.10	11	5.11, 5.41, 5.29, 5.20	21	5.21, 5.51, 5.39, 5.10
2	5.2, 5.32, 5.62, 5.11	12	5.12, 5.42, 5.30, 5.21	22	5.22, 5.52, 5.40, 5.9
3	5.3, 5.33, 5.63, 5.12	13	5.13, 5.43, 5.31, 5.22	23	5.23, 5.53, 5.41, 5.8
4	5.4, 5.34, 5.64, 5.13	14	5.14, 5.44, 5.32, 5.23	24	5.24, 5.54, 5.42, 5.7
5	5.5, 5.35, 5.65, 5.14	15	5.15, 5.45, 5.33, 5.24	25	5.25, 5.55, 5.43, 5.6
6	5.6, 5.36, 5.66, 5.15	16	5.15, 5.45, 5.34, 5.25	26	5.26, 5.56, 5.44, 5.5
7	5.7, 5.37, 5.25, 5.16	17	5.16, 5.46, 5.35, 5.14	27	5.27, 5.57, 5.45, 5.4
8	5.8, 5.38, 5.26, 5.17	18	5.17, 5.47, 5.36, 5.13	28	5.28, 5.58, 5.46, 5.3
9	5.9, 5.39, 5.27, 5.18	19	5.18, 5.48, 5.37, 5.12	29	5.29, 5.59, 5.47, 5.2
10	5.10, 5.40, 5.28, 5.19	20	5.19, 5.49, 5.38, 5.11	30	5.30, 5.60, 5.48, 5.1

Тема 6. Молекулярно-кинетическая теория идеальных газов

1	6.1, 6.20, 6.14	11	6.11, 6.20, 6.7	21	6.21, 6.5, 6.11
2	6.2, 6.21, 6.15	12	6.12, 6.21, 6.6	22	6.22, 6.6, 6.10
3	6.3, 6.22, 6.16	13	6.13, 6.22, 6.5	23	6.23, 6.7, 6.19
4	6.4, 6.23, 6.17	14	6.14, 6.23, 6.4	24	6.24, 6.8, 6.18
5	6.5, 6.24, 6.12	15	6.15, 6.24, 6.3	25	6.25, 6.9, 6.17
6	6.6, 6.25, 6.10	16	6.16, 6.25, 6.2	26	6.1, 6.10, 6.16
7	6.7, 6.16, 6.6	17	6.17, 6.1, 6.25	27	6.2, 6.11, 6.15
8	6.8, 6.17, 6.13	18	6.18, 6.2, 6.14	28	6.3, 6.12, 6.10
9	6.9, 6.18, 6.14	19	6.19, 6.3, 6.13	29	6.4, 6.13, 6.9
10	6.10, 6.19, 6.15	20	6.20, 6.4, 6.12	30	6.5, 6.14, 6.8

Тема 7. Основы термодинамики

Тема 8. Реальные газы, жидкости и твердые тела

1	7.1, 7.31, 7.20, 8.1	11	7.11, 7.26, 7.19, 8.11	21	7.21, 7.13, 7.6, 8.3
2	7.2, 7.32, 7.21, 8.2	12	7.12, 7.25, 7.20, 8.12	22	7.22, 7.14, 7.5, 8.4
3	7.3, 7.33, 7.22, 8.3	13	7.13, 7.24, 7.1, 8.13	23	7.23, 7.15, 7.4, 8.5
4	7.4, 7.34, 7.23, 8.4	14	7.14, 7.23, 7.2, 8.14	24	7.24, 7.16, 7.3, 8.6
5	7.5, 7.35, 7.24, 8.5	15	7.15, 7.22, 7.3, 8.15	25	7.25, 7.17, 7.2, 8.7
6	7.6, 7.36, 7.25, 8.6	16	7.16, 7.21, 7.4, 8.16	26	7.26, 7.18, 7.1, 8.8
7	7.7, 7.30, 7.15, 8.7	17	7.17, 7.20, 7.5, 8.17	27	7.27, 7.1, 7.13, 8.9
8	7.8, 7.29, 7.16, 8.8	18	7.18, 7.10, 7.6, 8.18	28	7.28, 7.2, 7.12, 8.10
9	7.9, 7.28, 7.17, 8.9	19	7.19, 7.11, 7.7, 8.1	29	7.29, 7.3, 7.11, 8.11
10	7.10, 7.27, 7.18, 8.10	20	7.20, 7.12, 7.8, 8.2	30	7.30, 7.4, 7.10, 8.12

ПРИЛОЖЕНИЯ

1. Основные физические постоянные

Атомная единица массы	1 а.е.м. = $1{,}6605655\cdot10^{-27}$ кг
Боровский радиус	$r_o = 0{,}52917706\cdot10^{-10}$ м
Универсальная газовая постоянная	$R = 8{,}31441$ Дж/(моль·К)
Гравитационная постоянная	$\gamma = 6{,}6720\cdot10^{-11}$ Н·м^2/кг^2
Магнетон Бора	$\mu_Б = \begin{cases} 0{,}9274078\cdot 10^{-23} \text{ Дж/Тл} \\ 0{,}9274078\cdot 10^{-23} \text{ эрг/Гс} \end{cases}$
Масса нейтрона	$m_n = \begin{cases} 1{,}6749543\cdot10^{-27} \text{ кг} \\ 1{,}00863 \text{ а.е.м.} \\ 939{,}57 \text{ МэВ} \end{cases}$
Масса протона	$m_p = \begin{cases} 1{,}6726485\cdot10^{-27} \text{ кг} \\ 1{,}00783 \text{ а.е.м.} \\ 938{,}28 \text{ МэВ} \end{cases}$
Масса электрона	$m_e = \begin{cases} 0{,}9109534\cdot10^{-30} \text{ кг} \\ 0{,}51100 \text{ МэВ} \end{cases}$
Постоянная Авогадро	$N_А = 6{,}022045\cdot10^{23}$ моль$^{-1}$
Постоянная Больцмана	$k = \begin{cases} 1{,}380662\cdot10^{-23} \text{ Дж/К} \\ 0{,}8617082\cdot 10^{-4} \text{ эВ/К} \end{cases}$
Постоянная закона смещения Вина	$b = 2{,}898\cdot10^{-3}$ м·К
Постоянная Планка	$\hbar = \begin{cases} 1{,}0545887\cdot10^{-34} \text{ Дж·с} \\ 0{,}6582176\cdot 10^{-15} \text{ эВ·с} \end{cases}$
Постоянная Ридберга	$R = 2{,}0670687\cdot10^{16}$ с$^{-1}$
Постоянная Стефана-Больцмана	$\sigma = 5{,}670\cdot10^{-8}$ Вт/(м^2·К^4)
Скорость света в вакууме	$c = 2{,}99792458\cdot10^{8}$ м/с $c^2 = 931{,}42$ МэВ/а.е.м.
Стандартное атмосферное давление	$p = 1013{,}25$ гПа
Стандартное ускорение свободного падения	$g = 9{,}80665$ м/с^2
Электрическая постоянная	$1/4\pi\varepsilon_o = 8{,}9875\cdot10^{9}$ Н·м^2/Кл^2
Магнитная постоянная	$\mu_o/4\pi = 10^{-7}$ Н/А^2

Элементарный заряд	$e = \begin{cases} 1{,}6022\cdot 10^{-19}\ \text{Кл} \\ 4{,}803\cdot 10^{-10}\ \text{СГСЭ} \end{cases}$

2. Астрономические величины

Величина	Ее значение
Масса (в кг)	
Солнца	$1{,}97\cdot 10^{30}$
Земли	$5{,}96\cdot 10^{24}$
Луны	$7{,}35\cdot 10^{22}$
Средний радиус (в м)	
Солнца	$6{,}96\cdot 10^{8}$
Земли	$6{,}37\cdot 10^{6}$
Луны	$1{,}74\cdot 10^{3}$
Среднее расстояние (в м)	
от Солнца до Земли	$1{,}496\cdot 10^{11}$
от Солнца до Юпитера	$7{,}778\cdot 10^{11}$
от Земли до Луны	$3{,}844\cdot 10^{8}$

Составители: ШАТОХИН Сергей Алексеевич,
ТРОФИМОВА Евгения Владимировна,
МИХАЙЛОВ Геннадий Петрович

СБОРНИК

ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ЗАДАНИЙ

по разделам: «Физические основы механики»,
«Молекулярная физика и термодинамика»

Подписано в печать 19.04.2004 Формат 60 × 84 1/16.
Бумага офсетная. Печать плоская. Гарнитура Times New Roman.
Усл. печ. л. 3,7. Усл.-кр.-отт. 3,7. Уч-изд.л. 3,6.
Тираж 300 экз. Заказ № .
Уфимский государственный авиационный технический университет
Редакционно-издательский комплекс УГАТУ
450000, Уфа-центр, ул. К.Маркса, 12