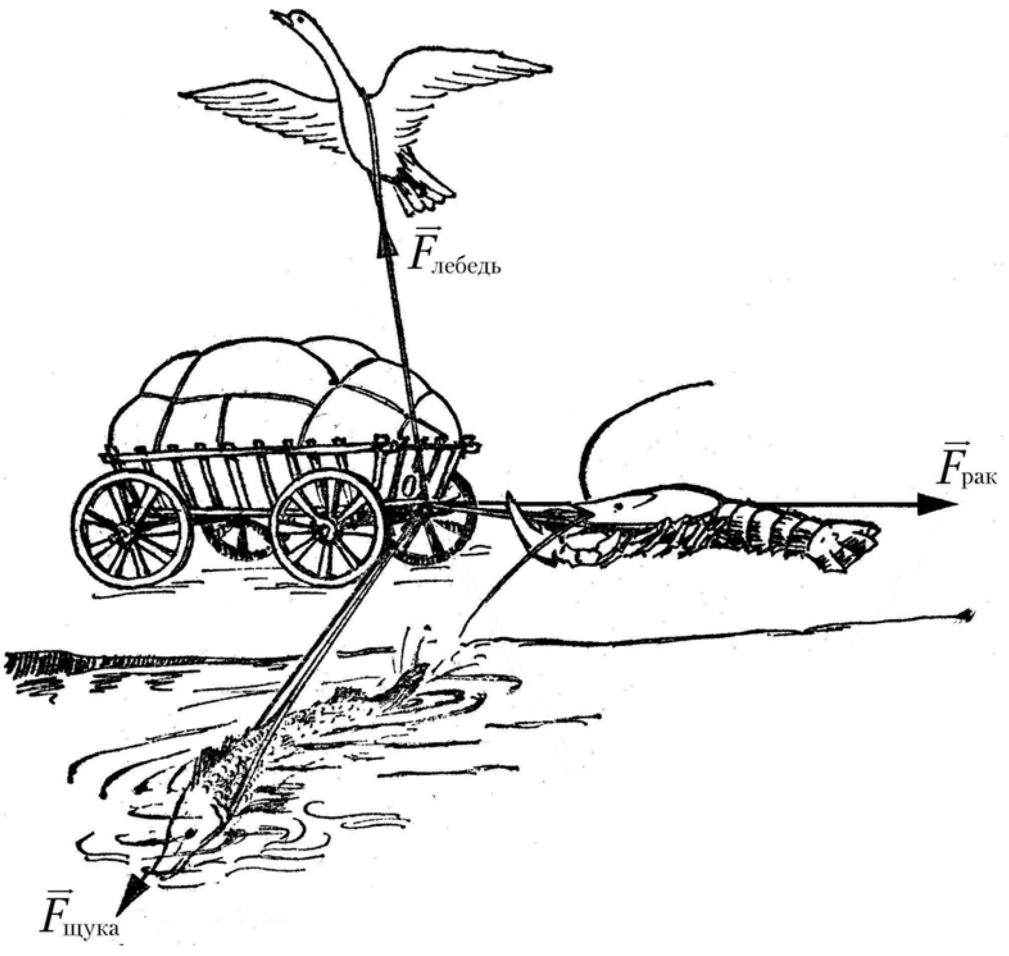
Б.А. Федоров
А.В. Смирнов
В.Л. Володькина

Механика. Молекулярная физика. Термодинамика

Домашние задания по курсу общей физики за первый семестр



Санкт-Петербург
2006

Министерство образования и науки РФ
Федеральное агентство по образованию

Санкт-Петербургский государственный университет
информационных технологий, механики и оптики

Б.А. Федоров
А.В. Смирнов
В.Л. Володькина

Механика. Молекулярная физика. Термодинамика

Домашние задания по курсу общей физики за первый семестр

Учебное пособие
Под общей редакцией Б. А. Федорова

Санкт-Петербург
2006

МЕХАНИКА. МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА. ТЕРМОДИНАМИКА
Домашние задания по курсу общей физики за первый семестр
Учебное пособие/ Под общей редакцией Б.А. Федорова
Б.А. Федоров, А.В. Смирнов, В.Л. Володькина.
СПб: СПбГУИТМО, 2006. 35 с.
Содержит условия задач домашнего задания по курсу общей физики за первый семестр. Предназначено для студентов первого курса всех технических специальностей.

Печатается в соответствии с решением Совета естественнонаучного факультета, протокол № 8 от 30.05.2006

Пособие соответствует утвержденной программе курса физики СПбГУИТМО. Предназначено для использования студентами 1-го курса.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение

Предлагаемые домашние задания основаны на курсе лекций по физике, читаемых студентам технических специальностей СПбГУИТМО в первом семестре первого курса. Задания разбиты на два этапа. Первый этап содержит задачи по механике, второй этап – задачи по молекулярной (статистической) физике и термодинамике.

Большинство задач представленного сборника являются достаточно 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 физически 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 оно имеет;
- рассчитав 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.

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 φ = 30° 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 м/с
φ = 30°
t = 2,0 с

d = ?

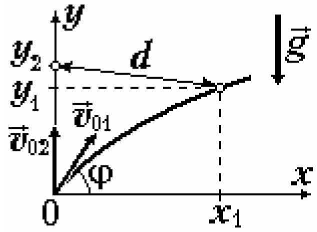


Рис. 1. К задаче 1П.

Решение. В прямоугольной системе координат $x0y$ (рис.1) координаты тел изменяются со временем t следующим образом:

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

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

Для текущего расстояния между телами справедливо соотношение

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

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

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

используя численные значения, находим:

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

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 μ = 0,10.

Дано:
l = const
μ = 0,10
t = min
φ = ?

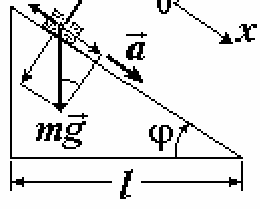


Рис.2. К задаче 2П.

Решение. На тело на наклонной плоскости действуют сила тяжести $m\vec{g}$, сила нормальной реакции опоры $\vec{N}$ и сила трения $\vec{F}_{тр}$ (рис. 2). Второй закон Ньютона для тела в проекциях на оси системы координат $x0y$ имеет вид :

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

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

$$F_{тр} = \mu N\ .$$

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

$$a = g\left(\sin\varphi - \mu\cos\varphi\right)\ . \qquad (5)$$

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

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

Тело движется равноускоренно без начальной скорости, поэтому $S = \frac{1}{2}at^2$. Используя соотношений (5) и (6), находим время движения:

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

Время движения минимально, если функция

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

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:

$$f'\left(\varphi\right) = \cos 2\varphi + \mu\sin 2\varphi = 0 \quad \Rightarrow \quad \mathrm{tg}\, 2\varphi = -\frac{1}{\mu} = -10\ .$$

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

Ответ: $\varphi = 48°$.

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:
$m_1 = 5$ кг
$m_2 = 2$ кг
$F = 50$ Н
?

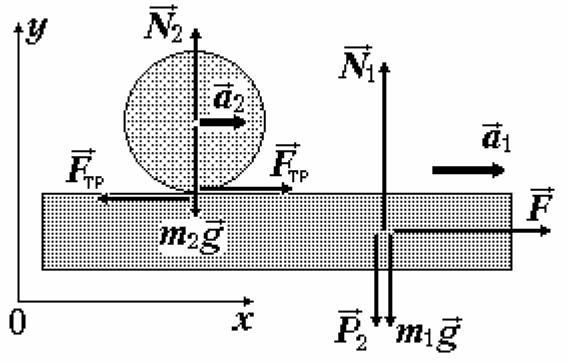


Рис. 3. К задаче 3П.

Решение.
Фиксируем систему координат $x0y$, 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 $0x$ находим:

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

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

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

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

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

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

$$I\beta = F_{\text{тр}}R, \text{ где } I = \tfrac{2}{5}m_2R^2. \qquad (12)$$

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:

$$F_{\text{тр}} = \tfrac{2}{5}m_2\left(a_1 - a_2\right). \qquad (13)$$

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

$$\begin{cases} m_1a_1 + m_2a_2 = F \\ a_1 - \tfrac{7}{2}a_2 = 0 \end{cases}.$$

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

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

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

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

Задача 4П. Кислород и азот находятся при температуре $t = 27$ °С. Определить скорость v молекул, при которой значение функции распределения Максвелла одинаково для обоих газов.

Дано:	*Перевод единиц*
$t = 27$ °С	$T = 300$ К
$\mu_1 = 32$ г/моль (молекулярный кислород)	$32 \cdot 10^{-3}$ кг/моль
$\mu_2 = 28$ г/моль (молекулярный азот)	$28 \cdot 10^{-3}$ кг/моль
$v = ?$	

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

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

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

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

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

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

Ответ: $v = 0{,}50$ 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:
$\eta_1 = V_2/V_1 = 3$
$\eta_2 = p_1/p_2 = 2$
$\nu = 1{,}5$ моль
$\Delta S = ?$

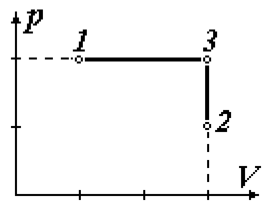


Рис. 4. К задаче 5П.

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

$c_p = \frac{i+2}{2}R$, где $i = 5$ (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:

$$\Delta S = \Delta S_{13} + \Delta S_{31} =$$

$$= \frac{\nu R}{2}\left[(i+2)\ln \eta_1 - i \ln \eta_2\right] = \frac{1,5 \cdot 8,31}{2}\left[7 \ln 3 - 5 \ln 2\right] = 26,3 = 26 \text{ Дж/ К}.$$

Ответ: $\Delta S = 26$ Дж/К.

Задача 6П. Эффективный диаметр молекул кислорода $d = 0,36$ нм. Определить его коэффициент теплопроводности κ при температуре $t = 17$ °С.

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

Решение. Для коэффициента теплопроводности выполняется следующее соотношение

$$\kappa = \frac{1}{3} c_{V\text{уд}} \rho \lambda \overline{v} , \qquad (14)$$

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

Удельную теплоемкость вычислим по формуле

$$c_{V\text{уд}} = \frac{i}{2}\frac{R}{\mu} . \qquad (15)$$

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):

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

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

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

где k – постоянная Больцмана.

Средняя скорость молекул определяется температурой и молярной массой газа:

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

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

$$\kappa = \frac{1}{3} \cdot \frac{i}{2} \frac{R}{\mu} \cdot \frac{p\mu}{RT} \cdot \frac{kT}{\sqrt{2}\pi d^2 p} \sqrt{\frac{8RT}{\pi\mu}} = \frac{ik}{3\pi d^2} \sqrt{\frac{RT}{\pi\mu}} =$$

$$= \frac{5 \cdot 1{,}38 \cdot 10^{-23}}{3 \cdot 3{,}14 \cdot \left(0{,}36 \cdot 10^{-9}\right)^2} \sqrt{\frac{8{,}31 \cdot 290}{3{,}14 \cdot 32 \cdot 10^{-3}}} = 8{,}75 \cdot 10^{-3} = 8{,}8 \text{ мВт/ (К·м)}.$$

Ответ: κ = 8,8 мВт/(К·м).

Варианты домашнего задания

Этап 1. «**Механика**»

Номер варианта	Номера задач							
1	1	14	26	37	43	51	55	62
2	2	15	27	38	42	52	56	61
3	3	16	28	33	39	53	54	58
4	4	17	29	40	45	50	51	57
5	5	18	30	41	49	53	55	60
6	6	19	25	31	44	49	57	59
7	7	13	20	32	46	52	55	59
8	8	21	26	30	36	37	48	54
9	9	22	28	34	38	44	50	62
10	10	23	35	39	43	49	53	58
11	11	24	27	35	40	45	47	60
12	12	14	20	25	28	41	48	57
13	2	12	16	29	36	42	46	56
14	1	13	15	22	30	34	47	54
15	3	17	21	31	37	50	51	61
16	4	11	18	32	38	44	52	58
17	5	19	26	34	36	39	43	56
18	6	23	29	33	40	48	49	59
19	7	14	19	30	35	42	47	54
20	8	16	21	27	31	41	46	60
21	9	10	22	32	38	44	51	61
22	11	17	20	30	37	45	49	62
23	1	9	23	33	39	43	48	55
24	2	12	24	27	32	50	56	58
25	6	7	25	26	40	45	53	57
26	4	10	12	13	18	34	46	60
27	8	14	24	29	42	47	51	61
28	1	5	16	31	35	41	49	54
29	6	10	15	17	36	39	48	57
30	8	13	18	36	40	47	55	62
31	9	11	20	26	34	38	44	58

Этап 2. «**Молекулярная физика. Термодинамика**»

Номер варианта	Номера задач							
1	63	66	73	77	86	88	95	105
2	64	67	80	82	89	97	110	117
3	65	68	78	83	85	90	107	118
4	69	76	84	85	91	104	106	119
5	70	79	87	92	101	108	112	122
6	71	81	93	103	110	115	117	123
7	72	75	80	87	96	109	111	122
8	63	74	77	85	94	102	107	120
9	66	73	78	89	95	105	108	118
10	65	67	81	90	98	106	114	119
11	68	74	79	93	99	109	111	123
12	69	76	84	86	100	104	113	121
13	64	70	82	88	94	108	116	124
14	71	75	83	85	91	99	112	125
15	72	76	86	92	96	105	113	120
16	63	69	77	83	92	97	105	115
17	64	68	79	93	100	110	116	121
18	65	66	78	87	90	103	107	120
19	67	80	82	89	95	102	109	114
20	70	81	84	91	104	106	113	125
21	71	80	87	98	101	108	116	124
22	72	77	86	94	102	109	114	122
23	73	78	82	88	93	95	110	119
24	63	74	79	85	96	103	117	123
25	64	66	76	83	88	99	105	118
26	65	75	77	84	89	101	112	121
27	67	81	90	97	98	107	111	124
28	68	75	91	100	104	108	115	125
29	69	74	94	101	1-3	109	114	118
30	70	73	85	92	96	105	112	122
31	71	72	84	97	98	107	113	120

Задачи

1. Ускорение материальной точки, движущейся по прямой, линейно возрастает и за время t_1 = 10 с с начала движения достигает значения

$a_1 = 10$ м/с^2. Определить скорость v точки в момент времени $t_2 = 5{,}0$ с и путь S, пройденный точкой к этому моменту времени.

Ответ: $v = 12{,}5$ м/с; $S = 21$ м.

2. Движение точки в плоскости XY описывается уравнением $\vec{r} = t^3\vec{i} + 3t^2\vec{j}$, где $\vec{i}$ и $\vec{j}$ - орты осей x и y. Определить величину скорости v и величину ускорения a этой точки в момент времени $t = 5{,}0$ с.

Ответ: $v = 81$ м/с; $a = 31$ м/с^2.

3. Точка движется по окружности с постоянным угловым ускорением $\varepsilon = 5{,}0$ рад/с^2 так, что через $t = 3{,}0$ с после начала движения полное ускорение точки $a = 10$ м/с^2. Определить радиус R окружности.

Ответ: $R = 4{,}4$ см.

4. Зависимость угла φ поворота диска от времени t задана уравнением $\varphi = bt^2$, $b = 0{,}50$ рад/с^2. Точка на ободе диска через $t_1 = 5{,}0$ с после начала движения имеет линейную скорость $v = 0{,}20$ м/с. Определить полное ускорение a точки в этот момент времени.

Ответ: $a = 1{,}0$ м/с^2.

5. Горизонтально брошенный мяч имеет начальную скорость $v = 5{,}0$ м/с. Определить радиус R кривизны его траектории через $t = 1{,}0$ с после начала движения.

Ответ: $R = 27$ м.

6. Мяч бросают с земли со скоростью $v = 10$ м/с под углом $\alpha = 45°$ к горизонту. С какой высоты h следует бросить мяч с той же начальной скоростью, но в горизонтальном направлении, чтобы он упал на то же место?

Ответ: $h = 5{,}1$ м.

7. Материальная точка начинает двигаться по окружности радиуса $R = 20$ см с постоянным тангенциальным ускорением, причем к концу третьего оборота ее линейная скорость $v = 20$ см/с. Определить нормальное ускорение a_n точки через $t = 5{,}0$ с после начала движения.

Ответ: $a_n = 3{,}5 \cdot 10^{-3}$ м/с^2.

8. При движении материальной точки по окружности радиуса $R = 5{,}0$ см зависимость пройденного пути S от времени t описывается уравнением $S = Ct^3$, $C = 0{,}20$ см/с^3. Определить нормальное a_n и тангенциальное a_τ ускорения точки в момент, когда ее линейная скорость $v = 10$ см/с.

Ответ: $a_n = 20$ см/с^2; $a_\tau = 5{,}0$ см/с^2

9. Скорость материальной точки, движущейся в положительном направлении оси x, меняется по закону $v = k\sqrt{x}$, ($k = 2\sqrt{м}$/с). При $t = 0$ координата точки $x = 0$. Определить скорость v и ускорение a точки в момент времени $t_1 = 5{,}0$ с.

Ответ: $v = 10$ м/с; $a = 2{,}0$ м/с^2

10. Пушка стреляет дважды, причем первый раз под углом $\alpha_1 = 60°$ к горизонту, второй – под углом $\alpha_2 = 30°$. Начальная скорость снарядов в обоих случаях одинакова и равна $v = 0{,}20$ км/с. Определить интервал времени Δt между выстрелами, при котором снаряды столкнутся. Сопротивлением воздуха пренебречь.

Ответ: $\Delta t = 15$ с.

11. Определить полное ускорение a точки, движущейся по окружности с постоянным тангенциальным ускорением $a_\tau = 10$ см/с^2, в тот момент, когда точка пройдет половину окружности после начала движения.

Ответ: $a = 0{,}64$ м/с^2.

12. Точка движется по окружности согласно закону $\varphi = a + bt - ct^3$ ($a = 0{,}50$ рад, $b = 5{,}0$ рад/с, $c = 1{,}0$ рад/с^3). Определить угловое ускорение β точки в момент ее остановки.

Ответ: $\beta = -7{,}8$ рад/с^2.

13. Центр шара, катящегося без скольжения по горизонтальной поверхности, движется с ускорением $a = 3$ см/с^2 (рис. 5). Радиус шара $R = 20$ см. Определить скорости и ускорения в точках A, B, C через $t = 10$ с после начала движения шара.

Ответ: $v_A = 0{,}60$ м/с; $v_B = 0$ м/с; $v_C = 0{,}42$ м/с;
$a_A = 0{,}45$ м/с^2; $a_B = 0{,}45$ м/с^2;
$a_C = 0{,}48$ м/с^2.

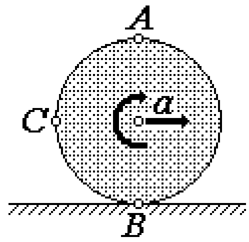


Рис. 5. К задаче 13.

14. Материальная точка массой $m = 1{,}0$ кг движется вдоль оси x под действием периодической силы $F = F_0 \cos\omega t$ ($F_0 = 10$ Н, $\omega = 1{,}0$ рад/с), также направленной вдоль оси x. Определить положение точки в момент времени $t = 3{,}14$ с, если при $t = 0$ ее координата $x = 0$ и скорость $v = 0$.

Ответ: $x = 20$ м.

15. Тела A, B и C с массами, соответственно, $m_A = 1{,}0$ кг, $m_B = 3{,}0$ кг и $m_C = 0{,}50$ кг соединены невесомыми нитями и расположены так, как показано на рисунке 6. Пренебрегая силами трения и массой блоков, определить ускорение a, с которым будут двигаться тела, и разность натяжения ΔT нитей слева и справа от

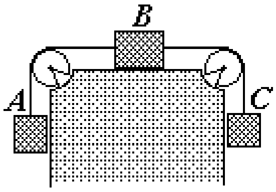


Рис. 6. К задаче 15

тела B.

Ответ: $a = 1{,}1$ м/с^2; $\Delta T = 3{,}3$ Н.

16. Грузы с массами $m_1 = 0{,}20$ кг и $m_2 = 0{,}40$ кг соединены нитью и расположены так, как показано на рисунке 7. Вся система грузов находится в лифте, который движется вверх с ускорением $a = 5{,}0$ м/с^2. Определить силу T натяжения нити, если $\mu = 0{,}3$ – коэффициент трения между грузом m_1 и столом. Массами нити и блока пренебречь.

Ответ: $T = 2{,}6$ Н.

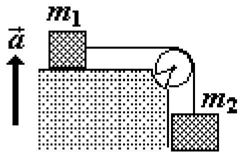


Рис. 7. К задаче 16.

17. Грузы с одинаковыми массами $m = 0{,}50$ кг соединены нитью и расположены так, как показано на рисунке 8. Определить силу давления F на ось блока, если $\mu = 0{,}3$ – коэффициент трения между наклонной плоскостью и лежащим на ней грузом, а угол плоскости с горизонтом $\alpha = 30°$. Нить и блок считать невесомыми, трением в оси блока пренебречь.

Ответ: $F = 7{,}5$ Н.

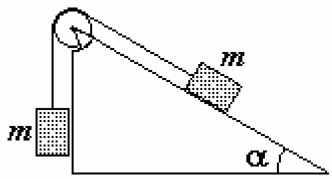


Рис. 8. К задаче 17.

18. Самосвал загрузили песком, и он начинает движение с постоянной силой тяги $F = 10^4$ Н. Через дырку в кузове самосвала на дорогу высыпается песок с постоянной скоростью $u = 5$ кг/с. Начальная масса самосвала с песком $M = 5$ т. Определить скорость v самосвала через $t = 10$ с.

Ответ: $v = 20$ м/с.

19. Пиротехническая ракета с начальной массой $m_0 = 1{,}0$ кг запущена вертикально вверх. Скорость (относительно ракеты) выброса продуктов сгорания $u = 0{,}12$ км/с, расход горючего $q = 0{,}1$ кг/с. Определить ускорение a ракеты через $t = 2{,}0$ с после запуска.

Ответ: $a = 5{,}2$ м/с^2.

20. Пиротехническая ракета с начальной массой $m_0 = 5{,}0$ кг запущена вертикально вверх. Скорость (относительно ракеты) выброса продуктов сгорания $u = 80$ м/с. Определить скорость ракеты через $t = 3{,}0$ с после запуска, если ее масса к этому моменту стала равной $m = 3{,}0$ кг.

Ответ: $v = 11$ м/с.

21. Два тела 1 и 2 одинаковой массы соединены легкой нерастяжимой нитью, перекинутой через блок, как показано на рисунке 9. С каким минимальным ускорением a следует двигать брусок A, чтобы оба

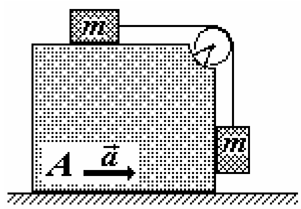


Рис. 9. К задаче 21.

тела оставались неподвижными относительно бруска? Коэффициент трения между бруском и обоими телами $\mu = 0{,}20$.

Ответ: $a = 6{,}5$ м/с^2.

22. Материальная точка, подвешенная на невесомой нити, совершает колебания в вертикальной плоскости. Определить максимальный угол α отклонения от положения равновесия, если при этом максимальном угле и при прохождении положения равновесия ускорения материальной точки равны по величине.

Ответ: $\alpha = 53°$.

23. Грузовик, описывая на горизонтальной площадке окружность радиуса $R = 50$ м, движется равноускоренно с постоянным тангенциальным ускорением $a_\tau = 0{,}50$ м/с^2. Между колесами и площадкой коэффициент трения скольжения $\mu = 0{,}20$. Какой путь S пройдет грузовик без скольжения, если его начальная скорость равна нулю?

Ответ: $S = 95$ м.

24. На подвесе вывесили нить массы $m = 10$ г и длины $l = 1{,}0$ м так, что ее нижний конец касается стола. Нить перерезали у самого подвеса, и она упала на стол. Определить величину импульса p, который нить передала столу.

Ответ: $p = 0{,}030$ Н·с.

25. По окружности радиуса $R = 20$ см движется материальная точка, кинетическая энергия которой зависит от пройденного пути S по закону $E_к = bS^2$, $b = 0{,}20$ кг/с^2. Определить силу F, действующую на материальную точку, когда пройденный путь $S = 2{,}0$ м.

Ответ: $F = 8{,}0$ Н.

26. Тело вначале скользит по наклонной плоскости высотой $h = 2{,}0$ м с углом наклона $\alpha = 45°$ к горизонту, а затем движется по горизонтальному участку. На всем пути движения коэффициент трения $\mu = 0{,}05$. Определить путь S, пройденный телом на горизонтальном участке.

Ответ: $S = 38$ м.

27. Двигаясь равноускоренно под гору с уклоном $\alpha = 5{,}0°$, поезд массой $M = 800$ т за $t = 0{,}50$ мин развивает скорость $v = 36$ км/ч. Определить среднюю мощность N локомотива, если коэффициент трения поезда $\mu = 0{,}10$.

Ответ: $N = 1{,}8$ МВт.

28. Тело массой $m = 1{,}5$ кг проходит путь S, зависящий от времени t согласно уравнению $S = A - Bt + Ct^2 - Dt^3$ ($A = 1{,}0$ м, $B = 5{,}0$ м/с,

C = 3,0 м/с^2, D = 2,0 м/с^3). Определить мощность N, развиваемую действующей на тело силой, в момент времени t = 2,0 с.

Ответ: N = 0,46 кВт.

29. Материальная точки массой m = 1,0 кг начинает движение под действием силы $\vec{F} = 4t\vec{i} + 6t^3\vec{j}$, где $\vec{i}$ и $\vec{j}$ - орты координатных осей. Определить мощность N, развиваемую силой в момент времени t = 2,0 с.

Ответ: N = 1,2 кВт.

30. Двигаясь по окружности радиуса R = 15 см с постоянным тангенциальным ускорением a_τ , тело массой m =50 г совершило N =5 оборотов и приобрело кинетическую энергию $E_к$ =10 мДж. Определить тангенциальное ускорение a_τ .

Ответ: a_τ = 4,2 см/с^2.

31. На чашу пружинных весов жесткостью k =25 Н/см падает тело массой m = 5,0 кг с высоты h = 0,60 м. Определить максимальную величину сжатия $x_{\max}$ пружины весов. Массой чаши пренебречь.

Ответ: $x_{\max}$ = 17 см.

32. В результате центрального абсолютно упругого столкновении двух шаров, один из которых был неподвижным, скорость движущегося шара уменьшилась в n = 2,0 раза. Определить отношение N масс m_1/m_2 шаров.

Ответ: m_1/m_2 = 3.

33. В результате центрального абсолютно упругого столкновении двух шаров, один из которых был неподвижным, скорость движущегося шара уменьшилась в n = 2,0 раза. Движущийся шар до столкновения обладал кинетической энергией $E_{к1}$ = 500 Дж. Определить кинетическую энергию $E'_{к2}$ другого шара после столкновения.

Ответ: $E'_{к2}$ = 375 Дж.

34. Два шара массами m_1 = 5,0 кг и m_2 = 8,0 кг подвешены на нитях одинаковой длины l = 2,0 м в одной точке. Шар меньшей массы отвели на угол α = 45° от вертикали и отпустили. Определить, на какую высоту h поднимутся шары, если их столкновение центральное и абсолютно неупругое.

Ответ: h = 8,7 см.

35. Два шара массами m_1 =3,0 кг и m_2 = 5,0 кг подвешены на нитях одинаковой длины l = 2,5 м в одной точке. Шар меньшей массы отвели на угол α = 60° от вертикали и отпустили. Определить, на какую высоту h

поднимется второй шар, если их столкновение центральное и абсолютно упругое.

Ответ: h = 70 см.

36. Движущийся шар налетает на покоящийся шар такой же массы. Удар абсолютно упругий, но не центральный. Определить угол α между направлениями скоростей шаров после удара .

Ответ: $\alpha = 90°$.

37. 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 μ = 0,60. Определить минимальную скорость $v_{\min}$, при которой, не сваливаясь, может двигаться мотоциклист.

Ответ: $v_{\min}$ = 14 м/с.

38. В вертикальной плоскости вращается груз, привязанный к нити длиной l = 70 см. Известно, что нить разрывается при силе натяжении, равной пятикратной силе тяжести груза. Определить угловую скорость ω вращения груза в момент разрыва нити.

Ответ: ω = 7,5 рад/с/

39. В вертикальной плоскости равномерно вращается груз. Определить массу груза, если разность между максимальной и минимальной силами натяжения нити ΔT = 20 Н.

Ответ: m = 1,0 кг.

40. В горизонтальной плоскости груз, привязанный к нити длиной l = 50 см, равномерно вращаясь, описывает окружность радиуса R = 20 см. Определить угловую скорость ω вращения груза.

Ответ: ω = 4,6 рад/с.

41. Тонкий однородный стержень имеет массу m = 5,0 кг и длину l = 2,0 м. Определить его момент инерции J относительно оси, перпендикулярной стержню и отстоящей от его середины на расстоянии $l_1 = l/5$ (рис.10).

Ответ: J = 2,5 кг·м^2.

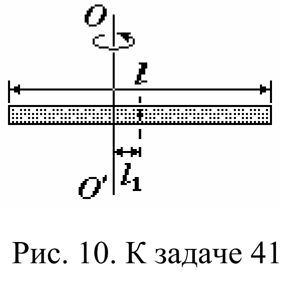


Рис. 10. К задаче 41.

42. Сплошной однородный цилиндр массой m = 1,0 кг катится без проскальзывания, ударяется о стенку со скоростью v_1 = 1,5 м/с и откатывается от нее со скоростью v_2 = 1,1 м/с. Определить количество теплоты Q, выделившееся при ударе.

Ответ: Q = 0,78 Дж.

43. С наклонной плоскости, образующей угол $\alpha = 30°$ с горизонтом, скатывается без скольжения обруч. Определить линейное ускорение a центра обруча.

Ответ: a = 2,5 м/с^2.

44. Однородный шар скатывается без скольжения с наклонной плоскости, образующей угол $\alpha = 45°$ с горизонтом. Определить время t скатывания, если длина наклонной плоскости l = 2,0 м. Силами трения пренебречь.

Ответ: t = 0,90 с.

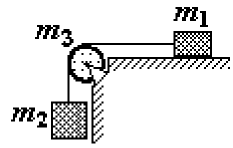


Рис. 11. К задаче 45.

45. Два тела массами m_1 = 0,30 кг и m_2 = 0,50 кг соединены невесомой нитью, перекинутой через блок в виде тонкостенного цилиндра массой m_3 = 0,10 кг (рис. 11). Первое тело скользит по горизонтальной поверхности стола; коэффициент трения μ = 0,30. Определить силы натяжения нити T_1 и T_2 по обе стороны блока, а также величину a ускорения этих тел.

Ответ: T_1 = 2,2 Н ;T_2 = 2,7 Н ; a = 4,5 м/с^2.

46. Горизонтальная платформа в виде однородного диска радиуса R = 2,0 м и массы M = 200 кг вращается без трения с частотой n_1 = 5,0 мин$^{-1}$ вокруг вертикальной оси, проходящей через центр диска,. На краю платформы стоит человек массой m = 65 кг. Определить работу A, совершаемую человеком при переходе от края платформы к ее центру.

Ответ: A = 59 Дж.

47. Груз массы m = 0,40 кг привязан к концу шнура, намотанного на барабан радиусом R = 30 см. Момент инерции барабана J = 0,30 кг·м^2. Определить время t, за которое груз опустится на расстояние h = 1,5 м с начала вращения барабана.

Ответ: t = 1,7 с.

48. Велосипедист массы M = 50 кг скатывается по наклонной дорожке и делает «мертвую петлю» радиуса R = 3,5 м. Определить минимальную высоту h, с которой должен съехать велосипедист, чтобы не оторваться от дорожки в верхней точке петли. Масса велосипеда m = 15 кг, причем на колеса приходится масса m_0 = 4,0 кг. Колеса считать обручами.

Ответ: h = 9,0 м.

49. Верхний конец однородного стержня длиной l = 1,0 м подвешен на горизонтальной оси. Какую минимальную скорость v надо сообщить нижнему концу стержня, чтобы он совершил полный оборот?

Ответ: v = 7,7 м/с.

50. На закрепленную горизонтальную поверхность положили однородный диск радиуса R = 20 см, раскрученный предварительно до угловой скорости ω = 10 рад/с. Определить время t вращения диска на поверхности, если коэффициент трения диска о поверхность равен μ = 0,10?

Ответ: t = 1,5 с.

51. Однородный сплошной цилиндр радиуса R = 6,0 см и массы М = 0,40 кг способен вращаться без трения вокруг горизонтальной оси. Через цилиндр перекинута невесомая нить, к концам которой прикреплены грузы с массами m_1 = 0,80 кг и m_2 = 0,50 кг. Определить угловое ускорение β цилиндра и отношение T_1/T_2 натяжений нити. Скольжение нити относительно цилиндра отсутствует.

Ответ: β = 33 рад/с^2; T_1/T_2 = 1,1.

52. Момент силы, действующий на вращающийся маховик, пропорционален корню квадратному от его угловой скорости ω. Определить среднюю угловую скорость $\overline{\omega}$ маховика за все время торможения, если его начальная угловая скорость ω_0 = 30 рад/с.

Ответ: $\overline{\omega}$ = 10 рад/с.

53. Определить момент инерции тонкого сферического слоя массы m = 1,0 кг и радиуса R = 3,0 м относительно оси, проходящей через его центр. Формулу для момента инерции однородного шара считать известной.

Ответ: J = 6,0 кг·м^2.

54. Комета Галлея появляется в Солнечной системе раз в 76 лет и проходит на минимальном расстоянии $R_1 = 1{,}8\cdot10^{11}$ м от Солнца. Если принять радиус орбиты Земли $R = 1{,}5\cdot10^{11}$ м, то определите, на какое максимальное расстояние R_2 удаляется комета от Солнца.

Ответ: $R_2 = 5{,}2\cdot10^{12}$ м.

55. Спутник Земли движется по круговой орбите, и его период обращения T =1 ч 40 мин. На какой высоте h от поверхности Земли вращается спутник?

Ответ: h = 0,76 Мм.

56. При вращении двух звезд («белых карликов») массами $m_1 = 7\cdot10^{30}$ кг и $m_2 = 3\cdot10^{30}$ кг относительно их центра масс расстояние между звездами R = 2,0 Гм остается неизменным. Определить угловую скорость ω вращения звезд. Размерами звезд пренебречь.

Ответ проверить: $\omega = 2{,}9\cdot10^{-4}$ рад/с

57. Стационарный спутник связи постоянно находится над одной и той же точкой экватора. Определить его высоту h над поверхностью Земли.

Ответ: h = 36 Мм.

58. Длительность процесса для подвижного наблюдателя отличается от длительности того же процесса для неподвижного наблюдателя на κ = 0,50%. Определить скорость v подвижного наблюдателя.

Ответ: v = 30 Мм/с.

59. Определить расстояние S , которое пролетает π-мезон с момента рождения до распада, если время его жизни для неподвижного наблюдателя Δt = 4,4 мкс, а собственное время жизни $\Delta t'$ = 2,2 мкс. Воспользоваться инвариантностью интервала к преобразованию координат.

Ответ: S = 1,1 км.

60. Полная энергия движущейся частицы в n = 3,0 раза больше ее энергии покоя. Определить скорость v движения частицы.

Ответ: $v = 2{,}8 \cdot 10^8$ м/с.

61. Классический импульс частицы в n = 1,5 раза меньше ее релятивистского импульса. Определить скорость v движения частицы.

Ответ: $v = 2{,}2 \cdot 10^8$ м/с.

62. Какую работу необходимо совершить, чтобы увеличить скорость электрона от 0,40 с до 0,60 с ?

Ответ: $A = 1{,}3 \cdot 10^{-14}$ Дж.

63. Идеальный газ находится в сосуде объемом V = 0,50 л при температуре T = 300 К . Произошла утечка газа, и количество молекул в сосуде уменьшилось на $\Delta N = 5 \cdot 10^{18}$. Определить изменение давления Δp газа.

Ответ: p = 41 Па.

64. Определить количество частиц N_1 на единицу массы газообразного йода (I_2), у которого α = 30% молекул диссоциировало на атомы. Молярная масса молекулярного йода μ = 254 г/моль.

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

65. Азот адиабатически расширили в n = 4 раза. Во сколько раз η изменилось число ударов молекул азота на единицу площади поверхности стенки сосуда за единицу времени?

Ответ: η = 5,3.

66. Определить количество молекул N, содержащихся в m = 5,0 г идеального газа, если при нормальных условиях наиболее вероятная скорость молекул газа $v_{вер}$ = 500 м/с.

Ответ: $N = 1{,}7 \cdot 10^{23}$.

67. Молекулы азота имеют среднюю квадратичную скорость $v_{кв}$ и среднюю скорость $\bar{v}$, причем $v_{кв} - \bar{v}$ = 50 м/с. Определить температуру T газа.

Ответ: $T = 0{,}45 \cdot 10^3$ К.

68. Средняя арифметическая скорость молекул кислорода $\bar{v}$ = 0,45 км/с. Определить концентрацию молекул n при давлении p = 300 Па.

Ответ: $n = 7{,}1 \cdot 10^{22}$ 1/м^3.

69. Средняя арифметическая скорость молекул кислорода $\bar{v}$ = 0,45 км/с, плотность молекул $n = 5{,}0 \cdot 10^{24}$ 1/м^3. Определить давление p газа.

Ответ: p = 21 кПа.

70. Расширяясь изотермически, газ массой m = 8,0 г увеличил свой объем в n = 3 раза и совершил при этом работу A = 600 Дж. Определить наиболее вероятную скорость $v_{вер}$ молекул газа при этой температуре.

Ответ: $v_{вер}$ = 0,37 км/с.

71. Кислород адиабатически расширили так, что средняя скорость его молекул уменьшилась в n = 1,2 раза. Определить, во сколько раз увеличился объем газа.

Ответ: η = 2,5 .

72. Азот массой m = 10 г и температуры t = 0 °С изохорно нагрели так, что наиболее вероятная скорость его молекул увеличилась в n = 3 раза. Какое количество теплоты Q было сообщено газу?

Ответ: Q = 16 кДж.

73. Двум скоростям молекул кислорода v_1 = 200 м/с и v_2 = 400 м/с соответствуют одно и то же значение функции распределения Максвелла. Определить температуру T газа.

Ответ: T = 167 К.

74. Температуру азота повысили в η = 3 раза. Определить скорость v молекул азота, при которой значение функции распределения Максвелла осталось неизменным. Начальная температура газа t = 27 °С.

Ответ: v = 0,66 км/с.

75. Два инертных газа, гелий и радон, находятся в очень длинном вертикальном цилиндре, причем у основания цилиндра концентрация

радона в $\eta = 1000$ раз больше концентрации гелия. Определить высоту *h,* на которой концентрации молекул двух газов одинаковы. Температура газов по всей длине цилиндра равна $t = 0$ °С, ускорение свободного падения g считать постоянным. Молярная масса радона $\mu = 222$ г/моль.

Ответ: $h = 7{,}3$ км.

76. Молекулярный водород находится при температуре $t = 20$ °С и давлении $p = 0{,}70$ кПа. Эффективный диаметр молекул водорода $d = 0{,}28$ нм. Определить среднюю продолжительность τ свободного пробега его молекул.

Ответ: $\tau = 9{,}4$ нс.

77. В сосуде находится кислород при температуре $t = 0$ °С, средняя длина свободного пробега молекул $\lambda = 0{,}20$ мкм. После откачки части кислорода давление в сосуде составило $\eta = 80\%$ от своего начального значения. Определить среднее число z столкновений молекул за одну секунду после откачки. Температуру газа считать постоянной.

Ответ: $z = 1{,}7\cdot10^9$ 1/с.

78. Кислород находится при нормальных условиях. Определить среднее число столкновений z молекулы кислорода за одну секунду, если эффективный диаметр молекул $d = 3{,}5$ Å .

Ответ: $z = 6{,}14\cdot10^9$ 1/с.

79. При адиабатическом расширении объем кислорода возрос в $n = 3{,}0$ раза. Во сколько раз N уменьшилось число столкновений его молекул за единицу времени?

Ответ: $N = 3{,}7$.

80. При давлении $p = 100$ кПа и температуре $t = 0°$ С коэффициент вязкости кислорода $\eta = 19{,}1$ мкПа·с. Определить среднюю длину свободного пробега λ молекул кислорода при этих условиях.

Ответ: $\lambda = 96$ нм.

81. Расстояние между катодом и анодом в рентгеновской трубке $l = 0{,}45$ см., давление воздуха в трубке $p = 150$ мкПа, температура $t = 20$ °С. Эффективный диаметр молекул воздуха $d = 0{,}30$ нм. Определить, является ли вакуум в трубке высоким.

Ответ: Длина свободного пробега молекул $\lambda = 67$ м, вакуум – высокий.

82. Кислород находится под давлением $p = 5{,}0\cdot10^5$ Па при температуре $t = 0$ °С. Определить коэффициент диффузии D кислорода в этих условиях, если эффективный диаметр его молекул $d = 0{,}36$ нм.

Ответ: $D = 1{,}9\cdot10^{-6}$ м^2/с.

83. Площадка $S = 10$ см^2 перпендикулярна оси z. Вследствие диффузии через площадку проходит кислород, градиент плотности которого $d\rho/dz = 5$ кг/м^4. Температура газа $T = 300$ К , средняя длина свободного пробега молекул $\lambda = 2{,}0$ мкм. Определить массу m газа, прошедшего через площадку за время $t = 10$ с.

Ответ: $m = 15$ мг.

84. Коэффициент вязкости кислорода $\eta = 50$ мкПа·с. Определить его коэффициент теплопроводности при тех же условиях.

Ответ: $\kappa = 33$ мВт/(К·м).

85. В закрытой емкости объемом $V = 10$ л находится воздух при давлении $p_0 = 100$ кПа. В емкость добавили этиловый спирт (C_2H_5OH). Через некоторое время весь спирт испарился, и давление стало равным $p = 160$ кПа. Определить массу m добавленного спирта. Температуру воздуха и смеси считать неизменной и равной $T = 300$ К.

Ответ: $m = 11$ г.

86. Газообразный иод (I_2) массой $m = 3{,}0$ г заполняет замкнутый сосуд объемом $V = 1{,}0$ л. Молярная масса иода $\mu = 254$ г/моль. Определить степень диссоциации α молекул иода на атомы, если температура в сосуде $T = 900$°C и давление $p = 150$ кПа.

Ответ: $\alpha = 0{,}30$.

87. В замкнутый сосуд поместили кислород массой $m_1 = 20$ г и азот массой $m_2 = 30$ г. Температура смеси газов $T = 100$°C, давление в сосуде $p = 200$ кПа. Определить плотность ρ смеси.

Ответ: $\rho = 1{,}9$ кг/м^3.

88. Кислород, находящийся в замкнутом сосуде объемом $V = 15$ л, нагрели так, что его давление изменилось на $\Delta p = 200$ кПа. Какое количество теплоты Q сообщили газу?

Ответ: $Q = 7{,}5$ кДж.

89. На изобарное расширение молекулярного азота массой $m = 300$ г при давлении $p = 5$ МПа затрачена энергия $Q = 10$ кДж. Опрелить совершенную газом работу A.

Ответ: $A = 2{,}9$ кДж.

90. Какое количество теплоты необходимо сообщить кислороду, занимающему объем $V = 0{,}50$ л и находящемуся под давлением $p = 500$ кПа, чтобы увеличить его объем в $n = 3{,}0$ раза при изобарном процессе?

Ответ: $Q = 1{,}8$ кДж.

91. Какое количество теплоты необходимо сообщить азоту, занимающему объем $V = 0{,}50$ л и находящемуся под давлением $p = 300$ кПа, чтобы увеличить его давление в $n = 2{,}0$ раза при изохорном процессе?

Ответ: $Q = 0{,}38$ кДж.

92. При изотермическом сжатии идеального газа в $n = 2{,}5$ раза внешними силами совершена работа $A = 567$ кДж. Масса газа $m = 800$ г, его температура $t = 100°$ С. Определить, какой это газ.

Ответ: $\mu = 4{,}0$ г/моль (гелий).

93. Кислород, находящийся при температуре $t = 27°$ С, сначала изобарно охлаждают так, что его объем уменьшается в $n = 1{,}5$ раза, а затем изохорно нагревают до первоначальной температуры. Масса кислорода $m = 150$ г. Определить работу A, совершенную газом, и изменение ΔU его внутренней энергии.

Ответ: $A = -3{,}9$ кДж; $\Delta U = 0$.

94. Определить количество теплоты Q, сообщенное двухатомному газу при изобарном расширении, если газ совершил работу $A = 5{,}0$ кДж.

Ответ: $Q = 18$ кДж.

95. В результате адиабатического расширения объем V кислорода увеличился в $n = 3{,}0$ раза, а внутренняя энергия уменьшилась на 3 кДж. Найти массу m кислорода, если его начальная температура $T = 350$ К.

Ответ: $m = 37$ г.

96. Многоатомный газ объемом $V_1 = 0{,}5$ л и давлением $p_1 = 0{,}3$ МПа сначала адиабатически сжимают, а затем изохорно охлаждают до первоначальной температуры. Конечное давление газа $p_3 = 0{,}5$ МПа. Определить объем V_2 и давление p_2 после адиабатического сжатия. Учесть только поступательные и вращательные степени свободы молекул.

Ответ: $V_2 = 0{,}30$ л; $p_2 = 0{,}59$ МПа.

97. В замкнутый сосуд объемом $V = 3$ л поместили при нормальных условиях кислород и гелий одинаковой массы. Какое количество теплоты Q было сообщено смеси в процессе ее нагревания на $\Delta T = 150$ К?

Ответ: $Q = 0{,}27$ кДж.

98. Азот массой $m = 2{,}0$ г находится при нормальных условиях. После изобарного нагревания его объем стал равным $V_2 = 5{,}0$ л. Определить работу A газа при нагревании.

Ответ: $A = 0{,}34$ кДж.

99. Азот массой m = 2,0 г находится при нормальных условиях. После изобарного нагревания его объем стал равным V_2 = 5,0 л. Определить количество теплоты Q, полученное газом.

Ответ: Q = 1,2 кДж.

100. В вертикальном цилиндре под поршнем заключен кислород массой m = 5,0 г. Масса поршня M = 800 г, площадь его поперечного сечения S = 12 см^2. На сколько Δh поднимется поршень, если кислород нагреть на ΔT = 15 К ? Над поршнем находится воздух при нормальных условиях.

Ответ: Δh = 15 см.

101. В цилиндре объемом V = 0,20 л под поршнем заключен гремучий газ при температуре t = 27 °C и давлении p = 100 кПа. При резком сжатии гремучий газ взорвался. Определить температуру T, при которой произошел взрыв, если работа сжатия A' = 50 Дж.

Ответ: T = 600 К.

102. Необходимо сжать азот в n = 3,0 раза. Выберете способ сжатия – адиабатический или изотермический, - при котором будет совершена меньшая работа. Найдите отношение работ $A_{адиабат}/A_{изотерм}$.

Ответ: $A_{адиабат}/A_{изотерм}$ = 1,3.

103. Азот в количестве ν = 5 кмоль сжимают адиабатически. Определить увеличение температуры ΔT газа, если при сжатии была совершена работа A = 500 кДж.

Ответ: ΔT = 4,8 К.

104. Предположим, что процесс сжатия горючей смеси газов в цилиндрах двигателя внутреннего сгорания является адиабатическим, молекулы газа многоатомные и при сжатии объем газа уменьшается в n = 8,0 раз. Определить давление p_2 и температуру t_2 газа после сжатия, если до сжатия его давление p_1 = 100 кПа и температура t_1 = 120° С. Учесть только поступательные и вращательные степени свободы молекул.

Ответ: p_2 = 1,6 МПа; t_2 = 513 °С.

105. При изотермическом расширении идеального газа в количестве ν = 10 моль его энтропия возросла на ΔS = 150 Дж/К . Во сколько раз n увеличился объем газа?

Ответ: n = 6,1 .

106. Многоатомный газ в количестве ν = 5,0, моль изохорно нагревают так, что его температура увеличилась в n = 1,5 раза. Определить изменение энтропии ΔS газа. Учесть только поступательные и вращательные степени свободы молекул.

Ответ: ΔS = 51 Дж/К.

107. Двухатомный газ в количестве $\nu = 3{,}0$ моль изобарно нагревают так, что его температура увеличилась в $n = 3{,}0$ раза. Определить изменение энтропии ΔS газа.

Ответ: $\Delta S = 96$ Дж/К.

108. Определить общее изменение энтропии ΔS кислорода массой $m = 30$ г, если его сначала адиабатически расширить в $n = 3{,}0$ раза, а затем изобарно охладить до начального объема.

Ответ: $\Delta S = -30$ Дж/К.

109. Вода массой $m = 80$ г, находящаяся при температуре $t_1 = 0$ °С, нагревается и обращается в пар при температуре $t_2 = 100$ °С. Определить изменение энтропии ΔS при этом процессе. Удельная теплоемкость воды $c = 4{,}19$ кДж/(кг·К), удельная теплота парообразования $r = 2{,}26$ МДж/кг.

Ответ: $\Delta S = 0{,}59$ кДж/К.

110. Кислород находится при нормальных условиях и занимает объем $V = 200$ л. Определить изменение энтропии ΔS при его изотермическом расширении в $n = 5{,}0$ раз.

Ответ: $\Delta S = 0{,}12$ кДж/К.

111. При совершении цикла Карно двухатомным газом его объем в процессе адиабатического расширения увеличился в $n = 3$ раза. Определить КПД η цикла.

Ответ: $\eta = 56$ %.

112. Работающая по обратному циклу Карно холодильная машина за один цикл потребляет энергию $A = 40$ кДж. Температура холодильной камеры $t_2 = -18$ °С, температура наружного воздуха $t_1 = 20$ °С. Определить количество теплоты Q_1, переданное воздуху за один цикл работы машины и ее холодильный коэффициент ε.

Ответ: $Q_1 = 0{,}31$ МДж; $\varepsilon = 6{,}7$.

113. В кипятильнике и холодильнике находится вода при температуре, соответственно, $t_1 = 100$ °С и $t_2 = 0$ °С. Работающая по обратному циклу Карно холодильная машина, передавая тепло от холодильника кипятильнику, превратила в кипятильнике в пар $m_1 = 800$ г воды. Определить, какая масса m_2 воды заморозилась при этом в морозильнике. Удельная теплоты плавления льда $\lambda = 335$ кДж/кг, удельная теплота парообразования воды $r = 2{,}26$ МДж/кг.

Ответ: $m_2 = 4{,}0$ кг.

114. 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 = 8,0 раз. Определить максимальный коэффициент полезного действия η двигателя. Учесть только поступательные и вращательные степени свободы молекул.

Ответ: η = 0,5.

115. Газ совершает цикл Карно. При изотермическом расширении газа изменение его энтропии ΔS = 5,0 кДж/К, а разность температур между нагревателем и холодильником Δt = 90 °С. Определить работу A, совершаемую газом за один цикл.

Ответ: A = 0,45 МДж/К.

116. Работающую по циклу Карно тепловую машину с КПД η = 18% используют как холодильный агрегат при тех же температурах нагревателя и холодильника. Определить ее холодильный коэффициент ε.

Ответ: ε = 4,6 .

117. Объем кислорода массой m = 2,0 г сначала адиабатически увеличивают в n = 2,5 раза, а затем изобарно уменьшают до первоначального состояния. Определить изменение энтропии ΔS между конечным и начальным состояниями.

Ответ: ΔS = – 1,7 Дж/К.

118. Рассматривая азот как реальный газ, определите работу A сил притяжения между молекулами, если газ расширяется от объема V_1 = 3,0 л до объема V_2 = 8,0 л и масса азота m = 150 г. Константа Ван-дер-Ваальса a = 0,137 Н·м^4/моль^2 .

Ответ: A = – 0,82 кДж.

119. Запаянная стеклянная колба объемом V = 5,0 л, заполненная азотом в количестве ν = 3,0 моль, оказалась в космическом пространстве. Колба лопнула, и газ стал неограниченно расширяться. Рассматривая азот как реальный газ, определите изменение его температуры ΔT. Константа Ван-дер-Ваальса a = 0,137 Н·м^4/моль^2 .

Ответ: ΔT = – 6,6 К.

120. Рассматривая кислород как реальный газ, определите работу A газа при его изотермическом расширении от объема V_1 = 2,0 л до объема V_2 = 5,0 л. Количество кислорода ν = 10 моль, его температура T = 250 К. Константы Ван-дер-Ваальса для кислорода: a = 0,138 Н·м^4/моль^2, b = 3,17·10^{-5} м^3/моль.

Ответ: A = 17 кДж.

121. Рассматривая кислород как реальный газ, определите изменение внутренней энергии ΔU газа при его изотермическом расширении от объема $V_1 = 2{,}0$ л до объема $V_2 = 5{,}0$ л. Количество кислорода $\nu = 10$ моль, его температура $T = 250$ К. Константа Ван-дер-Ваальса для кислорода: $a = 0{,}138$ Н·м^4/моль^2.

Ответ: $\Delta U = 4{,}1$ кДж.

122. Рассчитать абсолютную ошибку $T_{ид} - T_{реал}$ в определении температуры аргона массой $m = 80$ г, занимающего объем $V = 120$ см^3 при давлении $p = 120$ МПа, если полагать газ не реальным, а идеальным. Константы Ван-дер-Ваальса для аргона: $a = 0{,}136$ Н·м^4/моль^2, $b = 3{,}22\ 10^{-5}$ м^3/моль.

Ответ: $T_{ид} - T_{реал} = 338$ К.

123. Рассчитать абсолютную ошибку $p_{ид} - p_{реал}$ в определении давления аргона массой $m = 80$ г, занимающего объем $V = 120$ см^3 при температуре $t = 150$ °С, если полагать газ не реальным, а идеальным. Константы Ван-дер-Ваальса для аргона: $a = 0{,}136$ Н·м^4/моль^2, $b = 3{,}22\ 10^{-5}$ м^3/моль.

Ответ: $p_{ид} - p_{реал} = -30$ МПа.

124. Азот в количестве $\nu = 1{,}0$ кмоль занимает объем $V = 0{,}30$ м^3 при давлении $p = 6{,}0$ МПа. При изохорном нагревании давление газа возросло в $n = 5{,}0$ раз. Определить, во сколько раз N увеличилась температура газа. Газ рассматривать как реальный. Константы Ван-дер-Ваальса для азота: $a = 0{,}137$ Н·м^4/моль^2.

Ответ: $N = 4{,}2$.

125. При расширении реального газа в количестве $\nu = 0{,}70$ кмоль от объема $V_1 = 800$ л до объема $V_2 = 1{,}2$ м^3 против сил притяжения молекул была совершена работа $A = 6{,}0$ кДж. Определить константу Ван-дер-Ваальса a для этого газа.

Ответ: $a = 0{,}029$ Н·м^4/моль^2.

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., переаб. и доп. –М: Изд-во физ.-мат. лит-ры, 2003.