

Министерство образования и науки российской федерации
Университет ИТМО

Б.А. Федоров
А.В. Смирнов
Я.Б.Музыченко

Механика. Молекулярная физика. Термодинамика

Домашние задания по курсу общей физики
(модули 1. и 2.)

Учебное пособие
Под общей редакцией профессора Б. А. Федорова

 **УНИВЕРСИТЕТ ИТМО**

Санкт-Петербург
2016

МЕХАНИКА. МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА. ТЕРМОДИНАМИКА

Домашние задания по курсу общей физики (модули 1. и 2.)

Учебное пособие/ Под общей редакцией проф. Б.А. Федорова/

Б.А. Федоров, А.В. Смирнов, Я.Б.Музыченко.

– СПб: Университет ИТМО, 2016.– 52 с.

Содержит условия задач домашнего задания курса общей физики по разделам «Механика», «Молекулярная физика и термодинамика».

Учебно-методическое пособие разработано в соответствии с программой курса «Физика» (Б.2.2.2) Федерального образовательного стандарта высшего образования для бакалавров по направлениям подготовки 01.03.02, 09.03.01, 09.03.02, 09.03.03, 09.03.04, 10.03.01, 11.03.02, 11.03.03, 12.03.01, 12.03.02, 12.03.03, 12.03.05, 13.03.02,, 14.03.01, 15.03.06, 16.03.01, 18.03.02, 18.03.04, 19.03.01, 23.03.02, 27.03.04, 27.03.05 и специальности 12.05.01

Рекомендовано к печати на заседании Ученого совета ЕНФ, 1 ноября 2016г, протокол №5.



Университет ИТМО – ведущий вуз России в области информационных и фотонных технологий, один из немногих российских вузов, получивших в 2009 году статус национального исследовательского университета. С 2013 года Университет ИТМО – участник программы повышения конкурентоспособности российских университетов среди ведущих мировых научно-образовательных центров, известной как проект «5 в 100». Цель Университета ИТМО – становление исследовательского университета мирового уровня, предпринимательского по типу, ориентированного на интернационализацию всех направлений деятельности.

© Университет ИТМО, 2016

© Б.А. Федоров, А.В. Смирнов, Я.Б.Музыченко, 2016

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|---------------------------------|----|
| Введение..... | 4 |
| Примеры решения задач..... | 5 |
| Варианты домашнего задания..... | 12 |
| Задачи..... | 14 |
| Литература..... | 45 |
| Кафедра физики..... | 46 |

Введение

Предлагаемые домашние задания основаны на курсе лекций по физике, читаемых студентам технических специальностей Университета ИТМО в первом и втором модулях курса. Задания разбиты на два этапа, в соответствии с материалом модулей. Первый этап, содержит задачи по механике, второй этап – задачи по молекулярной (статистической) физике и термодинамике.

Большинство задач представленного сборника являются типовыми, но требуют внимательного прочтения указанных разделов курса физики. В помощь студентам прилагается список соответствующей литературы.

Разумеется, уловить «идею» задачи и, как следствие, найти путь ее решения студент может лишь самостоятельно, однако следующие рекомендации помогут избежать ошибок, часто встречающихся даже при правильном подходе к решению задачи:

- все размерные численные данные задачи следует перевести в основную форму системы СИ (например, сантиметры в метры);
- если позволяет характер задачи, необходимо сделать рисунок, поясняющий ее сущность;
- решать задачу следует, как правило, в общем виде; это позволяет установить определенные закономерности и тем самым дает возможность судить о правильности решения;
- получив решение в общем виде, необходимо проверить, правильную ли размерность имеет ответ;
- найдя численный ответ, следует оценить его правдоподобность; если, например, пройденный автомобилем путь оказался 3 мм, то, по-видимому, следует искать ошибку.

Как правило, физические константы, необходимые для решения задачи (масса и радиус орбиты Земли, удельные теплоты плавления и парообразования, константы Ван-дер-Ваальса и т. п.) приводятся в ее условии, но часто встречающиеся величины (молярные массы элементов, скорость света в вакууме и т.п.) следует искать в учебниках, задачниках и справочниках по физике, а также в интернете.

В качестве примеров решения задач, а также правильного оформления этого решения приводятся 6 задач по представленным в сборнике разделам физики.

Примеры решения задач

Задача 1П. Из одной точки с одинаковой скоростью $v_0 = 10$ м/с бросили два тела: одно – под углом $\varphi = 30^\circ$ к горизонту, другое – вертикально вверх. Определить расстояние d между телами через $t = 2$ с. Сопротивлением воздуха пренебречь.

Дано:

$$v_{01} = v_{02} = v_0$$

$$v_0 = 10 \text{ м/с}$$

$$\varphi = 30^\circ$$

$$t = 2,0 \text{ с}$$

$$d = ?$$

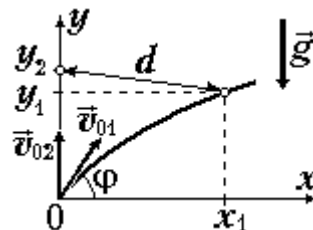


Рис. 1. К задаче 1П.

Решение. В прямоугольной системе координат xOy (рис.1) координаты тел изменяются со временем t следующим образом:

$$y_1 = v_0 t \sin \varphi - \frac{gt^2}{2}, \quad x_1 = v_0 t \cos \varphi, \quad (1)$$

$$y_2 = v_0 t - \frac{gt^2}{2}, \quad x_2 = 0. \quad (2)$$

Для текущего расстояния между телами справедливо соотношение

$$d = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}. \quad (3)$$

Подставляя выражения (1) и (2) в формулу (3), получаем:

$$d = \sqrt{(v_0 \cos \varphi t)^2 + (v_0 t)^2 (1 - \sin \varphi)^2} = v_0 t \sqrt{2(1 - \sin \varphi)}.$$

Используя численные значения, находим:

$$d = 10 \cdot 2 \cdot \sqrt{2(1 - 0,5)} = 20 \text{ м.}$$

Ответ: $d = 20$ м.

Задача 2П. Тело скользит с вершины прямоугольного клина, имеющего фиксированную длину основания и переменный угол φ между наклонной плоскостью и горизонтом. При каком значении угла φ время скольжения будет наименьшим? Коэффициент трения между телом и поверхностью клина $\mu = 0,10$.

Дано:

$$l = \text{const}$$

$$\mu = 0,10$$

$$t = \text{min}$$

$$\varphi = ?$$

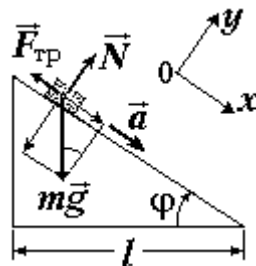


Рис.2. К задаче 2П.

Решение. На тело на наклонной плоскости

действуют сила тяжести $m\vec{g}$, сила нормальной реакции опоры \vec{N} и сила трения $\vec{F}_{\text{тр}}$ (рис. 2). Второй закон Ньютона для тела в проекциях на оси системы координат xOy имеет вид :

$$\begin{aligned} 0x : \quad ma &= mg \sin \varphi - F_{\text{тр}} ; \\ 0y : \quad 0 &= N - mg \cos \varphi . \end{aligned} \quad (4)$$

Поскольку тело скользит, сила трения связана с силой нормальной реакции опоры соотношением

$$F_{\text{тр}} = \mu N .$$

Учитывая это, из уравнений (4) находим зависимость ускорения тела от угла φ :

$$a = g(\sin \varphi - \mu \cos \varphi) . \quad (5)$$

Длина наклонной плоскости S при фиксированной длине l основания зависит от угла φ :

$$S = \frac{l}{\cos \varphi} . \quad (6)$$

Тело движется равноускоренно без начальной скорости, поэтому $S = \frac{1}{2}at^2$.

Используя соотношений (5) и (6), находим время движения:

$$t = \sqrt{\frac{2S}{a}} = \sqrt{\frac{2l}{g \cos \varphi (\sin \varphi - \mu \cos \varphi)}} . \quad (7)$$

Время движения минимально, если функция

$$f(\varphi) = \cos \varphi (\sin \varphi - \mu \cos \varphi) = \left(\frac{1}{2} \sin 2\varphi - \frac{\mu}{2} (1 + \cos 2\varphi) \right) , \quad (8)$$

стоящая под корнем в знаменателе уравнения (7), имеет максимальное значение. Чтобы определить угол, при котором функция (8) имеет экстремум, найдем ее производную и приравняем эту производную нулю:

$$f'(\varphi) = \cos 2\varphi + \mu \sin 2\varphi = 0 \Rightarrow \operatorname{tg} 2\varphi = -\frac{1}{\mu} = -10 .$$

Так как $\operatorname{tg}(180^\circ - 2\varphi) = -\operatorname{tg} 2\varphi$, то $\operatorname{tg}(180^\circ - 2\varphi) = 10$, $180^\circ - 2\varphi = 84^\circ$ и $\varphi = 48^\circ$. Поскольку при переходе через найденное значение угла производная меняет знак с "+" на "-" функция (8) имеет максимум, а время движения минимально.

Ответ: $\varphi = 48^\circ$.

Задача 3П. На горизонтальной поверхности доски массы $m_1 = 5,0$ кг лежит однородный шар массы $m_2 = 2,0$ кг. К доске приложена постоянная горизонтальная сила $F = 50$ Н. Определить ускорения a_1 и a_2 , с которыми будут двигаться, соответственно, доска и шар. Скольжение между шаром и доской отсутствует.

Дано:

$$m_1 = 5 \text{ кг}$$

$$m_2 = 2 \text{ кг}$$

$$F = 50 \text{ Н}$$

?

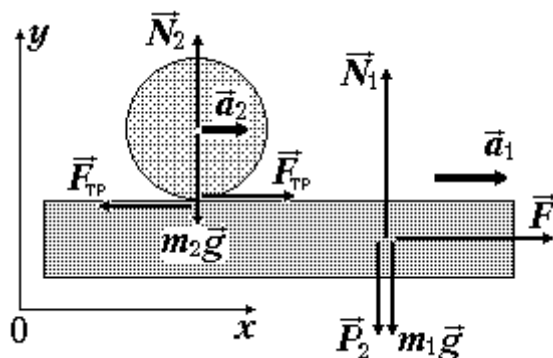


Рис. 3. К задаче 3П.

Решение.

Фиксируем систему координат xOy , неподвижную относительно земли. На доску действуют сила тяжести $m_1\vec{g}$, вес шара \vec{P}_2 , сила реакции опоры \vec{N}_1 , сила тяги \vec{F} и сила трения $\vec{F}_{\text{тр}}$ со стороны шара. На шар действуют сила тяжести $m_2\vec{g}$, сила реакции опоры \vec{N}_2 и сила трения $\vec{F}_{\text{тр}}$ со стороны доски. Если шар не проскальзывает относительно доски, то сила трения может принимать любое значение от нуля до $F_{\text{тр max}} = \mu N_2$. Для ускорений доски a_1 и шара a_2 из второго закона Ньютона в проекции на ось Ox находим:

$$a_1 = \frac{F - F_{\text{тр}}}{m_1}, \quad a_2 = \frac{F_{\text{тр}}}{m_2}. \quad (9)$$

В системе отсчета, связанной с центром шара, доска имеет ускорение $\vec{a}_{12} = \vec{a}_1 - \vec{a}_2$. Ускорения доски и шара сонаправлены, поэтому

$$a_{12} = a_1 - a_2. \quad (10)$$

Из-за отсутствия проскальзывания точка шара, касающаяся доски, имеет тангенциальное ускорение (в системе отсчета центра шара) равное a_{12} , и шар вращается с угловым ускорением

$$\beta = \frac{a_{12}}{R}, \quad (11)$$

где R – радиус шара. Угловое ускорение шар получает под действием момента силы трения $M_{\text{тр}} = F_{\text{тр}} R$. По второму закону Ньютона для вращения

$$I\beta = F_{\text{тр}} R, \text{ где } I = \frac{2}{5} m_2 R^2. \quad (12)$$

Здесь I – момент инерции шара относительно оси, проходящей через его центр. Подставляя выражения (10) и (11) в уравнение (12) и сокращая на радиус шара, получаем:

$$F_{\text{тр}} = \frac{2}{5} m_2 (a_1 - a_2). \quad (13)$$

Исключая $F_{\text{тр}}$ из уравнений (9) с помощью соотношения (13) приходим к системе двух уравнений для ускорений a_1, a_2 :

$$\begin{cases} m_1 a_1 + m_2 a_2 = F \\ a_1 - \frac{7}{2} a_2 = 0 \end{cases}.$$

Решая эту систему относительно ускорений и подставляя численные значения, находим:

$$a_1 = \frac{F}{m_1 + \frac{2}{7}m_2} = \frac{50}{5 + \frac{2 \cdot 2}{7}} = 8,97 = 9,0 \text{ м/с}^2;$$

$$a_2 = \frac{F}{\frac{7}{2}m_1 + m_2} = \frac{50}{\frac{7 \cdot 5}{2} + 2} = 2,56 = 2,6 \text{ м/с}^2.$$

Ответ: $a_1 = 9,0 \text{ м/с}^2$, $a_2 = 2,6 \text{ м/с}^2$.

Задача 4П. Кислород и азот находятся при температуре $t = 27^\circ\text{C}$. Определить скорость v молекул, при которой значение функции распределения Максвелла одинаково для обоих газов.

Дано:

$$t = 27^\circ\text{C}$$

$$\mu_1 = 32 \text{ г/моль}$$

(молекулярный кислород)

$$\mu_2 = 28 \text{ г/моль}$$

(молекулярный азот)

$$v = ?$$

Перевод единиц

$$T = 300 \text{ К}$$

$$32 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$$

$$28 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$$

Решение. Функция распределения Максвелла – функция распределения молекул идеального газа по скоростям при тепловом равновесии – имеет вид

$$F(v) = 4\pi \left(\frac{\mu_1}{2\pi RT} \right)^{\frac{3}{2}} e^{-\frac{\mu_1 v^2}{2RT}}.$$

По условию задачи при скорости молекул v значение функции распределения Максвелла для обоих газов совпадает, то есть

$$4\pi \left(\frac{\mu_1}{2\pi RT} \right)^{\frac{3}{2}} e^{-\frac{\mu_1 v^2}{2RT}} = 4\pi \left(\frac{\mu_2}{2\pi RT} \right)^{\frac{3}{2}} e^{-\frac{\mu_2 v^2}{2RT}}.$$

После сокращений и преобразований имеем:

$$\left(\frac{\mu_1}{\mu_2} \right)^{\frac{3}{2}} = e^{\frac{v^2(\mu_1 - \mu_2)}{2RT}} \quad \text{или} \quad 3 \ln \frac{\mu_1}{\mu_2} = \frac{v^2(\mu_1 - \mu_2)}{RT}.$$

Таким образом, искомая скорость

$$v = \sqrt{\frac{3RT \ln \frac{\mu_1}{\mu_2}}{\mu_1 - \mu_2}} = \sqrt{\frac{3 \cdot 8,31 \cdot 300 \cdot \ln \frac{32 \cdot 10^{-3}}{28 \cdot 10^{-3}}}{32 \cdot 10^{-3} - 28 \cdot 10^{-3}}} = 500 \text{ м/с} = 0,50 \text{ км/с}.$$

Ответ: $v = 0,50 \text{ км/с}$.

Задача 5П. При переходе из состояния 1 в состояние 2 объем кислорода увеличился в $\eta_1 = 3$ раза, а давление уменьшилось в $\eta_2 = 2$ раза. Определить изменение энтропии газа ΔS в этом процессе. Количество кислорода $\nu = 1,5$ моль.

Дано:

$$\eta_1 = V_2/V_1 = 3$$

$$\eta_2 = p_1/p_2 = 2$$

$$\nu = 1,5 \text{ моль}$$

$$\Delta S = ?$$

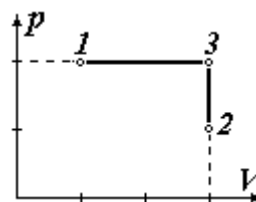


Рис. 4. К задаче 5П.

Решение. Так как энтропия является функцией состояния термодинамической системы, то ее изменение при переходе из состояния 1 в состояние 2 не зависит от того, с помощью какого процесса осуществляется переход, и мы вправе произвольно выбирать этот процесс. Выберем промежуточное состояние 3 (рис. 4), так чтобы из состояния 1 в состояние 3 можно было перейти с помощью изобарного процесса, а из состояния 3 в состояние 2 – с помощью изохорного. При этом $p_3 = p_1$ и $V_3 = V_2$. Молярная теплоёмкость идеального газа в изобарном процессе

$$c_p = \frac{i+2}{2} R, \text{ где } i = 5 \text{ (число степеней свободы молекулы кислорода).}$$

Теплота, получаемая газом при изобарном нагревании на dT ,

$$dQ_p = \nu c_p dT = \frac{(i+2)}{2} \nu R dT,$$

и изменение энтропии при изобарном нагревании от температуры T_1 до T_3

$$\Delta S_{13} = \int_{T_1}^{T_3} \frac{dQ_p}{T} = \frac{(i+2)}{2} \nu R \int_{T_1}^{T_3} \frac{dT}{T} = \frac{(i+2)}{2} \nu R \ln \frac{T_3}{T_1}.$$

Так как в изобарном процессе 1–3

$$T_3/T_1 = V_3/V_1 = V_2/V_1 = \eta_1,$$

получаем

$$\Delta S_{13} = \frac{(i+2)}{2} \nu R \ln \eta_1.$$

Поскольку молярная теплоёмкость идеального газа в изохорном процессе $c_V = \frac{i}{2} R$, теплота, получаемая газом при изохорном изменении

температуры на dT , равна $dQ_V = \nu c_V dT = \frac{i}{2} \nu R dT$. В изохорном процессе 3–2 температура понижается, поэтому dT и dQ_V отрицательны. Для изменения энтропии при изохорном охлаждении от T_3 до T_2 имеем

$$\Delta S_{32} = \int_{T_3}^{T_2} \frac{dQ_V}{T} = \frac{i}{2} \nu R \int_{T_3}^{T_2} \frac{dT}{T} = \frac{i}{2} \nu R \ln \frac{T_2}{T_3}$$

В изохорном процессе 2–3:

$$T_2/T_3 = p_2/p_3 = p_2/p_1 = 1/\eta_2,$$

поэтому

$$\Delta S_{32} = \frac{i}{2} \nu R \ln \frac{1}{\eta_2} = -\frac{i}{2} \nu R \ln \eta_2.$$

Общее изменение энтропии при переходе из состояния 1 в состояние 2 складывается из изменений в процессах 1–3 и 3–2:

$$\begin{aligned} \Delta S &= \Delta S_{13} + \Delta S_{31} = \\ &= \frac{\nu R}{2} [(i+2) \ln \eta_1 - i \ln \eta_2] = \frac{1,5 \cdot 8,31}{2} [7 \ln 3 - 5 \ln 2] = 26,3 = 26 \text{ Дж/К.} \end{aligned}$$

Ответ: $\Delta S = 26 \text{ Дж/К.}$

Задача 6П. Эффективный диаметр молекул кислорода $d = 0,36 \text{ нм}$. Определить его коэффициент теплопроводности κ при температуре $t = 17^\circ \text{C}$.

| | |
|---------------------------|------------------------------------|
| Дано: | Перевод единиц |
| $\mu = 32 \text{ г/моль}$ | $32 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$ |
| $d = 0,36 \text{ нм}$ | $0,36 \cdot 10^{-9} \text{ м}$ |
| $t = 17^\circ \text{C}$ | $T = 290 \text{ К}$ |
| $\kappa = ?$ | |

Решение. Для коэффициента теплопроводности выполняется следующее соотношение

$$\kappa = \frac{1}{3} c_{\text{вуд}} \rho \lambda \bar{v}, \quad (14)$$

где $c_{\text{вуд}}$ – удельная теплоемкость газа при постоянном объеме, ρ – плотность газа, λ – средняя длина свободного пробега его молекул, \bar{v} – средняя скорость молекул.

Удельную теплоемкость вычислим по формуле

$$c_{\text{вуд}} = \frac{i}{2} \frac{R}{\mu}. \quad (15)$$

Здесь i – число степеней свободы молекулы. Молекула кислорода (O_2) состоит из двух атомов, причем колебательные степени свободы при данной температуре не дают вклада в теплоёмкость (жесткая молекула), поэтому $i = 5$.

Плотность газа выразим из уравнения состояния идеального газа (уравнения Менделеева-Клапейрона):

$$pV = \frac{m}{\mu} RT \Rightarrow \rho = \frac{m}{V} = \frac{p\mu}{RT}. \quad (16)$$

Средняя длина свободного пробега зависит от диаметра d и концентрации n молекул:

$$\lambda = \frac{1}{\sqrt{2}\pi d^2 n}, \text{ причем } n = p/kT, \quad (17)$$

где k – постоянная Больцмана.

Средняя скорость молекул определяется температурой и молярной массой газа:

$$\bar{v} = \sqrt{\frac{8RT}{\pi\mu}}. \quad (18)$$

Подставляя выражения (2)–(5) в формулу (1), получаем

$$\begin{aligned} \kappa &= \frac{1}{3} \cdot \frac{i}{2} \cdot \frac{R}{\mu} \cdot \frac{p\mu}{RT} \cdot \frac{kT}{\sqrt{2}\pi d^2 p} \sqrt{\frac{8RT}{\pi\mu}} = \frac{ik}{3\pi d^2} \sqrt{\frac{RT}{\pi\mu}} = \\ &= \frac{5,1,38 \cdot 10^{-23}}{3 \cdot 3,14 \cdot (0,36 \cdot 10^{-9})^2} \sqrt{\frac{8,31 \cdot 290}{3,14 \cdot 32 \cdot 10^{-3}}} = 8,75 \cdot 10^{-3} = 8,8 \text{ мВт/(К·м)}. \end{aligned}$$

Ответ: $\kappa = 8,8 \text{ мВт/(К·м)}$.

Варианты домашнего задания

Модуль 1. «Механика»

| <i>Номер варианта</i> | <i>Номера задач</i> | | | | | | | |
|---------------------------|---------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 1 | 1 | 24 | 28 | 42 | 58 | 77 | 82 | 88 |
| 2 | 2 | 19 | 29 | 43 | 62 | 64 | 77 | 89 |
| 3 | 3 | 20 | 30 | 44 | 62 | 63 | 76 | 90 |
| 4 | 4 | 26 | 37 | 45 | 61 | 65 | 80 | 85 |
| 5 | 5 | 22 | 38 | 39 | 57 | 71 | 81 | 86 |
| 6 | 6 | 17 | 31 | 40 | 58 | 74 | 82 | 87 |
| 7 | 7 | 18 | 32 | 41 | 59 | 75 | 83 | 88 |
| 8 | 14 | 10 | 32 | 45 | 53 | 76 | 84 | 87 |
| 9 | 8 | 15 | 36 | 42 | 54 | 66 | 82 | 90 |
| 10 | 9 | 16 | 32 | 50 | 55 | 67 | 83 | 85 |
| 11 | 1 | 25 | 35 | 43 | 56 | 68 | 84 | 86 |
| 12 | 2 | 23 | 27 | 36 | 44 | 53 | 69 | 82 |
| 13 | 3 | 19 | 28 | 49 | 59 | 70 | 83 | 87 |
| 14 | 4 | 20 | 34 | 46 | 54 | 64 | 79 | 93 |
| 15 | 5 | 21 | 35 | 47 | 55 | 63 | 80 | 92 |
| 16 | 6 | 22 | 36 | 48 | 56 | 65 | 81 | 94 |
| 17 | 7 | 17 | 33 | 39 | 52 | 69 | 78 | 91 |
| 18 | 14 | 13 | 38 | 40 | 60 | 70 | 78 | 93 |
| 19 | 11 | 15 | 26 | 29 | 41 | 58 | 77 | 90 |
| 20 | 13 | 16 | 37 | 39 | 53 | 66 | 79 | 92 |
| 21 | 1 | 13 | 18 | 31 | 40 | 54 | 67 | 82 |
| 22 | 2 | 12 | 25 | 29 | 41 | 55 | 68 | 84 |
| 23 | 3 | 24 | 30 | 51 | 56 | 77 | 79 | 89 |
| 24 | 4 | 19 | 27 | 43 | 59 | 76 | 80 | 91 |
| 25 | 5 | 20 | 27 | 42 | 62 | 64 | 83 | 92 |
| 26 | 6 | 21 | 28 | 52 | 61 | 63 | 76 | 94 |
| 27 | 8 | 14 | 29 | 46 | 57 | 72 | 78 | 87 |
| 28 | 9 | 15 | 30 | 52 | 60 | 73 | 78 | 90 |
| 29 | 10 | 16 | 31 | 44 | 61 | 74 | 80 | 86 |
| 30 | 8 | 23 | 32 | 42 | 53 | 75 | 81 | 85 |
| 31 | 1 | 24 | 28 | 42 | 58 | 77 | 82 | 88 |

Модуль 2. «Молекулярная физика. Термодинамика»

| <i>Номер вариан та</i> | <i>Номера задач</i> | | | | | | | |
|---------------------------------------|----------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| <i>1</i> | 95 | 106 | 120 | 137 | 174 | 175 | 183 | 194 |
| <i>2</i> | 96 | 107 | 115 | 123 | 138 | 150 | 173 | 183 |
| <i>3</i> | 97 | 116 | 124 | 139 | 151 | 174 | 184 | 200 |
| <i>4</i> | 98 | 117 | 125 | 140 | 152 | 175 | 177 | 185 |
| <i>5</i> | 99 | 118 | 126 | 141 | 153 | 155 | 178 | 186 |
| <i>6</i> | 100 | 119 | 127 | 143 | 149 | 161 | 187 | 199 |
| <i>7</i> | 101 | 115 | 128 | 144 | 150 | 162 | 179 | 195 |
| <i>8</i> | 102 | 116 | 129 | 145 | 151 | 163 | 180 | 196 |
| <i>9</i> | 103 | 117 | 130 | 146 | 152 | 164 | 181 | 197 |
| <i>10</i> | 104 | 118 | 131 | 147 | 153 | 165 | 182 | 198 |
| <i>11</i> | 105 | 108 | 132 | 154 | 166 | 167 | 171 | 193 |
| <i>12</i> | 95 | 109 | 110 | 133 | 155 | 168 | 172 | 183 |
| <i>13</i> | 96 | 106 | 111 | 134 | 142 | 156 | 169 | 184 |
| <i>14</i> | 97 | 107 | 112 | 135 | 148 | 157 | 170 | 185 |
| <i>15</i> | 98 | 113 | 136 | 141 | 158 | 186 | 190 | 195 |
| <i>16</i> | 114 | 137 | 150 | 158 | 175 | 187 | 191 | 196 |
| <i>17</i> | 106 | 119 | 123 | 138 | 151 | 161 | 192 | 193 |
| <i>18</i> | 107 | 121 | 124 | 139 | 152 | 162 | 188 | 194 |
| <i>19</i> | 95 | 122 | 125 | 140 | 153 | 163 | 171 | 197 |
| <i>20</i> | 96 | 110 | 126 | 141 | 159 | 164 | 172 | 198 |
| <i>21</i> | 97 | 111 | 127 | 143 | 160 | 165 | 188 | 199 |
| <i>22</i> | 98 | 112 | 128 | 144 | 154 | 166 | 173 | 189 |
| <i>23</i> | 99 | 113 | 129 | 145 | 155 | 167 | 176 | 193 |
| <i>24</i> | 100 | 114 | 130 | 146 | 156 | 168 | 177 | 194 |
| <i>25</i> | 101 | 110 | 131 | 147 | 157 | 169 | 178 | 183 |
| <i>26</i> | 102 | 111 | 132 | 149 | 158 | 170 | 184 | 195 |
| <i>27</i> | 98 | 110 | 119 | 125 | 152 | 168 | 197 | 200 |
| <i>28</i> | 103 | 112 | 133 | 141 | 154 | 179 | 185 | 196 |
| <i>29</i> | 104 | 113 | 134 | 143 | 155 | 180 | 186 | 197 |
| <i>30</i> | 105 | 114 | 135 | 144 | 156 | 181 | 187 | 198 |
| <i>31</i> | 110 | 136 | 150 | 157 | 182 | 189 | 193 | 199 |

Задачи

1. Штурман пытается провести корабль в тумане через узкий проход между рифами. Проход между рифами идет в северном направлении, а скорость течения равна 5 м/с и направлена на восток. Скорость, сообщаемая винтом судну относительно воды равна 9 м/с. В каком направлении штурман должен направить скорость судна по компасу? С какой скоростью v будет при этом двигаться судно относительно земли?

Ответ: под углом 124° к направлению течения, $v = 7,5$ м/с.

2. Движение двух велосипедистов относительно оси ОХ описывается уравнениями $x_1 = 10t$ и $x_2 = 300 - 15t$, координаты измеряются в метрах, время — в секундах. На каком расстоянии L от начала координат велосипедисты встретятся?

Ответ: $L = 120$ м.

3. С аэростата, спускающегося равномерно со скоростью $u = 4$ м/с, бросают маленький камень вертикально вверх со скоростью $v = 25$ м/с относительно земли. Определить максимальное расстояние L между аэростатом и камнем до момента их повторной встречи.

Ответ: $L = 42,9$ м.

4. При скорости ветра 7 м/с капли дождя падают под углом 30° к вертикали. При какой скорости ветра те же капли будут падать под углом 45° к вертикали?

Ответ: $v = 12$ м/с.

5. Движение точки по окружности радиуса $R = 3,0$ см описывается уравнением $S = Ct^3$, где S — пройденный путь за время движения t , $C = 10$ см/с³. Определить нормальное a_n и тангенциальное a_τ ускорения точки в момент, когда ее линейная скорость $v = 5$ см/с.

Ответ $a_n = 8,3$ см/с²; $a_\tau = 25$ см/с²

6. Точка начинает двигаться по прямой с равномерно увеличивающимся ускорением, которое за время $t_1 = 12$ с достигает значения $a_1 = 8$ м/с². Определить путь S , пройденный точкой к моменту времени $t_2 = 7,0$ с, и ее скорость v в этот момент времени.

Ответ: $v = 16,3$ м/с; $S = 38$ м.

7. Тело, двигаясь из начала декартовой системы координат, совершило перемещение, проекции которого на оси координат равны (1 м; 2 м), а затем перемещение, проекции которого (– 4 м; – 6 м). На каком расстоянии L от начала координат в результате оказалась тело?

Ответ: $L = 5,0$ м.

8. Определить величину скорости v и величину ускорения a материальной точки в момент времени $t = 3,0$ с, если ее движение в плоскости XY описывается уравнением $\vec{r} = t^3 \vec{i} + 3t^2 \vec{j}$ (\vec{i} и \vec{j} - орты осей x и y).

Ответ: $v = 32,5$ м/с; $a = 19$ м/с².

9. Точка движется в положительном направлении оси x , ее скорость меняется по закону $v = k \sqrt{x}$, ($k = 1,5 \sqrt{\text{м}}/\text{с}$). При $t = 0$ координата точки $x = 0$. Определить скорость v и ускорение a точки в момент времени $t_1 = 10$ с.

Ответ: $v = 11$ м/с; $a = 1,1$ м/с²

10. Точка движется вдоль оси x со скоростью v_x (в м/с), которая, как функция времени t (в сек), описывается графиком на рисунке 5. Имея в виду, что в момент $t=0$ координата точки $x = 0$, начертите примерные графики зависимости от времени ускорения a_x , координаты x и рассчитайте пройденный путь S за пятую секунду движения.

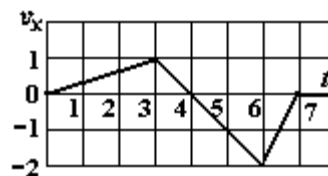


Рис. 5. К задаче 10.

Ответ: $S = 0,5$ м.

11. Тело свободно падает с некоторой высоты без начальной скорости. В начале движения за время $\tau = 2$ с оно проходит путь в $n = 3$ раз меньший, чем за то же время в конце движения. Определить полное время t движения тела.

Ответ: $t = 4$ с.

12. Радиус-вектор частицы меняется со временем t по закону $\vec{r} = \vec{b}t(1 - \alpha t)$, где \vec{b} — постоянный вектор ($|\vec{b}| = 1,7$ м/с), $\alpha = 0,08$ с⁻¹. Найти: а) скорость v и ускорение a частицы в момент времени; $t = 4$ с; б) промежуток времени

Δt , по истечении которого частица вернется в исходную точку, а также путь s , который она пройдет за время Δt .

Ответ: $v = 0,61 \text{ м/с}$, $a = -0,27 \text{ м/с}^2$, $s = 11 \text{ м}$, $\Delta t = 13 \text{ с}$.

13. Точка движется вдоль оси x с ускорением a_x (в м/с^2), которое, как функция времени t (в сек), описывается графиком на рисунке 6. В момент $t = 0$ координата точки $x = 0$ и скорость $v_x = 6 \text{ м/с}$. Начертите примерные графики зависимости от времени скорости v_x , координаты x и рассчитайте пройденный путь за четвертую секунду движения.

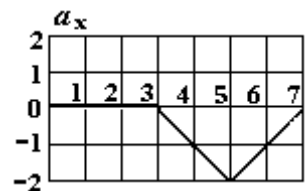


Рис. 6 к задаче 13.

Ответ: $S = 5,8 \text{ м}$.

14. Мяч брошен под углом $\alpha = 45^\circ$ к горизонту со скоростью $v = 8 \text{ м/с}$. Определить, с какой высоты h следует бросить мяч с той же начальной скоростью, но в горизонтальном направлении и так, чтобы он упал на то же место?

Ответ: $h = 3,3 \text{ м}$.

15. Движение точки по окружности описывается уравнением $\varphi = a + bt - ct^3$ (φ – угол поворота в момент времени t , $a = 0,40 \text{ рад}$, $b = 3,0 \text{ рад/с}$, $c = 2,0 \text{ рад/с}^3$). Определить угловое ускорение β точки в момент ее остановки.

Ответ: $\beta = -8,5 \text{ рад/с}^2$.

16. Точка начинает двигаться по окружности с постоянным угловым ускорением $\varepsilon = 2,0 \text{ рад/с}^2$. Через $t = 1,0 \text{ с}$ ее полное ускорение $a = 8 \text{ м/с}^2$. Определить радиус R окружности.

Ответ: $R = 1,8 \text{ м}$.

17. Движение точки по окружности задано уравнением $\varphi = bt^2$, где φ – угол поворота за время t , $b = 0,30 \text{ рад/с}^2$. Через $t_1 = 3,0 \text{ с}$ точка имеет линейную скорость $v = 0,50 \text{ м/с}$. Определить ее полное ускорение a в этот момент времени.

Ответ: $a = 0,92 \text{ м/с}^2$.

18. Автомобиль, двигаясь по кольцеобразной горизонтальной дороге, описывает окружность радиуса $R = 60 \text{ м}$. Движение равноускоренное с

постоянным тангенциальным ускорением $a_\tau = 0,70 \text{ м/с}^2$. Коэффициент трения скольжения между колесами и дорогой $\mu = 0,30$. Начальная скорость автомобиля равна нулю. Какой путь S он пройдет без скольжения?

Ответ: $S = 122 \text{ м}$.

19. Мяч брошен горизонтально с начальной скоростью $v = 6,0 \text{ м/с}$. Определить радиус R кривизны его траектории через $t = 1,2 \text{ с}$ после начала движения.

Ответ: $R = 39 \text{ м}$.

20. Пушка стреляет дважды с одинаковой начальной скоростью $v = 0,15 \text{ км/с}$, но под разными углами: первый раз под углом $\alpha_1 = 60^\circ$ к горизонту, второй – под углом $\alpha_2 = 45^\circ$. Определить интервал времени Δt между выстрелами, при котором снаряды столкнутся. Сопротивлением воздуха пренебречь.

Ответ: $\Delta t = 6,6 \text{ с}$.

21. При движении точки по окружности радиуса $R = 10 \text{ см}$ с постоянным тангенциальным ускорением ее скорость к концу четвертого оборота после начала движения составляет величину $v = 50 \text{ см/с}$. Определить нормальное ускорение a_n точки через $t = 4,0 \text{ с}$.

Ответ: $a_n = 0,40 \text{ м/с}^2$.

22. Точка движется по окружности с постоянным тангенциальным ускорением $a_\tau = 30 \text{ см/с}^2$. Определить полное ускорение a точки в тот момент, когда она пройдет четверть окружности после начала движения.

Ответ: $a = 0,99 \text{ м/с}^2$.

23. По горизонтальной поверхности катится без скольжения шар. Центр шара движется с ускорением $a = 5 \text{ см/с}^2$ (рис. 7). Радиус шара $R = 30 \text{ см}$. Определить скорость и ускорение шара в точке B через $t = 8 \text{ с}$ после начала движения шара.

Ответ: $v_B = 0 \text{ м/с}$; $a_B = 0,53 \text{ м/с}^2$.

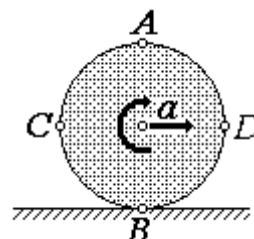


Рис. 7. К задачам 23,24,25.

24. Диск радиуса $R = 30 \text{ см}$ катится без скольжения по горизонтальной поверхности с ускорением, которое для центра диска $a = 5 \text{ см/с}^2$ (рис. 7).

Определить скорость и ускорение диска в точке А через $t = 8$ с после начала его движения.

Ответ: $v_A = 0,80$ м/с; $a_A = 0,54$ м/с².

25. Диск радиуса $R = 30$ см катится без скольжения по горизонтальной поверхности с ускорением, которое для центра диска $a = 5$ см/с² (рис. 7). Определить скорость и ускорение диска в точке С через $t = 8$ с после начала его движения.

Ответ: $v_C = 0,57$ м/с; $a_C = 0,59$ м/с².

26. Наклонная плоскость пересекается с горизонтальной плоскостью по прямой АВ под углом $\alpha = 30^\circ$ (рис.8). Тело начинает движение вверх по наклонной плоскости со скоростью $v = 1,5$ м/с под углом $\beta = 45^\circ$ к прямой АВ. В ходе движения тело вновь попадает на прямую АВ в точке В. Определить расстояние АВ. Трением между телом и наклонной плоскостью пренебречь.

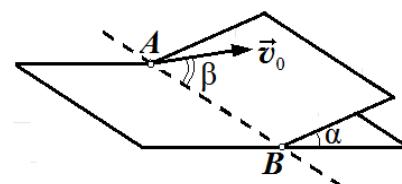


Рис. 8. К задаче 26.

Ответ: АВ=46 см.

27. На рисунке 9 изображены грузы А, В и С, соединенные невесомыми нитями. Их массы, соответственно, $m_A = 2,0$ кг, $m_B = 5,0$ кг и $m_C = 1,0$ кг. Рассчитать ускорение a , с которым будут двигаться грузы, а также разность натяжения ΔT нитей слева и справа от тела В. Силами трения и массой блоков пренебречь.

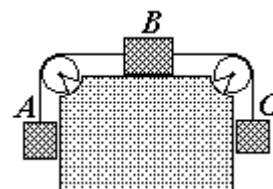


Рис. 9. К задаче 27.

Ответ: $a = 1,2$ м/с²; $\Delta T = 6,1$ Н.

28. Аэростат массы $m = 1200$ кг движется с постоянной скоростью вниз. На него действует Архимедова сила $F_A = 1,1 \cdot 10^4$ Н. Определить массу Δm груза, который нужно сбросить с аэростата, чтобы он стал двигаться с такой же постоянной скоростью вверх. Силу сопротивления воздуха при подъеме и спуске считать одинаковой.

Ответ: $\Delta m = 155$ кг.

29. На рисунке 10 изображены тела, соединенные невесомой нитью, перекинутой через блок, закрепленный на краю стола. Массы тел, соответственно, $m_1 = 0,30$ кг и $m_2 = 0,50$ кг. Вся система находится в лифте, движущийся вверх с ускорением $a = 2,0$ м/с². Коэффициент трения между телом m_1 и столом $\mu = 0,4$. Рассчитать силу T натяжения нити.

Ответ: $T = 3,1$ Н.

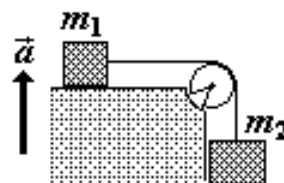


Рис. 10. К задаче 29.

30. На рисунке 11 изображены два груза, обладающие одинаковой массой и соединенные нерастяжимой нитью. Рассчитать минимальное ускорение a , с которым следует двигать брусок A , так чтобы оба груза оставались неподвижными относительно бруска. Коэффициент трения между бруском и обоими грузами $\mu = 0,30$.

Ответ: $a = 5,3$ м/с².

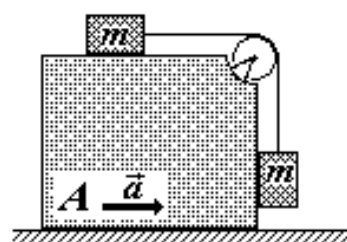


Рис. 11. К задаче 30.

31. Цепочка массы $m = 150$ г и длины $l = 1,5$ м вывесили на подвесе так, что ее нижний конец касается стола. Подвес перерезали, и цепочка упала на стол. Рассчитать величину импульса p , который цепочка передала столу.

Ответ: $p = 0,54$ Н·с.

32. На рисунке 12 изображены бруски, соединенные невесомой нитью и обладающие одинаковой массой $m = 1,0$ кг. Коэффициент трения между наклонной плоскостью и лежащим на ней бруском $\mu = 0,4$. Угол плоскости с горизонтом $\alpha = 45^\circ$. Рассчитать силу давления F на ось блока. Трением в оси блока пренебречь.

Ответ: $F = 18$ Н.

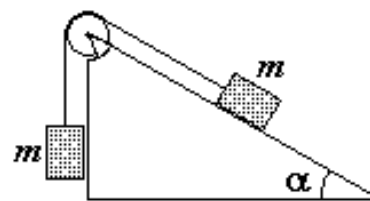


Рис. 12. К задаче 32.

33. Загруженный песком самосвал начинает движение с постоянной силой тяги $F = 5 \cdot 10^3$ Н. В кузове самосвала имеется дырка, и на дорогу высыпается песок с постоянной скоростью $u = 30$ кг/с. Масса самосвала с песком в начале движения $M = 4$ т. Рассчитать скорость v самосвала через $t = 9$ с.

Ответ: $v = 12$ м/с.

34. Периодическая сила $F = F_0 \cos \omega t$ ($F_0 = 5$ Н, $\omega = 0.5$ рад/с) действует на материальную точку массой $m = 1,5$ кг. Вектор силы и вектор скорости движения точки направлены вдоль оси x . Определить координату x точки в момент времени $t = 6.28$ с, если при $t = 0$ ее координата $x = 0$ и скорость $v = 0$.

Ответ: $x = 27$ м.

35. Вертикально вверх запущена пиротехническая ракета. Ее начальная масса $m_0 = 1,5$ кг, расход горючего $q = 0,08$ кг/с, продукты сгорания имеют скорость выброса $u = 0,20$ км/с (относительно ракеты). Рассчитать ускорение a ракеты через $t = 4,0$ с после запуска.

Ответ: $a = 3,8$ м/с².

36. Вертикально вверх запущена пиротехническая ракета. Ее начальная масса $m_0 = 4,0$ кг, продукты сгорания имеют скорость выброса $u = 0,09$ км/с (относительно ракеты). Через $t = 6,0$ с после запуска масса ракеты стала равной $m = 2,0$ кг. Рассчитать скорость ракеты в этот момент времени.

Ответ: $v = 3,6$ м/с.

37. На покоившуюся частицу массы $m = 100$ г в момент $t = 0$ начала действовать сила, зависящая от времени по закону $F = bt(\tau - t)$, где $b = 1.8$ Н/с², $\tau = 3$ с — время, в течение которого действует данная сила. Найти: а) импульс p частицы после окончания действий силы; б) путь s , пройденный частицей за время действия силы.

Ответ: $p = 8,1$ Н·с, $s = 0.12$ км.

38. На горизонтальной плоскости с коэффициентом трения $k = 0,2$ лежит тело массы $m = 300$ г. В момент $t = 0$ к нему приложили горизонтальную силу, зависящую от времени как $F = bt$, где $b = 0,3$ Н/с. Найти путь, пройденный телом за первые $t = 5$ секунд действия этой силы.

Ответ: $s = 4,7$ м.

39. Материальная точка равномерно вращается в вертикальной плоскости. Разность между максимальной и минимальной силами натяжения нити $\Delta T = 25$ Н. Рассчитать массу материальной точки.

Ответ: $m = 1,3$ кг.

40. Материальная точка, привязанная к нити длиной $l = 75$ см, равномерно вращается в горизонтальной плоскости и описывает окружность радиуса $R = 25$ см. Рассчитать угловую скорость ω вращения груза.

Ответ: $\omega = 3,2$ рад/с.

41. Рассчитать момент инерции J однородного тонкого стержня относительно оси, перпендикулярной стержню и отстоящей от его середины на расстоянии $l_1 = l/7$ (рис.13), где $l = 1,5$ м – длина стержня. Масса стержня $m = 30$ кг.

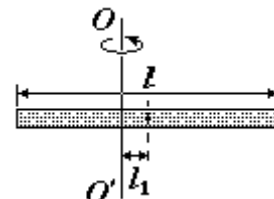


Рис. 13. К задаче 41.

Ответ: $J = 7,0$ кг·м².

42. Груз, привязанный к нити длиной $l = 1$ м, вращается в вертикальной плоскости. При натяжении нити, равной шестикратной силе тяжести груза, нить разрывается. Рассчитать минимальную угловую скорость ω вращения груза в момент разрыва нити.

Ответ: $\omega = 7,0$ рад/с.

43. Невесомая нить, перекинутая через блок в виде сплошного однородного цилиндра, соединяет два тела $m_1 = 0,50$ кг и $m_2 = 0,90$ кг. Масса цилиндра $m_3 = 0,20$ кг (рис. 14). Коэффициент трения тела массой m_1 , скользящего по горизонтальной поверхности стола, $\mu = 0,20$. Рассчитать силы натяжения нити T_1 и T_2 по обе стороны блока, а также величину a ускорения этих тел.

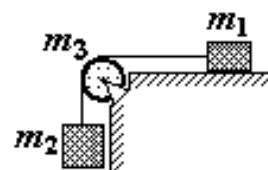


Рис. 14. К задаче 43.

Ответ: $T_1 = 3,6$ Н ; $T_2 = 4,1$ Н ; $a = 5,2$ м/с².

44. К концу шнура, намотанного на барабан радиусом $R = 40$ см, привязан груз массой $m = 0,50$ кг. Момент инерции барабана $J = 0,60$ кг·м². За какое время t груз опустится на расстояние $h = 3$ м с момента начала вращения барабана.

Ответ: $t = 2,3$ с.

45. Материальная точка движется по окружности радиуса $R = 30$ см. Ее кинетическая энергия зависит от пройденного пути S по закону $E_k = bS^2$, $b = 0,40$ кг/с². Рассчитать силу F , действующую на материальную точку, когда пройденный путь $S = 2,5$ м.

Ответ: $F = 17$ Н.

46. Известен цирковой аттракцион: по внутренней поверхности вертикального цилиндра с большой скоростью едет мотоциклист, описывая горизонтальную окружность. Радиус цилиндра $R = 13$ м, центр массы мотоцикла с человеком отстоит от места касания шин со стенкой на расстояние $r = 0,80$ м, коэффициент трения шин о стенку $\mu = 0,60$. Определить минимальную скорость v_{\min} , при которой, не сваливаясь, может двигаться мотоциклист.

Ответ: $v_{\min} = 14$ м/с.

47. На вращающийся маховик действует момент силы, пропорциональный корню квадратному от угловой скорости ω маховика. Какова средняя угловая скорость $\bar{\omega}$ маховика за все время торможения, если его начальная угловая скорость $\omega_0 = 45$ рад/с ?

Ответ: $\bar{\omega} = 15$ рад/с.

48. Момент инерции однородного шара $J = \frac{2}{5}mR^2$. Исходя из этого, вывести формулу и рассчитать момент инерции однородного шарового слоя с внутренним радиусом $R_1 = 0,25$ м и внешним радиусом $R_2 = 0,35$ м относительно оси, проходящей через его центр. Масса шарового слоя $m = 700$ кг.

Ответ: $J = 44$ кг·м².

49. Альфа-частица, пролетая вблизи первоначально покоившегося ядра атома А, отклоняется на угол $\alpha = 59,0^\circ$. Импульс альфа-частицы до взаимодействия с ядром $p_0 = 13,0 \cdot 10^{-20}$ Н·с, после взаимодействия $p = 11,5 \cdot 10^{-20}$ Н·с. Во сколько раз δ масса ядра атома А больше массы альфа-частицы? Каким химическим элементом вероятно является атом А?

Ответ: $\delta = 4,0$, атом А – кислород.

50. Рассчитать максимальный угол α отклонения от положения равновесия для математического маятника при условии, что ускорение при максимальном угле в полтора раза больше ускорения, которое возникает при прохождении положения равновесия.

Ответ: $\alpha = 74^\circ$.

51. Комета движется к Солнцу, ее скорость на большом расстоянии от Солнца равна $v_0 = 1,0$ км/с. Пусть $l = 5,2 \cdot \text{Тм}$ – плечо импульса кометы

относительно центра Солнца. Определить наименьшее расстояние R_{\min} , на которое комета приблизится к Солнцу.

Ответ: $R_{\min} = 0.10^\circ \text{ТМ}$.

52. Шайба массы $m = 100$ г без начальной скорости соскальзывает с гладкой горки, имеющей горизонтальное основание и высоту $h = 90$ см. Затем шайба попадает на доску массы $M = 1,5$ кг, лежащую у основания горки на гладкой горизонтальной плоскости (рис.15). Вследствие трения между шайбой и доской шайба тормозится и, начиная с некоторого момента, движется вместе с доской как единое целое. Найти суммарную работу A сил трения в этом процессе.

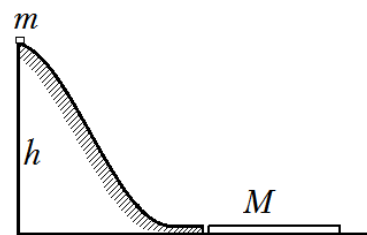


Рис. 15. К задаче 52.

Ответ: $A = -0,83$ Дж.

53. Движущийся шар налетел на неподвижный, в результате чего скорость движущегося шара уменьшилась втрое. Столкновение шаров центральное и абсолютно упругое. Определить отношение масс m_1/m_2 шаров.

Ответ: $m_1/m_2 = 2$.

54. Движущийся шар налетел на неподвижный, в результате чего скорость движущегося шара уменьшилась втрое. Столкновение шаров центральное и абсолютно упругое. До столкновения движущийся шар обладал кинетической энергией $E_{k1} = 600$ Дж. Рассчитать кинетическую энергию E'_{k2} второго шара после столкновения.

Ответ: $E'_{k2} = 533$ Дж.

55. На нитях одинаковой длины $l = 1,5$ м в одной точке подвешены два шара массами $m_1 = 0,40$ кг и $m_2 = 0,60$ кг. Шар меньшей массы отвели на угол $\alpha = 60^\circ$ от вертикали и отпустили. Столкновение шаров центральное и абсолютно неупругое. Рассчитать, на какую высоту h поднимутся шары.

Ответ: $h = 12$ см.

56. На нитях одинаковой длины $l = 2,1$ м в одной точке подвешены два шара массами $m_1 = 0,40$ кг и $m_2 = 0,60$ кг. Шар меньшей массы отвели на угол $\alpha = 45^\circ$ от вертикали и отпустили. Столкновение шаров центральное и

абсолютно упругое. Рассчитать, на какую высоту h поднимется второй шар.

Ответ: $h = 39$ см.

57. На покоящийся шар налетает движущийся шар такой же массы. Удар абсолютно упругий, но не центральный. Определить угол α между направлениями скоростей шаров после удара .

Ответ: $\alpha = 90^\circ$.

58. Однородный диск скатывается без скольжения с наклонной плоскости, образующей угол $\alpha = 45^\circ$ с горизонтом. Рассчитать линейное ускорение a центра диска.

Ответ: $a = 4,6$ м/с².

59. С наклонной плоскости, образующей угол $\alpha = 30^\circ$ с горизонтом, скатывается однородный шар без скольжения. Длина наклонной плоскости $l = 3,0$ м. Определить время t скатывания.

Ответ: $t = 1,3$ с.

60. Большой однородный диск радиуса $R = 1,5$ м и массы $M = 400$ кг вращается с частотой $n_1 = 7,0$ мин⁻¹ вокруг вертикальной оси, проходящей через его центр. На краю диска стоит человек массой $m = 75$ кг. Рассчитать работу A , совершаемую человеком при переходе от края диска к его центру.

Ответ: $A = 62$ Дж.

61. Однородный стержень длиной $l = 1,5$ м подвешен одним концом на горизонтальной оси. Рассчитать, какую минимальную скорость v надо сообщить центру массы стержня, чтобы он совершил полный оборот?

Ответ: $v = 4,7$ м/с.

62. Скатываясь по наклонной дорожке, велосипедист массы $M = 55$ кг делает «мертвую петлю» радиуса $R = 3,8$ м. (R – расстояние от центра окружности до центра массы системы человек + велосипед). С какой минимальной высоты h должен съехать велосипедист, чтобы не оторваться от дорожки в верхней точке петли. Масса велосипеда $m = 12$ кг, причем на колеса приходится масса $m_0 = 3,0$ кг. Колеса считать обручами.

Ответ: $h = 9,6$ м.

63. Путь, проходимый телом массой $m = 2,0$ кг, описывается уравнением $S = A - Bt + Ct^2 - Dt^3$ (t – время, $A = 1,5$ м, $B = 6,0$ м/с, $C = 3,5$ м/с², $D = 3,0$ м/с³). Какую мощность N развивает действующая на тело сила в момент времени $t = 1,5$ с ?

Ответ: $N = 0,63$ кВт.

64. Груз массой $m = 6,0$ кг падает на чашу пружинных весов жесткостью $k = 20$ Н/см с высоты $h = 0,50$ м. Рассчитать максимальную величину сжатия x_{\max} пружины. Массой чаши пренебречь.

Ответ: $x_{\max} = 20$ см.

65. Брусок массы $m = 1,00$ кг находится на горизонтальной плоскости с коэффициентом трения $k = 0,27$. В некоторый момент ему сообщили начальную скорость $v_0 = 1,50$ м/с. Рассчитать среднюю мощность W силы трения за все время движения бруска.

Ответ: $W = -2,0$ Вт.

66. Плоскость расположена под углом $\alpha = 30^\circ$ к горизонту. Груз, находящийся на высоте $h = 4,0$ м, сначала начинает скользить по плоскости, а затем движется по горизонтальному участку. На всем пути движения коэффициент трения $\mu = 0,06$. Рассчитать путь S , пройденный телом на горизонтальном участке.

Ответ: $S = 60$ м.

67. Поезд массой $M = 700$ т за $t = 0,40$ мин развивает скорость $v = 36$ км/ч, двигаясь с постоянным ускорением под гору с уклоном $\alpha = 0,05$. Коэффициент трения качения поезда $\mu = 0,12$. Рассчитать среднюю мощность N локомотива.

Ответ: $N = 3,9$ МВт.

68. Какую мощность W развивают двигатели ракеты массой $M = 150$ т, в момент ее отрыва от поверхности Земли, если скорость истечения газов равна $u = 4,5$ км/с.

Ответ: $W = 3,3$ ГВт.

69. Система состоит из двух последовательно соединенных пружинок с жесткостями $k_1 = 2,5$ кН/м и $k_2 = 1,5$ кН/м. Найти минимальную работу A , которую необходимо совершить, чтобы растянуть эту систему на $\Delta l = 20$ см.

Ответ: $A = 19$ Дж.

70. Движение материальной точки массой $m = 2,0$ кг происходит под действием силы $\vec{F} = 4t\vec{i} + 6t^3\vec{j}$, где \vec{i} и \vec{j} - орты координатных осей. Какова мощность N , развиваемая этой силой в момент времени $t = 2,5$ с ?
 Ответ: $N = 2,8$ кВт.

71. Небольшому телу массы $m = 700$ г, находящемуся на горизонтальной плоскости, сообщили скорость $v_0 = 3,5$ м/с. Коэффициент трения зависит от пройденного пути s по закону $k = \alpha s$, где $\alpha = 5$ м⁻¹. Найти максимальную по модулю мгновенную мощность W силы трения.
 Ответ: $W = 30$ Вт.

72. Небольшой брусок начинает скользить по наклонной плоскости, составляющей угол $\alpha = 30^\circ$ горизонтом. Коэффициент трения зависит от пройденного пути x по закону $k = \gamma x$, где $\gamma = 1$ м⁻¹. Найти путь s , пройденный бруском до остановки, и максимальную скорость v_{\max} его на этом пути.
 Ответ: $s = 1,2$ м, $v_{\max} = 1,7$ м/с.

73. К бруску массы $m = 200$ г, лежащему на гладкой горизонтальной плоскости, приложили постоянную по модулю силу $F = 10$ Н. В процессе его прямолинейного движения угол α между направлением этой силы и горизонтом меняют по закону $\alpha = ks$ где $k = 5$ м⁻¹, s — пройденный бруском путь (из начального положения). Найти скорость бруска, когда угол α достиг величины $\alpha = 60^\circ$.
 Ответ: $v = 4,2$ м/с.

74. Локомотив массы $M = 10$ т начинает двигаться со станции так, что его скорость меняется по закону $v = \alpha\sqrt{s}$, где $\alpha = 1 \frac{\sqrt{M}}{c}$, s — пройденный путь. Найти суммарную работу A всех сил, действующих на локомотив, за первые $t = 1,0$ минуты после начала движения.
 Ответ: $A = 4,5$ МДж.

75. Тело массы $m = 2$ кг начинают поднимать с поверхности Земли, приложив к нему силу, которую изменяют с высотой подъема y по закону $\vec{F} = 2(ay - 1)m\vec{g}$, где $a = 5$ м⁻¹. Найти работу A этой силы и приращение потенциальной энергии ΔU тела в поле силы тяжести Земли на первой половине пути подъема.
 Ответ: $A = 29$ Дж, $\Delta U = 20$ Дж.

76. Шайбу положили на наклонную плоскость и сообщили направленную вверх вдоль плоскости начальную скорость $v_0 = 3,0$ м/с. Коэффициент трения между шайбой и плоскостью равен $k = 0,25$. При каком значении угла α наклона плоскости к горизонту шайба пройдет наименьшее расстояние L_{\min} ? Чему оно равно?

Ответ: $\alpha = 76^\circ$, $L_{\min} = 45$ см.

77. Система состоит из двух одинаковых вертикально расположенных кубиков, каждый массы $m = 5,0$ г, между которыми находится прикрепленная к ним сжатая невесомая пружина жесткости $k = 5,0$ Н/м. (см. рисунок 16). Кубики связаны нитью. Определить начальное сжатие Δl пружины, при котором нижний кубик подскочит после пережигания нити.

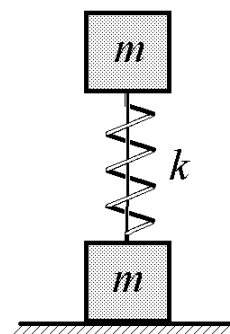


Рис. 16. К задаче 77.

Ответ: $\Delta l = 2,9$ см.

78. Материальная точка массой $m = 100$ г движется по окружности радиуса $R = 20$ см с постоянным тангенциальным ускорением a_τ . Рассчитать это ускорение, если известно, что точка, совершив $N = 6$ оборотов, приобрела кинетическую энергию $E_k = 50$ мДж.

Ответ: $a_\tau = 6,6$ см/с².

79. Обруч катится без проскальзывания, ударяется о стенку со скоростью $v_1 = 1,7$ м/с и откатывается от нее со скоростью $v_2 = 1,3$ м/с. Масса обруча $m = 1,2$ кг. Какое количество теплоты Q выделится при ударе?

Ответ: $Q = 1,4$ Дж.

80. Через полый цилиндр перекинута невесомая нить. Радиус цилиндра $R = 8,0$ см, его масса $M = 0,50$ кг. К концам цилиндра прикреплены грузы с массами $m_1 = 1,0$ кг и $m_2 = 0,70$ кг. Цилиндр способен вращаться без трения вокруг горизонтальной оси. Определить угловое ускорение β цилиндра и отношение T_1 / T_2 натяжений нити.

Ответ: $\beta = 17$ рад/с²; $T_1 / T_2 = 1,1$.

81. Тело массы $m = 300$ г бросили под углом $\alpha = 30^\circ$ к горизонту с начальной скоростью $v_0 = 5$ м/с. Рассчитать среднюю мощность $W_{\text{ср}}$, развиваемую силой тяжести за все время движения тела, и мгновенную мощность W этой силы через время $t = 3$ с после броска.

Ответ: $W_{\text{ср}} = 0$, $W = 79 \text{ Вт}$.

82. Однородный диск радиуса $R = 30 \text{ см}$ раскрутили до угловой скорости $\omega = 20 \text{ рад/с}$ и положили на закрепленную горизонтальную поверхность. Коэффициент трения диска о поверхность $\mu = 0,08$. Через какое время t диск остановится?

Ответ: $t = 5,7 \text{ с}$.

83. Небольшая шайба массы $m = 50 \text{ г}$ начинает скользить, если ее положить на шероховатую поверхность полусферы на высоте $h_1 = 60 \text{ см}$ от горизонтального основания полусферы. Продолжая скользить, шайба отрывается от полусферы на высоте $h_2 = 25 \text{ см}$. Найти работу A сил трения, действующих на шайбу при ее соскальзывании.

Ответ: $A = -0,11 \text{ Дж}$.

84. В системе отсчета, вращающейся вокруг неподвижной оси с постоянной угловой скоростью $\omega = 5,0 \text{ рад/с}$, движется небольшое тело массы $m = 700 \text{ г}$. Какую работу A совершила центробежная сила инерции при перемещении этого тела по произвольному пути из точки 1 в точку 2, которые расположены на расстояниях $r_1 = 30 \text{ см}$ и $r_2 = 50 \text{ см}$ от оси вращения?

Ответ: $A = 1,4 \text{ Дж}$.

85. Классический импульс частицы в $n = 3$ раза меньше ее релятивистского импульса. Определить скорость v движения частицы.

Ответ: $v = 2,8 \cdot 10^8 \text{ м/с}$.

86. Какую работу необходимо совершить, чтобы увеличить скорость электрона от $0,50 \text{ с}$ до $0,70 \text{ с}$? c – скорость света в вакууме.

Ответ: $A = 2,0 \cdot 10^{-14} \text{ Дж}$.

87. В стихотворении Бориса Леонидовича Пастернака «Единственные дни» есть строка: «...И дольше века длится день...». Утверждая это, поэт предлагает нам решить следующую задачу. Какова разность Δv между скоростью света c и скоростью космического путешественника, для которого прошел один день, а для жителей земли – 100 лет. Считать в году 365 дней.

Ответ: $\Delta v = 0,11 \text{ м/с}$.

88. Длительность процесса (собственное время) для подвижного наблюдателя в два раза меньше длительности того же процесса для неподвижного наблюдателя. Определить скорость v подвижного наблюдателя.

Ответ: $v = 0,26 \text{ Гм/с}$.

89. Определить расстояние S , которое пролетает π -мезон с момента рождения до распада, если время его жизни для неподвижного наблюдателя $\Delta t = 5,0 \text{ мкс}$, а собственное время жизни $\Delta t' = 2,2 \text{ мкс}$. Воспользоваться инвариантностью интервала к преобразованию координат.

Ответ: $S = 1,35 \text{ км}$.

90. Полная энергия движущейся частицы в $n = 2,0$ раза больше ее энергии покоя. Определить скорость v движения частицы.

Ответ: $v = 2,6 \cdot 10^8 \text{ м/с}$.

91. Период обращения кометы Галлея вокруг Солнца $T = 76 \text{ лет}$. Вблизи Солнца она проходит на минимальном расстоянии $R_{\min} = 1,8 \cdot 10^{11} \text{ м}$. Допустим, что орбита Земли – окружность радиуса $R = 1,5 \cdot 10^{11} \text{ м}$. На какое максимальное расстояние L удаляется комета от Солнца?

Ответ: $L = 5,2 \cdot 10^{12} \text{ м}$.

92. Период обращения спутника Земли $T = 1 \text{ ч } 50 \text{ мин}$, и он движется по круговой орбите. Принять, что Земля – шар радиуса $6,37 \cdot 10^6 \text{ м}$. На какой высоте h от поверхности Земли вращается спутник?

Ответ: $h = 1,23 \text{ Мм}$.

93. Две звезды с массами $m_1 = 8 \cdot 10^{30} \text{ кг}$ и $m_2 = 5 \cdot 10^{30} \text{ кг}$ вращаются относительно их центра масс, причем расстояние между звездами $L = 3,0 \text{ Гм}$ остается неизменным. Пренебрегая размерами звезд, рассчитать их угловую скорость ω вращения.

Ответ: $\omega = 1,8 \cdot 10^{-4} \text{ рад/с}$.

94. Определить высоту h над поверхностью Земли стационарного спутника связи, который постоянно находится над одной и той же точкой экватора.

Ответ: $h = 36 \text{ Мм}$.

95. В сосуде объемом $V = 1$ л находится идеальный газ при температуре $T = 350$ К. В результате утечки газа количество молекул в сосуде уменьшилось на $\Delta N = 6 \cdot 10^{18}$. Как изменилось давление Δp газа?

Ответ: $\Delta p = 29$ Па.

96. У газообразного йода (I_2) на атомы диссоциировало $\alpha = 60\%$ молекул. Рассчитать количество частиц N_1 на единицу массы этого газа. Молярная масса молекулярного йода $\mu = 254$ г/моль.

Ответ: $N_1 = 3,8 \cdot 10^{24}$ 1/кг.

97. Определить температуру T азота, если средняя квадратичная скорость молекул этого газа больше их средней арифметической скорости на 40 м/с..

Ответ: $T = 290$ К.

98. Рассчитать концентрацию n молекул кислорода при давлении $p = 500$ Па, если средняя арифметическая скорость молекул этого газа $\bar{v} = 0,5$ км/с.

Ответ: $n = 9,6 \cdot 10^{22}$ 1/м³.

99. Определить давление p кислорода, если средняя арифметическая скорость его молекул $\bar{v} = 0,5$ км/с, а их концентрация $n = 8 \cdot 10^{24}$ 1/м³.

Ответ: $p = 42$ кПа.

100. В закрытую емкость объемом $V = 30$ л, в которой находится воздух при давлении $p_0 = 100$ кПа, добавили этиловый спирт (C_2H_5OH). Когда весь спирт испарился, давление стало равным $p = 150$ кПа. Определить массу m добавленного спирта. Температуру воздуха и смеси считать неизменной и равной $T = 300$ К.

Ответ: $m = 28$ г.

101. В замкнутом сосуде объемом $V = 1,3$ л находится газообразный йод (I_2) массой $m = 4,0$ г. Молярная масса йода $\mu = 254$ г/моль, температура в сосуде $T = 800^\circ\text{C}$, давление $p = 170$ кПа. Какова степень диссоциации α молекул йода на атомы?

Ответ: $\alpha = 0,57$.

102. Кислород массой $m_1 = 40$ г и азот массой $m_2 = 60$ г находятся в замкнутом сосуде при температуре $T = 120^\circ\text{C}$ и давлении $p = 300$ кПа. Какова плотность ρ смеси газов?

Ответ: $\rho = 2,7$ кг/м³.

103. Имеются два сосуда объемами $V_1 = 3$ л и $V_2 = 5$ л. В сосуде объемом V_1 находится кислород под давлением $p_1 = 2$ атм, а в сосуде объемом V_2 – азот под давлением $p_2 = 1$ атм. Какое давление p установится в сосудах,

если их соединить тонкой трубкой, объемом которой можно пренебречь? Температуру обоих газов считать одинаковой и постоянной.

Ответ: $p = 1,4$ атм.

104. В сосуде находится смесь из двух газов: водорода массой $m_1 = 5$ г и кислорода массой $m_2 = 20$ г. Найти молярную массу μ смеси и объем сосуда V . Смесь находится при температуре $t = 20^\circ\text{C}$ и давлении $p = 2$ атм.

Ответ: $\mu = 8$ г/моль; $V = 38$ л.

105. В сосуде объемом $V = 2$ л находится азот при температуре $T = 300$ К и давлении $p = 2$ атм. При нагревании до определенной температуры $\alpha = 25\%$ молекул азота диссоциировали на атомы. Найти количество вещества ν газа до диссоциации, количество атомарного ν_1 и молекулярного ν_2 азота после диссоциации.

Ответ: $\nu = 0,16$ моль; $\nu_1 = 0,12$ моль; $\nu_2 = 0,08$ моль.

106. В сосуде находится водород при температуре $T = 300$ К. Одна из молекул испытывает упругое столкновение со стенкой сосуда, причем угол между стенкой сосуда и вектором ее скорости при ударе составляет угол $\alpha = 30^\circ$. Найти импульс p , который получит стенка в результате столкновения. Скорость молекулы при ударе считать равной среднеквадратичной скорости.

Ответ: $p = 6,4 \cdot 10^{-24}$ кг·м/с.

107. Два одинаковых баллона соединены трубкой с клапаном, пропускающим газ из одного баллона в другой при разности давлений $\Delta p \geq 1,2$ атм. Сначала в одном баллоне был вакуум, а в другом – идеальный газ при температуре $t_0 = 20^\circ\text{C}$ и давлении $p_0 = 1$ атм. Затем оба баллона нагрели до температуры $t = 100^\circ\text{C}$. Каким стало давление p в баллоне, в котором был вакуум?

Ответ: $p = 3,7$ кПа.

108. Азот находится под давлением $p = 200$ кПа между двух одинаковых горизонтальных пластин. Температура газа растет линейно от $t_1 = 40^\circ\text{C}$ у нижней пластины до $t_2 = 60^\circ\text{C}$ у верхней. Найти массу m азота, если объем газа между пластинами составляет $V = 12$ л.

Ответ: $m = 25$ г.

109. В закрытом теплонепроницаемом сосуде находится озон (O_3) при температуре $t_0 = 527^\circ\text{C}$. Через некоторое время озон полностью превращается в кислород (O_2). Определить, во сколько раз n возрастет при этом давление в сосуде, если на образование 1 моля озона из кислорода нужно затратить $q = 142$ кДж/моль. Молярную теплоёмкость кислорода при постоянном объёме считать равной $C_V = 21$ Дж/(моль·К).

Ответ: $n = 14$

110. Определить, во сколько раз η увеличился объем кислорода, если газ адиабатически расширился так, что средняя скорость его молекул уменьшилась в $n = 1,5$ раза.

Ответ: $\eta = 7.6$.

111. Кислород массой $m = 6,0$ г заключен в вертикальном цилиндре под поршнем. Масса поршня $M = 1$ кг, площадь его поперечного сечения $S = 15 \text{ см}^2$. Над поршнем находится воздух при нормальных условиях. Кислород нагревают на $\Delta T = 20$ К. Рассчитать, на какую высоту Δh поднимется поршень.

Ответ: $\Delta h = 20$ см.

112. При сжатии объем горючей смеси газов в цилиндрах двигателя внутреннего сгорания уменьшается в $n = 8,5$ раз. До сжатия давление смеси газов $p_1 = 120$ кПа, температура $t_1 = 150^\circ\text{C}$. Молекулы газа многоатомные, процесс сжатия считать адиабатическим. Определить давление p_2 и температуру t_2 газа после сжатия. Колебательные степени свободы не учитывать.

Ответ: $p_2 = 2.1$ МПа; $t_2 = 590^\circ\text{C}$.

113. Воздушный шар объемом $V = 180 \text{ м}^3$ наполняют горячим воздухом при температуре $t = 250^\circ\text{C}$ и атмосферном давлении $p = 100$ кПа. Температура окружающего воздуха $t_0 = 12^\circ\text{C}$. Какую максимальную массу M должна иметь оболочка воздушного шара, чтобы он еще мог подниматься? Оболочка шара нерастяжима и имеет в нижней части небольшое отверстие.

Ответ: $M = 100$ кг.

114. Кислород массой $m = 12$ г находится при давлении $p = 120$ кПа и температуре $t = 20^\circ\text{C}$. В результате изобарного расширения объем газа стал равен $V = 10$ л. Найти первоначальный объем V_0 газа, а также плотности кислорода ρ_1 до нагрева и ρ_2 после нагрева.

Ответ: $V_0 = 7,6$ л; $\rho_1 = 1,6 \text{ кг/м}^3$; $\rho_2 = 1,2 \text{ кг/м}^3$.

115. Во сколько раз N уменьшилось число столкновений молекул кислорода за единицу времени, если при адиабатическом расширении объем газа возрос в 4 раза?

Ответ: $N = 5.3$.

116. Многоатомный газ сначала адиабатически сжимают, а затем изохорно охлаждают до начальной температуры. Исходные объем газа $V_1 = 0,8$ л, давление $p_1 = 0,5$ МПа. Конечное давление газа $p_3 = 0,8$ МПа. Определить объем V_2 и давление p_2 после адиабатического сжатия. Изобразить график процесса в координатах PV . Колебательные степени свободы молекул не учитывать.

Ответ: $V_2 = 0,50$ л; $p_2 = 0,94$ МПа.

117. Углекислый газ сначала адиабатически сжимают, а затем изохорно охлаждают до первоначальной температуры. Начальное давление газа $p_1 = 0,15$ МПа, конечное $p_2 = 0,25$ МПа, первоначальный объем $V_1 = 0,5$ л. Найдите значения объема V и давления p после адиабатического сжатия. Изобразите график процесса в координатах давление–объем. Учесть только поступательные и вращательные степени свободы молекул.

Ответ: $V = 0,30$ л; $p = 0,31$ МПа.

118. Водяной пар сначала изотермически расширяют, а затем изобарно охлаждают до первоначального объема. Масса пара $m = 0,3$ мг, начальное давление $p_1 = 2$ кПа, конечное $p_2 = 0,5$ кПа, первоначальный объем $V_1 = 0,1$ л. Найдите значения объема V_2 после расширения и температуры T_2 после изобарного охлаждения. Изобразите график процесса в координатах давление–объем.

Ответ: $V_2 = 0,4$ л; $T_2 = 361$ К.

119. Посередине откачанного и запаянного с обоих концов капилляра, расположенного горизонтально, находится столбик ртути длиной $l = 10$ см. Если капилляр расположить вертикально, то столбик ртути переместится на $\Delta l = 5$ см. До какого давления p был откачан капилляр, если его длина $L = 50$ см. Плотность ртути $\rho = 13,6$ г/см³.

Ответ: $p = 25$ кПа.

120. Давление идеального газа меняется согласно закону $p = p_0 - \alpha V^3$, где $p_0 = 50$ кПа, $\alpha = 12$ МПа·моль³·м⁻⁹, V – объем одного моля газа. Найти максимально возможную температуру для такого процесса.

Ответ: $T_{\max} = 457$ К.

121. Давление идеального газа меняется согласно закону $p = p_0 \exp(-\alpha V^2)$, где $p_0 = 100$ кПа, $\alpha = 120$ моль²·м⁻⁶, V – объем одного моля газа. Найти максимально возможную температуру для такого процесса.

Ответ: $T_{\max} = 471$ К.

122. Азот адиабатически расширили в 5 раз. Во сколько раз η изменилось число ударов молекул азота на единицу площади поверхности стенки сосуда за единицу времени?

Ответ: $\eta = 6,9$.

123. Какое количество теплоты Q было сообщено азоту массой $m = 4$ г, если этот газ изохорно нагрели от начальной температуры $t = 27$ °С так, что наиболее вероятная скорость его молекул увеличилась в $n = 4$ раза?

Ответ: $Q = 13$ кДж.

124. В замкнутом сосуде объемом $V = 20$ л находится кислород. После нагревания давление кислорода изменилось на $\Delta p = 300$ кПа. Какое количество теплоты Q сообщили газу?

Ответ: $Q = 15$ кДж.

125. Определить работу A , совершенную молекулярным азотом при изобарном расширении, если в этом процессе газ получил теплоту $Q = 10$ кДж.

Ответ: $A = 2,9$ кДж.

126. Кислород занимает объем $V = 0,60$ л и находится под давлением $p = 800$ кПа. Рассчитать, какое количество теплоты Q необходимо сообщить газу, чтобы увеличить его объем в $n = 4,0$ раза при изобарном процессе.

Ответ: $Q = 5,0$ кДж.

127. Азот занимает объем $V = 0,60$ л и находится под давлением $p = 400$ кПа. Рассчитать, какое количество теплоты Q необходимо сообщить газу, чтобы увеличить его давление в $n = 3,0$ раза при изохорном процессе?

Ответ: $Q = 1,2$ кДж.

128. Масса идеального газа $m = 1,6$ кг, его температура $t = 100^\circ \text{C}$. При изотермическом сжатии этого газа в $n = 2,5$ раза внешняя сила совершила работу $A = 1,14$ МДж. Определить, какой это газ.

Ответ: гелий ($\mu = 4,0$ г/моль).

129. После изобарного нагревания азота массой $m = 5,0$ г, который вначале находился при нормальных условиях, его объем стал равным $V_2 = 15,0$ л. Какую работу A совершил газ при нагревании?

Ответ: $A = 1,1$ кДж.

130. После изобарного нагревания азота массой $m = 5,0$ г, который вначале находится при нормальных условиях, его объем стал равным $V_2 = 15,0$ л. Какое количество теплоты Q , получил газ?

Ответ: $Q = 3,8$ кДж.

131. Гремучий газ при температуре $t = 20^\circ \text{C}$ и давлении $p = 100$ кПа заключен под поршнем в цилиндре объемом $V = 0,25$ л. При резком сжатии газ взорвался. Работа сжатия $A' = 80$ Дж. При какой температуре T произошел взрыв?

Ответ: $T = 668$ К.

132. Азот сжимают в $n = 5,0$ раз либо адиабатическим, либо изотермическим способами. Рассчитать отношение работ $A_{\text{адиабат}}/A_{\text{изотерм}}$.

Ответ: $A_{\text{адиабат}}/A_{\text{изотерм}} = 1,4$.

133. Азот сжимают адиабатически. Количество азота $\nu = 3$ кмоль. На сколько увеличилась температура ΔT газа, если при сжатии была совершена работа $A = 800$ кДж.

Ответ: $\Delta T = 13$ К.

134. Плотность некоторого двухатомного газа при нормальных условиях равна $\rho = 1,428$ кг/м³. Найти удельные теплоемкости для этого газа при постоянном давлении C_p и объеме C_v . Определить химическую природу газа.

Ответ: $C_p = 909$ Дж/(кг·К), $C_v = 649$ Дж/(кг·К), газ – кислород.

135. Для нагревания некоторого количества газа на $t_1 = 50,0^\circ\text{C}$ при постоянном давлении необходимо затратить количество теплоты $Q_1 = 670$ Дж. Если это же количество газа охладить на $t_2 = 100,0^\circ\text{C}$ при постоянном объеме, то выделится $Q_2 = 1005$ Дж. Сколько степеней свободы i имеет молекула этого газа?

Ответ: $i = 6$.

136. Двухатомный газ при изобарном расширении совершил работу $A = 3,0$ кДж. Какое количество теплоты Q , было сообщено газу?

Ответ: $Q = 10$ кДж.

137. Начальная температура кислорода $T = 400$ К. После адиабатического расширения объем V газа увеличился в $n = 4,0$ раза, а внутренняя энергия уменьшилась на 5 кДж. Определить массу m кислорода.

Ответ: $m = 45$ г.

138. Масса кислорода $m = 200$ г, температура $t = 37$ С. Сначала газ изобарно охлаждают, и его объем уменьшается в $n = 2,0$, раза, а затем изохорно нагревают до первоначальной температуры. Какую работу A совершил газ, и каково изменение ΔU его внутренней энергии?

Ответ: $A = -8,1$ кДж; $\Delta U = 0$.

139. Газ массой $m = 4,0$ г увеличил свой объем в $n = 4$ раза и совершил при этом работу $A = 800$ Дж. Какова наиболее вероятная скорость $v_{\text{вер}}$ молекул газа? Процесс считать изотермическим.

Ответ: $v_{\text{вер}} = 0,54$ км/с.

140. Степень диссоциации газообразного азота равна $\alpha = 0,7$. Определить удельные теплоемкости при постоянном давлении и объеме, а также показатель адиабаты для такой смеси.

Ответ: $C_p = 1,35$ кДж/(кг·К); $C_v = 846$ Дж/(кг·К); $\gamma = 1,60$.

141. На рисунке 17 представлен процесс ABC, происходящий с идеальным двухатомным газом. Найти количество теплоты Q , переданное газу при таком процессе.

Ответ: $Q = 3,1$ кДж.

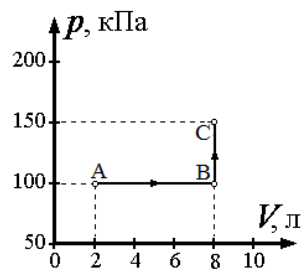


Рис. 17 к задаче 141

142. На рисунке 18 показан политропный процесс АВ изменения состояния идеального трехатомного газа. Значения давления и объема в точках А и В равны: $p_A = 150$ кПа, $p_B = 100$ кПа, $V_A = 3,0$ л, $V_B = 4,07$ л. Рассчитать работу A , которую совершил газ. Какой это изопроцесс?

Ответ: $A = 130$ Дж; процесс – адиабатный.

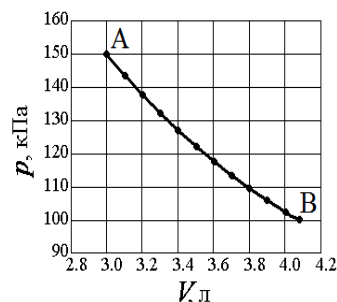


Рис. 18 к задаче 142

143. На рисунке 19 показан политропный процесс АВ изменения состояния идеального трехатомного газа. Значения давления и объема в точках А и В равны: $p_A = 150$ кПа, $p_B = 100$ кПа, $V_A = 3,0$ л, $V_B = 4,5$ л. Найти работу A , которую совершил газ. Какой это изопроцесс?

Ответ: $A = 182$ Дж; процесс – изотермический.

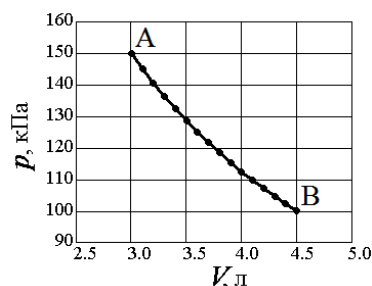


Рис. 19 к задаче 143

144. Два моля идеального газа изобарно охладили, уменьшив его объем в 4 раза (процесс АВ на рисунке 20), затем нагрели до первоначальной температуры $T = 320$ К (процесс ВС) и вернули газ в начальное состояние (процесс СА). Какое количество теплоты Q отдал газ на участке СА, чему равно изменение его внутренней энергии ΔU на этом участке, какую работу A при этом совершил газ?

Ответ: $Q = 10$ кДж; $\Delta U = 0$; $A = 10$ кДж.

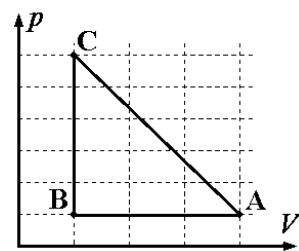


Рис. 20 к задаче 144

145. Внутри горизонтального теплоизолированного цилиндра объемом $V = 4,0$ л находится легкоподвижный поршень. Первоначально поршень делит объем цилиндра на две равные части, в каждой из которых находится идеальный газ при одинаковой температуре под давлением $p = 100$ кПа. При движении поршня объем одной части цилиндра стал в

три раза больше объема другой. Какая работа A была при этом совершена над газом? Процесс считать изотермическим.

Ответ: $A = -58 \text{ Дж}$.

146. Объем одного моля идеального двухатомного газа меняется согласно закону $V = \frac{\alpha}{T}$, где α – постоянная. Найти количество теплоты Q , полученной газом в данном процессе, если температура газа изменилась на $\Delta T = 45^\circ\text{C}$.

Ответ: $Q = 0,56 \text{ кДж}$.

147. Два моля гелия расширяют в политропическом процессе с показателем $n = 1,5$. Найти количество теплоты Q , полученное газом, если его температура уменьшилась на 32 К .

Ответ: $Q = 266 \text{ Дж}$.

148. Определить степень диссоциации α газообразного водорода, если показатель адиабаты такого частично диссоциировавшего газа равен $\gamma = 1,50$.

Ответ: $\alpha = 0,33$.

149. Кислород и гелий одинаковой массы поместили при нормальных условиях в замкнутую емкость объемом $V = 5 \text{ л}$. Какое количество теплоты Q было сообщено смеси при ее нагревания на $\Delta T = 200 \text{ К}$?

Ответ: $Q = 0,59 \text{ кДж}$.

150. Барометр в кабине летящего самолета показывает постоянное давление $p = 70 \text{ кПа}$. Определить на какой высоте h происходит полет, если температуру окружающего воздуха можно считать постоянной и равной $t = 17^\circ\text{C}$, а показания барометра при взлете $p_0 = 100 \text{ кПа}$.

Ответ: $h = 3,0 \text{ км}$.

151. Автомат высоты, устанавливаемый на некоторых парашютах, открывает парашют на заданной высоте, если этого не сделал сам парашютист. Автомат представляет собой барометрический высотомер. На какой высоте h произойдет раскрытие парашюта, если давление в этот момент времени составляет $p = 61 \text{ кПа}$, а температура воздуха на протяжении всего полета одинакова и равна $t = 18^\circ\text{C}$. Давление на поверхности Земли принять равным $p_0 = 100 \text{ кПа}$.

Ответ: $h = 4,2 \text{ км}$.

152. На какой высоте h плотность воздуха в $n = 3$ раза меньше по сравнению с его плотностью на уровне моря? Предположить, что температура воздуха не зависит от высоты и равна $T = 300 \text{ К}$.

Ответ: $h = 9,6 \text{ км}$.

153. Показания барометрического высотомера в кабине самолета остаются постоянными в течение всего полета. Какую относительную ошибку $\Delta h/h$ совершил пилот в определении высоты h , если он не учел изменение температуры воздуха за бортом самолета от $t_1 = 12^\circ\text{C}$ до $t_2 = 7^\circ\text{C}$?

Ответ: $\Delta h/h = -1,8\%$.

154. В герметично закрытой горизонтально расположенной трубке находится аргон при температуре $T = 300\text{ К}$. Трубку вращают вокруг вертикальной оси, проходящей через один из ее концов. Частота вращения трубки постоянна и равна $\nu = 225\text{ с}^{-1}$, а ее длина $l = 1\text{ м}$. Найти во сколько раз η отличается концентрация молекул у противоположных концов трубки.

Ответ: $\eta = 9,2 \cdot 10^6$.

155. Одно и то же значение функции распределения Максвелла соответствует двум скоростям молекул кислорода: $v_1 = 300\text{ м/с}$ и $v_2 = 500\text{ м/с}$. Определить температуру T газа.

Ответ: $T = 303\text{ К}$.

156. Начальная температура азота $t = 15^\circ\text{C}$. Температуру газа повышают в $\eta = 5$ раз, Определить скорость v молекул азота, при которой функция распределения Максвелла остается неизменным.

Ответ: $v = 0,72\text{ км/с}$.

157. Среди прочих газов в атмосфере Земли присутствуют два инертных газа – гелий и радон. Концентрация радона на уровне моря в $\eta = 1200$ раз больше концентрации гелия. Предполагая, что температура газов не зависит от высоты и равна $t = 10^\circ\text{C}$, определить, на какой высоте h концентрации молекул двух газов одинаковы. Ускорение свободного падения g считать постоянным. Молярная масса радона $\mu = 222\text{ г/моль}$.

Ответ: $h = 7,8\text{ км}$.

158. Определить относительное число молекул $\Delta N/N$, скорости которых лежат в интервале от 0 до $0,01v_{\text{вер}}$ (1% от наиболее вероятной скорости $v_{\text{вер}}$).

Ответ: $\Delta N/N = 7,5 \cdot 10^{-7}$.

159. Два моля кислорода находятся при нормальных условиях. Какое количество молекул ΔN данного газа обладают скоростями в интервале от $v_1 = 200\text{ м/с}$ до $v_2 = 210\text{ м/с}$.

Ответ: $\Delta N = 1,6 \cdot 10^{22}$.

160. Какова вероятность p того, что данная молекула идеального газа обладает скоростью, отличной от наиболее вероятной не более чем на 10%?

Ответ: $p = 16,5\%$

161. Коэффициент вязкости кислорода $\eta = 19,1$ мкПа·с. Определить среднюю длину свободного пробега λ его молекул при давлении газа $p = 150$ кПа и температуре $t = 10^\circ$.

Ответ: $\lambda = 65$ нм.

162. Давление воздуха в рентгеновской трубке $p = 180$ мкПа, температура $t = 25$ С, расстояние между катодом и анодом $l = 0,45$ см, эффективный диаметр молекул воздуха $d = 0,30$ нм. Рассчитать среднюю длину свободного пробега λ молекул в трубке.

Ответ: $\lambda = 57$ м (высокий вакуум).

163. Рассчитать коэффициент диффузии D кислорода в условиях, когда он находится под давлением $p = 5,0 \cdot 10^5$ Па и при температуре $t = 0^\circ$ С. Эффективный диаметр молекул кислорода $d = 0,36$ нм.

Ответ: $D = 1,9 \cdot 10^{-6}$ м²/с.

164. Температура кислорода $T = 350$ К, средняя длина свободного пробега его молекул $\lambda = 3,0$ мкм. Кислород проходит через площадку $S = 15$ см², перпендикулярную оси z , вследствие диффузионного процесса. Его градиент плотности $dp/dz = 4$ кг/м⁴. Рассчитать массу m газа, прошедшего через площадку за время $t = 15$ с.

Ответ: $m = 43$ мг.

165. Определить коэффициент теплопроводности κ кислорода, если при тех же условиях его коэффициент вязкости $\eta = 40$ мкПа·с.

Ответ: $\kappa = 26$ мВт/(К·м).

166. Определить предельное число молекул n в единице объема сферического сосуда, необходимое для того, чтобы молекулы не сталкивались друг с другом. Эффективный диаметр молекул $d = 0,2$ нм, а радиус сосуда $R = 10$ см.

Ответ: $n = 2,8 \cdot 10^{19}$ 1/м³.

167. Определить среднюю продолжительность τ свободного пробега молекул молекулярного водорода, если он находится при температуре $t = 30^\circ$ С и давлении $p = 1$ кПа. Эффективный диаметр молекул водорода $d = 0,28$ нм.

Ответ: $\tau = 6,7$ нс.

168. Молекулы кислорода, заключенные в сосуде, имеют среднюю длину свободного пробега молекул $\lambda = 0,30$ мкм. Температура кислорода $t = 10$ °С. После откачки части кислорода давление в сосуде составило $\eta = 70\%$ от своего начального значения. Определить среднее число столкновений z молекулы с другими молекулами за одну секунду после откачки. Температуру газа считать постоянной.

Ответ: $z = 1,2 \cdot 10^9$ 1/с.

169. Каково среднее число столкновений z молекул кислорода за одну секунду, если эффективный диаметр молекул $d = 3,5$ Å. Кислород находится при давлении $p = 150$ кПа и температуре $t = 10$ °С.

Ответ: $z = 9,0 \cdot 10^9$ 1/с.

170. Определить количество теплоты Q , которое теряет комната в течение одного часа за счет теплопроводности воздуха, заключенного между оконными рамами. Площадь каждой рамы $S = 3$ м², расстояние между ними равно $x = 20$ см, температура воздуха в помещении $t_1 = 22$ °С, за окном $t_2 = 8$ °С. Диаметр молекул воздуха равен $d = 3$ Å. Температура между рамами равна среднему арифметическому между температурами t_1 и t_2 , давление $p = 1$ атм.

Ответ: $Q = 21$ кДж.

171. Если полагать аргон не идеальным газом, а реальным, то какова абсолютная ошибка $p_{\text{ид}} - p_{\text{реал}}$ в определении давления аргона массой $m = 100$ г и занимающего объем $V = 150$ см³ при температуре $t = 200$ °С?. Константы Ван-дер-Ваальса для аргона: $a = 0,136$ Н·м⁴/моль², $b = 3,22 \cdot 10^{-5}$ м³/моль.

Ответ: $p_{\text{ид}} - p_{\text{реал}} = -38$ МПа.

172. Углекислый газ массой $m = 0,22$ кг заключен в сферическую оболочку радиусом $R = 12$ см. Определить внутреннее давление p_0 . Постоянная Ван-дер-Ваальса для углекислого газа $a = 0,361$ Н·м⁴/моль².

Ответ: $p_0 = 0,17$ МПа.

173. Во сколько раз концентрация молекул кислорода в критическом состоянии больше концентрации молекул при нормальных условиях? Постоянные Ван-дер-Ваальса для кислорода $a = 0,138$ Н·м⁴/моль², $b = 3,17 \cdot 10^{-5}$ м³/моль.

Ответ: в 235 раз.

174. Кислород в количестве $\nu = 2$ молей находится при температуре $T = 320$ К. Найти относительную ошибку $\Delta U/U$ в вычислении внутренней энергии газа, если рассматривать его как идеальный. Газ находится в

сосуде объемом $V = 0,5$ л. Константы Ван-дер-Ваальса для кислорода: $a = 0,138 \text{ Н}\cdot\text{м}^4/\text{моль}^2$, $b = 3,17\cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{моль}$.

Ответ: $\Delta U/U = 9,1 \%$

175. Один моль водяного пара изотермически расширяется при температуре $T = 240 \text{ К}$ от объема $V_1 = 0,5$ л до объема $V_2 = 5$ л. Вычислить количество теплоты Q , сообщенное газу, считая его реальным. Постоянные Ван-дер-Ваальса для водяного пара $a = 0,556 \text{ Н}\cdot\text{м}^4/\text{моль}^2$, $b = 3,06\cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{моль}$.

Ответ: $Q = 4,7 \text{ кДж}$.

176. Азот как реальный газ расширился от объема $V_1 = 5,0$ л до объема $V_2 = 9,0$ л. Масса азота $m = 200$ г. Какова работа A сил притяжения между молекулами? Константа Ван-дер-Ваальса $a = 0,137 \text{ Н}\cdot\text{м}^4/\text{моль}^2$.

Ответ: $A = -0,62 \text{ кДж}$.

177. В космическое пространство забросили запаянную колбу объемом $V = 6,0$ л, заполненную азотом в количестве $\nu = 4,0$ моль. Столкнувшись с метеоритом, колба лопнула, и газ стал неограниченно расширяться. Рассматривая азот как реальный газ, определите изменение его температуры ΔT . Константа Ван-дер-Ваальса $a = 0,137 \text{ Н}\cdot\text{м}^4/\text{моль}^2$.

Ответ: $\Delta T = -4,4 \text{ К}$.

178. Кислород как реальный газ изотермически расширяется от объема $V_1 = 3,0$ л до объема $V_2 = 9,0$ л. Количество кислорода $\nu = 8$, его температура $T = 300 \text{ К}$. Какова работа A газа при его расширении? Константы Ван-дер-Ваальса для кислорода: $a = 0,138 \text{ Н}\cdot\text{м}^4/\text{моль}^2$, $b = 3,17\cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{моль}$.

Ответ: $A = 21 \text{ кДж}$.

179. Кислород как реальный газ изотермически расширяется от объема $V_1 = 3,0$ л до объема $V_2 = 8,0$ л. Количество кислорода $\nu = 8$ моль, его температура $T = 250 \text{ К}$. Рассчитайте изменение внутренней энергии ΔU газа при его расширении. Константа Ван-дер-Ваальса для кислорода $a = 0,138 \text{ Н}\cdot\text{м}^4/\text{моль}^2$.

Ответ: $\Delta U = 1,8 \text{ кДж}$.

180. Если полагать аргон не идеальным газом, а реальным, то какова абсолютная ошибка $T_{\text{ид}} - T_{\text{реал}}$ в определении температуры аргона массой $m = 100$ г и занимающего объем $V = 150 \text{ см}^3$ при давлении $p = 80 \text{ МПа}$? Константы Ван-дер-Ваальса для аргона: $a = 0,136 \text{ Н}\cdot\text{м}^4/\text{моль}^2$, $b = 3,22 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{моль}$.

Ответ: $T_{\text{ид}} - T_{\text{реал}} = 184 \text{ К}$.

181. Азот рассматривается как реальный газ. Его количество $\nu = 2,0$ кмоль, и он занимает объем $V = 0,50 \text{ м}^3$ при давлении $p = 8,0 \text{ МПа}$. При изохорном нагревании давление газа возросло в $n = 6,0$ раз. Во сколько раз N увеличилась температура газа? Константа Ван-дер-Ваальса для азота $a = 0,137 \text{ Н} \cdot \text{м}^4 / \text{моль}^2$.

Ответ: $N = 4,9$.

182. Реальный газ в количестве $\nu = 0,90$ кмоль расширился от объема $V_1 = 1,0 \text{ м}^3$ до объема $V_2 = 1,5 \text{ м}^3$. При этом против сил притяжения молекул была совершена работа $A = 7,7 \text{ кДж}$. Определить константу Ван-дер-Ваальса a для этого газа.

Ответ: $a = 0,029 \text{ Н} \cdot \text{м}^4 / \text{моль}^2$.

183. Во сколько раз n увеличился объем газа в количестве $\nu = 15$ моль, если его энтропия возросла на $\Delta S = 120 \text{ Дж/К}$? Процесс изотермический.

Ответ: $n = 2,6$.

184. Определить изменение энтропии ΔS многоатомного газа в количестве $\nu = 7,0$ моль, если газ изохорно нагрели так, что его температура увеличилась в $n = 1,4$ раза. Колебательные степени свободы не учитывать.

Ответ: $\Delta S = 59 \text{ Дж/К}$.

185. Определить изменение энтропии ΔS двухатомного газа в количестве $\nu = 5,0$ моль, если газ изобарно нагрели так, что его температура увеличилась в $n = 4,0$ раза. Колебательные степени свободы не учитывать.

Ответ: $\Delta S = 0,20 \text{ кДж/К}$.

186. Кислород массой $m = 50 \text{ г}$ сначала адиабатически расширили в $n = 4,0$ раза, а затем изобарно охладили до начального объема. Определить общее изменение энтропии ΔS .

Ответ: $\Delta S = -63 \text{ Дж/К}$.

187. Как изменилась энтропия ΔS кислорода при его изотермическом расширении в $n = 10$ раз, если вначале он находился при нормальных условиях и занимал объем $V = 250 \text{ л}$?

Ответ: $\Delta S = 0,21 \text{ кДж/К}$.

188. Газ совершает цикл Карно. При изотермическом расширении газа изменение его энтропии $\Delta S = 8,5 \text{ кДж/К}$, а разность температур между нагревателем и холодильником $\Delta t = 75^\circ \text{C}$. Определить работу A , совершаемую газом за один цикл.

Ответ: $A = 0,64 \text{ МДж}$.

189. Определить изменение энтропии ΔS идеального газа в количестве $\nu = 3$ молей, если при некотором процессе объем газа V увеличивается в 3 раза,

а давление p уменьшается в 2 раза. Коэффициент Пуассона для данного газа $\gamma = 1,333$.

Ответ: $\Delta S = 43$ Дж/К.

190. Кусок льда массой $m = 100$ г, взятый при температуре $t_1 = -20^\circ\text{C}$, нагревают до тех пор, пока он не превратится в воду с температурой $t_2 = +20^\circ\text{C}$. Найти приращение энтропии ΔS в таком процессе. Удельные теплоемкости льда и воды равны, соответственно, $2,1$ кДж/(кг·К) и $4,2$ кДж/(кг·К), а удельная теплота плавления льда равна $0,34$ МДж/кг.

Ответ: $\Delta S = 0,37$ кДж/К.

191. При начальной температуре $t_1 = 0^\circ\text{C}$ вода массой $m = 100$ г нагревается и обращается в пар при температуре $t_2 = 100^\circ\text{C}$. Как изменилась энтропия ΔS в этом процессе? Удельная теплоемкость воды $c = 4,19$ кДж/(кг·К), удельная теплота парообразования $r = 2,26$ МДж/кг.

Ответ: $\Delta S = 0,74$ кДж/К.

192. При адиабатическом процессе объем кислорода массой $m = 3,0$ г сначала увеличился в $n = 4$ раза, а затем при изобарном процессе уменьшился до начального состояния. Рассчитать изменение энтропии ΔS между конечным и начальным состояниями.

Ответ: $\Delta S = -3,8$ Дж/К.

193. Тепловая машина с КПД $\eta = 15\%$ работает по циклу Карно. Ее используют как холодильный агрегат при тех же температурах нагревателя и холодильника. Найти ее холодильный коэффициент ε .

Ответ: $\varepsilon = 5,7$.

194. Двухатомный газ совершает цикл Карно. При адиабатическом расширении его объем увеличился в $n = 2,5$ раза. Определить КПД η цикла.

Ответ: $\eta = 44\%$.

195. Температура холодильной камеры $t_2 = -20^\circ\text{C}$, температура наружного воздуха $t_1 = 25^\circ\text{C}$. Холодильная машина работает по обратному циклу Карно и за один цикл потребляет энергию $A = 60$ кДж. Рассчитать количество теплоты Q_1 , которое машина передает воздуху за один цикл, и ее холодильный коэффициент ε .

Ответ: $Q_1 = 0,40$ МДж; $\varepsilon = 5,6$.

196. Предположим, что процесс расширения горючей смеси газов после взрыва в цилиндрах двигателя внутреннего сгорания является адиабатическим. Молекулы газа многоатомные, и при расширении объем газа увеличивается в $n = 5,0$ раз. Определить максимальный коэффициент полезного действия η двигателя. Учесть только поступательные и вращательные степени свободы молекул.

Ответ: $\eta = 0,59$.

197. Газ совершает цикл Карно. При изотермическом расширении газа изменение его энтропии $\Delta S = 7,0$ кДж/К, а разность температур между нагревателем и холодильником $\Delta t = 80$ °С. Определить работу A , совершаемую газом за один цикл.

Ответ: $A = 0,56$ МДж.

198. Идеальный двухатомный газ в количестве $\nu = 2$ молей совершает цикл, состоящий из двух изохор и двух изобар. Максимальные значения объема и давления газа в цикле равны $V_{\max} = 18$ л и $p_{\max} = 420$ кПа, минимальные – $V_{\min} = 12$ л и $p_{\min} = 300$ кПа. Построить график цикла. Найти максимальное T_{\max} и минимальное T_{\min} значения температуры газа и к.п.д. η цикла.

Ответ: $T_{\max} = 455$ К; $T_{\min} = 217$ К; $\eta = 5,8\%$.

199. Идеальный многоатомный газ совершает цикл, состоящий из двух изобар и двух изохор, причем в процессе цикла максимальное значение давления в два раза больше минимального, а максимальный объем в четыре раза больше минимального. Определить к.п.д. η цикла.

Ответ: $\eta = 11,1\%$.

200. Работающая по обратному циклу Карно холодильная машина, передавая тепло от холодильника кипятильнику, превратила в кипятильнике в пар $m_1 = 1,0$ кг воды. Вначале в кипятильнике и холодильнике находилась вода при температуре, соответственно, $t_1 = 100$ °С и $t_2 = 0$ °С. Какая масса m_2 воды заморозилась при этом в морозильнике? Удельная теплота плавления льда $\lambda = 335$ кДж/кг, удельная теплота парообразования воды $r = 2,26$ МДж/кг.

Ответ: $m_2 = 4,9$ кг.

Литература

1. Савельев И.В. Курс общей физики: Учеб. Пособие: для вузов. В 5 кн. Кн.4. Волны. Оптика – 4-е изд., перераб.– М.: Наука, Физматлит, 1998.
2. Трофимова Т.И. Курс физики: Учеб. Пособие: для вузов.– 5-е изд., стер.– М.: Высш. шк., 1998.
3. Детлаф А. А., Яворский Б. М. Курс физики: Учеб. пособие для вузов.– 2-е изд., испр. и доп.– М.: Высш. шк., 1999.
4. Иродов И. Е. Волновые процессы. Основные законы: Учеб пособие для вузов.–М.: Лаборатория базовых знаний, 1999.
5. Иродов И. Е. Задачи по общей физике. – 5-е изд., испр. –М.: Лаборатория базовых знаний, 2003.
6. Чертов А.Г., Воробьев А.А. Задачник по физике. – 7-е изд., перераб. и доп. –М: Изд-во физ.-мат. лит-ры, 2003.

Кафедра физики

Кафедра Физики как общеобразовательная кафедра университета обеспечивает преподавание курса общей физики по двум (стандартной и расширенной) учебным программам в количестве 324 и 500 аудиторных часов для всех дневных факультетов, а также заочного и вечернего отделений. Лекции, практические и лабораторные занятия проводятся в течение 1-4 семестров на 1 и 2 курсах и заканчиваются сдачей зачетов и экзаменов в конце каждого семестра. Также на кафедре физики разработаны и реализуются специализированные дисциплины для студентов старших курсов – физика низких температур, биофизика, специальные и дополнительные главы физики.

Кафедра оснащена учебно-лабораторным оборудованием по всем разделам физики и имеет, помимо традиционных, специализированные компьютеризированные учебные лаборатории по электромагнетизму, колебательным процессам, волновой и квантовой оптике, физике низких температур.

В 2011 г. в соответствии с приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 18.08.2011 г. № 2209 произошло объединение Санкт-Петербургского национального исследовательского университета информационных технологий, механики и оптики (Университет ИТМО) и Санкт-Петербургского государственного университета низкотемпературных и пищевых технологий (СПбГУНиПТ). После реорганизации в структуре Университета ИТМО с 01.01.2012 г. по 31.08.2015 г. функционировали две кафедры физики: 1) физики-1, заведующий д.т.н., профессор Стафеев Сергей Константинович; 2) физики-2, заведующий д.т.н., профессор Баранов Игорь Владимирович. С 01.09.2015 г. с целью оптимизации образовательного процесса вышеуказанные кафедры объединены в единую кафедру Физики.

Учитывая богатую и плодотворную историю педагогической и научной работы кафедр физики Университета ИТМО и СПбГУНиПТ, ниже представлена краткая историческая справка об их развитии образовательной и научной деятельности.

Кафедра физики Университета ИТМО (1930-2011 гг.).

Преподавание физики как учебной дисциплины велось в Ремесленном училище цесаревича Николая всегда с момента его создания. Механико-оптическое и часовое отделение, а затем — Техникум точной механики и оптики имели в своем составе Физический кабинет. Преподаванию дисциплины Физика для учащихся всегда уделялось большое внимание. В 1930 году при организации вуза — Ленинградского института точной механики и оптики — была организована кафедра Физики как одна из общеобразовательных кафедр.

Организатором и первым заведующим кафедрой Физики явился профессор А.П. Ющенко. Затем в довоенные годы кафедру возглавляли: профессора В.Ф. Трояновский, Л.С. Полак. С 1935 года кафедру возглавил известный специалист в области рентгенометрии профессор И.В. Поройков.

В эвакуации в г. Черепаново Новосибирской области кафедру Физики возглавил известный ученый, сотрудник Всесоюзного научно-исследовательского института метрологии (ВНИИМ), занимавшийся дозиметрией и метрологией рентгеновских лучей, профессор К.К. Аглинцев.

С 1945 года кафедру Физики возглавил крупный специалист в области рентгенографии и физики твердого тела профессор Д.Б. Гогоберидзе. В 1946 году профессор Д.Б. Гогоберидзе стал первым деканом нового Инженерно-физического факультета.

Во второй половине 1940-ых годов на кафедре работал выдающийся советский физик-теоретик, член-корреспондент Академии наук СССР Я.И. Френкель. Впоследствии кафедру Физики возглавляли: основоположник теплофизической школы ЛИТМО профессор Г.М. Кондратьев, профессор Н.А. Толстой, доцент С.В. Андреев, доцент А.Ф. Бегункова, профессор А.Я. Вятский и профессор Н.А. Ярышев.

В течение 16 лет с 1957 по 1973 г. под руководством доктора физико-математических наук, профессора А.Я. Вяткина на кафедре было сформулировано научное направление по исследованию физики взаимодействия электронных пучков с веществом.

С 1973 года на кафедре под руководством профессора Н.А. Ярышева получили развитие научные исследования в области теплофизики, в частности, изучение нестационарной теплопроводности и теплотрии.

В 1987 году сотрудником кафедры стал С.А. Козлов (ныне декан факультета фотоники и оптоинформатики), Лауреат премии Ленинского комсомола по науке и технике, в 1998 году им была открыта лаборатория волновых процессов.

С конца XX века на кафедре проводится комплексная работа по совершенствованию всего учебного процесса, включая создание фронтальных компьютеризированных учебных лабораторий, банков контроля и проверки усвоения знаний, подготовку программно-методического обеспечения по дистанционному обучению студентов через компьютерные сети RUNNET и INTERNET. В этих учебно-и научно-методических направлениях деятельности кафедры принимали активное участие ведущие сотрудники кафедры доценты С.К. Стафеев (ныне профессор, декан естественнонаучного факультета), Ю.Л. Колесников (ныне профессор, проректор по учебно-организационной и административной деятельности), А.В. Смирнов, А.А. Королев, Г.Л. Башнина, ст.преподаватель С.А. Соболева (ныне С.А.Курашова).

С 2000 по 2015 годы кафедрой заведовал профессор, декан естественнонаучного факультета С.К. Стафеев. Под его руководством было сформировано научное направление, связанное с оптическими методами неразрушающего контроля, сотрудники кафедры А.А. Зинчик, Я.А. Музыченко подготовили и защитили кандидатские диссертации. С.К.Стафеев является организатором и научным руководителем первой в России интерактивной образовательной экспозиция "Музей оптики", созданной в рамках инновационной образовательной программы Национального исследовательского университета информационных технологий, механики и оптики. Расположена экспозиция на стрелке Васильевского острова, на первом этаже бывшего дома купца Елисеева. Знакомит с широким кругом применений оптических и оптико-информационных технологий, стимулирует дальнейшее изучение оптики. Главная цель Музея оптики — не только произвести впечатление, но и помочь в обучении школьникам и студентам профильных вузов. Для этого действуют залы практикумов и демонстраций.

Также С.К. Стафеев является куратором выставки Magicoflight (Магия света) проходящей с России в рамках в рамках международного Года света, проводимого в 2015 г. в соответствии с решением Генеральной Ассамблеи ООН.

Кафедра физики СПбГУНиПТ (1931-2011 гг.).

В составе Университета низкотемпературных и пищевых технологий кафедра физики существовала с момента его основания в 1931 г. и обеспечивала фундаментальную общенаучную подготовку инженеров по всем специальностям.

Кафедрой руководили известные в СССР и России ученые, авторы многочисленных научных работ, монографий, учебников и учебных пособий по физике: доцент А.Н. Святозаров (1931 – 1942 гг.), профессор Л.М. Розенфельд (1942-1949 гг.), доцент Е.А. Штрауф (1949-1959 гг.), доцент К.В. Струве (1960-1968 гг.), профессор Н.В. Солнцев (1969-1975 гг.), заслуженный деятель науки РФ профессор Е.С. Платунов (1975-2002 гг.), профессор С.Е. Буравой (2002-2010 гг.), профессор И.В. Баранов (2010-2011 гг.).

В 1976-1985 гг. по инициативе заведующего кафедрой Е.С. Платунова коллективом кафедры была осуществлена коренная реконструкция учебно-лабораторной базы. Была переосмыслена логика проведения лабораторных и практических занятий и их связь с лекционной теоретической частью курса. В основу реорганизации была положена идея системного объединения всех видов занятий в логически обоснованную схему фронтального обучения «лекция – практическое занятие – лабораторная работа». Было создано 5 оригинальных учебных лабораторий стендового типа, охватывающих основные разделы курса: 1) Лаборатория физической механики (авторы - профессор Е.С. Платунов, доценты В.В. Курепин, З.В. Сигалова, старший преподаватель Л.В. Соколова); 2) Лаборатория термодинамики и молекулярной физики (Е.С. Платунов, В.В. Курепин, З.В. Сигалова); 3) Лаборатория электромагнетизма (доценты Д.Ю. Иванов, Э.Л. Китанина, А.Ф. Костко, С.М. Бунин); 4) Лаборатория оптики и атомной физики (доценты Л.С. Крайнова, С.Е. Буравой, В.А. Самолетов, преподаватели В.А. Павлов, В.А. Рыков); 5) Лаборатория физики твердого тела (доцент В.И. Соловьев, профессор Н.В. Солнцев, доцент В.М. Козин).

Каждая лаборатория имеет в своем составе 15 стендов, рассчитанных на проведение от 10 до 20 различных лабораторных работ по всем основным темам соответствующего раздела курса. Многие лабораторные работы отличаются оригинальным содержанием и не имеют аналогов в других учебных заведениях. Стенды оснащены современными приборами (цифровыми вольтметрами, лазерами, монохроматорами и т. п.).

Преподавателями кафедры был выполнен большой объем методической работы: составлено и издано около 100 новых оригинальных методических указаний по выполнению лабораторных работ, В.В. Курепиным, И.В. Барановым и В.Е. Куцаковой разработано пособие по оценке погрешностей в лабораторных работах, выдержавшее более 5 изданий.

В 1995-2005 гг. профессором Е.С. Платуновым подготовлено и дважды издано учебное пособие по курсу общей физики в четырех томах общим объемом около 80 печ. листов.

В 2002 – 2006 гг. для студентов, обучающихся по специальности «Техника и физика низких температур», и магистров всех специальностей создана не имеющая аналогов учебно-исследовательская лаборатория «Физика низких температур» (авторы

проф. Е.С. Платунов, проф. И.В. Баранов, проф. В.В. Курепин, доценты В.М. Козин, С.С. Прошкин). Авторским коллективом (Е.С. Платунов, И.В. Баранов, Е.В. Тамбулатова, А.Е. Платунов) издано учебное пособие для этой лаборатории с аналогичным названием. Лаборатория оснащена 15 автоматизированными стендами каждый из которых позволяет выполнить 13 лабораторных работ по изучению физических свойств веществ в области температур от минус 196 °С до 100 °С.

В 2002 – 2004 гг. преподавателями кафедры С.С. Прошкиным, Н.В. Нименским, В.А. Самолетовым подготовлено и издано учебное пособие «Сборник задач» с методическими указаниями и примерами решения. Сборник содержит около 1700 задач в трех книгах по разделам «Молекулярная физика и термодинамика», «Электродинамика и электромагнитные волны», «Квантовая физика».

Сотрудниками кафедры (проф. Е.С. Платунов, проф. В.А. Самолетов, проф. С.Е. Буравой) подготовлен и дважды издан словарь-справочник «Физика», объемом 40 печ. листов. Доцентом С.С. Прошкиным подготовлено и издано в 2009 году учебное пособие «Физика. История и развитие» объемом около 40 печатных листов для студентов, обучающихся по специальности «Экономика и менеджмент», а также аспирантов и магистров всех специальностей.

На кафедре физики под руководством профессора Е.С. Платунова к началу 80-х годов прошлого столетия сложилась оригинальная самостоятельная научная школа теплофизиков-прибористов, получившая мировое признание и известность.

В 1977 г. при кафедре была открыта Отраслевая научная лаборатория динамических методов теплофизических измерений и приборов. Лаборатория стала базой для научного роста аспирантов и инженеров, формирования нового поколения преподавателей кафедры.

Совместно с ГСКБ теплофизического приборостроения (ГСКБ ТФП) за 15 лет функционирования лаборатории было создано более двадцати различных образцов приборов для изучения теплофизических свойств веществ, охватывающих в совокупности диапазон температур от 4,2 до 1200 К. Некоторые из них были приняты к промышленному производству и выпускались серийно на опытном производстве ГСКБ ТФП и на одном из заводов Казахстана вплоть до распада СССР в 1991 году. По своей методической сути эти разработки значительно превышали уровень таких известных фирм, как «Dynatech» (США), «Feuotron» (ФРГ), «Setaram» (Франция). Созданные приборы обладали большой производительностью, позволяя за один эксперимент изучать температурную зависимость измеряемых параметров (теплопроводность, теплоемкость, температуропроводность). В Советском Союзе основной объем информации о теплофизических свойствах твердых веществ в области от 200 до 700 К был получен на приборах, разработанных научной школой профессора Е.С. Платунова. Во многих научных и учебных лабораториях стран СНГ эти приборы успешно функционируют и в настоящее время.

По данной научной тематике к 1992 году было опубликовано свыше 150 статей, получено 40 авторских свидетельств на изобретения. Разработаны оригинальные методы исследования теплофизических свойств в области криогенных температур (от 4,2 до 300 К). Созданы средства измерения, не требовавшие специальных криостатирующих устройств, экспрессные по своей сути, что означало значительный прорыв в области техники низкотемпературного теплофизического эксперимента.

Сотрудниками кафедры проведены оригинальные исследования в области создания методов и средств неразрушающего контроля тепловых свойств материалов и

изделий. Эти разработки стали основой кандидатских диссертаций Е.А. Белова и Г.Я. Соколова.

В 1976 г. на кафедре развивалась научное направление, связанное с поиском методов построения уравнений состояния и расчетом свойств индивидуальных веществ идеальных газов, имеющих широкое применение в холодильной и криогенной технике. По результатам этих исследований были защищены 4 кандидатских и 2 докторские диссертации, опубликовано более 70 научных статей в отечественных и зарубежных журналах.

С 1992 года ведется поиск новых методов определения тепловых и влажностных характеристик разнообразных групп дисперсных влагосодержащих материалов в условиях их промерзания и размораживания. В настоящее время создан комплекс автоматизированных приборов, позволяющих изучать кинетику изменения энтальпии, дифференциальной теплоты плавления, теплопроводности и влагосодержания пищевых материалов животного и растительного происхождения в области температур от минус 30 °С до 40 °С, в условиях замораживания и размораживания продуктов, разработаны приборы, предназначенных для измерения интенсивности внутренних тепловых источников, непрерывно действующих в пищевых продуктах в условиях их производства и хранения.

При кафедре под руководством профессоров Е.С. Платунова и И.В. Баранова с 2008 г. функционирует научная лаборатория «Теплофизические измерения и приборы». В лаборатории создан комплекс методов автоматизированных приборов для изучения теплопроводности, теплоемкости, теплот структурных и фазовых переходов в различных веществах, в том числе в процессах замораживания, оттайки, исследуются свойства пищевых продуктов и конструкционных материалов холодильной и криогенной техники.

Коллективом преподавателей кафедры по этому направлению подготовлена к изданию фундаментальная монография «Теплофизические измерения», обобщающая исследования авторов за последние 30 лет.

С конца 60-х годов на кафедре проводятся экспериментальные и теоретические исследования фазовых переходов и критических явлений. Начало этим работам было положено исследованием гравитационного эффекта вблизи критической точки парообразования, проведенным доцентом Д.Ю. Ивановым. В 80-ые годы группой сотрудников кафедры были проведены работы по корреляционной спектроскопии многократно рассеянного света. По результатам этих исследований опубликована серия научных статей, сделано более 10 докладов на конференциях и защищена диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук. В 90-х годах совместно с одним из ведущих университетов Франции проводились исследования процессов нуклеации наночастиц в растворах. Совокупные результаты исследований критических явлений легли в основу докторской диссертации доцента Д.Ю. Ивановым (2001 г.) и его монографии «Критическое поведение неидеализированных систем».

Научные исследования в области фазовых переходов, предпереходных явлений и рассеяния света в сложных жидких системах успешно развивает доцент, кандидат физико-математических наук А.Ф. Костко. Во время многолетней стажировки в ведущих университетах США А.Ф. Костко совместно с американскими коллегами методами рассеяния света проводил исследования растворов полимеров, водных растворов электролитов, биогелей и лиотропных хромонических жидких кристаллов в широком диапазоне температур и давлений. Результаты этих исследований, проведенных А.Ф. Костко после 2000 года, опубликованы в 13 статьях в ведущих

международных научных журналах по физике и химии, а также доложены на 15 международных конференциях.

В течение двух десятилетий на кафедре физики под руководством проф. Б. А. Федорова развивается и находит широкое научное применение метод рентгеновского малоуглового рассеяния, который, как показала мировая практика, является одним из основных методов исследования структуры различных природных и синтетических материалов. Рентгеновской группой выполнены работы по развитию теории этого метода, а также по его практическому применению для описания наноструктур ряда неорганических объектов и биополимеров. Эти работы описаны в десятках статей, опубликованных в отечественных и зарубежных журналах.

На сегодня кафедра Физики — одна из крупнейших в университете — представляет собой динамично развивающийся творческий коллектив, способный решать масштабные задачи развития и подготовки инженерных и научно-педагогических кадров. В связи с реорганизацией и объединением кафедр с 1 сентября 2015 года кафедра Физики находится под руководством доктора технических наук, профессора Игоря Владимировича Баранова.

С 2010 г. Игорь Владимирович является членом докторского диссертационного Совета Д 212.234.01. Им опубликовано 57 научных и 7 учебно-методических работ. За последние 3 года издано: 21 научная работа и 2 учебно-методических работы, в том числе в соавторстве Барановым И.В. в 2010 г. издано учебное пособие “Теплофизические измерения” с грифом УМО по политехническому образованию. Баранов И.В. выступал с докладами на 25 международных и всероссийских научных конференциях. Баранов И.В. является с 2008 г. академиком Международной академии холода. Исполняет обязанности заместителя главного редактора научно-технического журнала “Вестник МАХ”.

В настоящее время коллектив кафедры включает в себя 30 преподавателей и 10 сотрудников учебно-вспомогательного персонала.

По руководством С.К.Стафеева на кафедре Физики в 2016 году открыта программа подготовки магистров по уникальному в России направлению Sciencecommunications.

Федоров Борис Александрович
Смирнов Александр Витальевич
Музыченко Яна Борисовна

Механика. Молекулярная физика. Термодинамика
Домашние задания по курсу общей физики (модули 1. и 2.)
Под общей редакцией профессора Б.А. Федорова

Редакционно-издательский отдел Университета ИТМО
Зав. отделом _____ Гусарова Н.Ф.
Подписано к печати _____
Заказ № _____

Компьютерная верстка и дизайн авторов

На лицевой стороне обложки изображена «птичка Хоттабыча». Перед клювом ставят стаканчик с водой и, наклоня «птичку», заставляют ее «попить». «Птичка» сначала выпрямится, а затем будет многократно наклоняться и окунать головку в воду. Процесс продолжается до тех пор, пока в стаканчике находится вода. К студентам: попробуйте объяснить принцип работы этого почти «вечного двигателя».

Отпечатано на ризографе Университета ИТМО
Тираж 100 экз.