

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
Федеральное агентство по образованию  
Государственное образовательное учреждение высшего образования  
**«Владимирский государственный университет  
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича  
Столетовых»**

Кафедра Общая и прикладная физика

## **МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ**

**Физика. Практические задания к разделам: механика, молекулярная  
физика и термодинамика.**

(электронный ресурс)

Владимир 2017

УДК 531/533+536

Составитель: Дмитриева Е.В.

Методическое пособие. «Физика. Практические задания к разделам: механика, молекулярная физика и термодинамика». (электронный ресурс) – Владимир: Изд-во ВлГУ, 2017.– 42 с.

Методическое пособие содержит теоретический материал и задачи по разделам физики: механика, молекулярная физика и термодинамика.

Пособие предназначено для студентов Центра профессионального образования инвалидов ВлГУ, а также студентов всех форм обучения, изучающих физику и может быть полезно преподавателям, ведущим курс физики.

Рецензент – профессор, доктор технических наук  
кафедры физики и прикладной математики ВлГУ Давыдов Н.Н.

## Оглавление

Введение.....	4
Темы практических занятий.....	4
Требования к решению и оформлению задач контрольной работы	5
<b>Раздел I. Механика.</b>	6
Тема 1. Кинематика.....	6
Тема 2. Динамика материальной точки и тела, движущихся поступательно.....	10
Тема 3. Динамика вращательного движения твердого тела .....	13
Тема 4. Работа. Энергия. Законы сохранения.....	16
Тема 5. Элементы механики жидкостей и газов.....	19
Тема 6. Элементы специальной теории относительности.....	21
<b>Раздел II. Молекулярная физика и термодинамика.</b>	24
Тема 7. Молекулярно-кинетическая теория идеального газа.....	24
Тема 8. Элементы классической статистики.....	27
Тема 9. Реальные газы.....	29
Тема 10. Элементы физической кинетики.....	32
Тема 11. Первое начало термодинамики.....	34
Тема 12. КПД тепловых двигателей. Энтропия.....	37
Таблица вариантов к контрольной работе.....	40
Приложение.....	40
Список использованной литературы.....	42

## **Введение**

Методическое пособие по физике предназначено как для аудиторной, так и для самостоятельной работы студентов Центра профессионального образования инвалидов (ЦПОИ) ВлГУ, а так же может быть использовано для работы со студентами всех инженерно-технических специальностей ВлГУ. Пособие разработано автором после многолетней работы со студентами ЦПОИ и апробировано в ходе проведения практических занятий по физике.

При составлении пособия использованы методические разработки и задачи авторов: Т.И.Трофимова, А.Г.Чертов, А.А.Воробьев, А.И.Черноуцан и др.

В пособие вошли задачи по разделам: «Механика», «Молекулярная физика и термодинамика». Все задачи снабжены ответами.

В начале каждой темы помещены основные законы и формулы, связанные с решением задач по данной теме. В приложении приведены таблицы с фундаментальными константами и различными физическими величинами, а также справочная информации, необходимая при решении задач.

После изучения каждой темы студенту рекомендуется воспроизвести по памяти основные понятия, определения, термины, формулировки законов, базовые формулы и, только после этого, приступать к решению задач. В случае необходимости надо еще раз вернуться к материалу лекции или учебника и повторить неясные вопросы.

Решение задач формирует навыки самостоятельного мышления студента.

### **Темы практических занятий.**

#### **Раздел I. Механика.**

Тема 1. Кинематика.

Тема 2. Динамика материальной точки и тела, движущихся поступательно.

Тема 3. Динамика вращательного движения твердого тела.

Тема 4. Работа. Энергия. Законы сохранения.

Тема 5. Элементы механики жидкостей и газов.

Тема 6. Элементы специальной теории относительности.

#### **Раздел II. Молекулярная физика и термодинамика.**

Тема 7. Молекулярно-кинетическая теория идеального газа.

Тема 8. Элементы классической статистики.

Тема 9. Реальные газы.

Тема 10. Элементы физической кинетики.

Тема 11. Первое начало термодинамики.

Тема 12. КПД тепловых двигателей. Энтропия.

### **Требования к решению и оформлению задач контрольной работы.**

Номер варианта определяется порядковым номером студента в учебном журнале.

1. Решение задач и оформление контрольной работы нужно выполнять в рукописной форме\* в отдельной тетради. На обложке тетради должна быть следующая информация:

<p>Контрольная работа по физике Выполнил студент гр.____ (ФИО) Вариант №____ Номера задач: (указать в порядке возрастания номера)</p>
---

Решения задач вносятся в тетрадь в порядке возрастания их номера по порядку.

2. Условие каждой задачи переписывается полностью без сокращений на новом развороте листа, начиная сверху. Обязательно проставляется номер задачи перед условием.

3. Условие задачи или его решение обязательно сопровождается рисунком (графиком, схемой, чертежом и т.д.), выполненным с помощью чертежных принадлежностей.

4. Решение задачи сопровождается краткими, но исчерпывающими пояснениями (названия каждого закона, названия физических величин, входящих в закон (в формулу).

5. Решать задачу надо в общем виде, т.е. выразить искомую величину в буквенных обозначениях величин, заданных в условии задачи. После получения расчетной формулы для проверки правильности ее следует вывести единицу измерения искомой физической величины. После этого осуществляются вычисления.

6. Числовые значения физических величин следует выражать только в единицах системы СИ.

7. В конце решения записывается ответ отдельной строкой.

8. Последовательность записи решений задач в тетрадь должна соответствовать указанному ряду номеров на обложке тетради.

\* – В случае невозможности оформления студентом контрольной работы в рукописной форме (при нарушениях зрения, координации движений) допускается ее оформление в печатной форме на листах формата А4.

## Раздел I. Механика.

### Тема 1. Кинематика.

#### Теоретическая часть.

Физическая величина	Обозначение	Единица измерения
Время	$t$	с (секунда)
Скорость	$\vec{v}$	м/с (метр/секунда)
Ускорение	$\vec{a}$	м/с <sup>2</sup> (метр/секунда <sup>2</sup> )
Путь	$S$	м (метр)
Перемещение	$\Delta\vec{r}$	м (метр)
Скорость угловая	$\vec{\omega}$	рад/с (радиан/секунда)
Ускорение угловое	$\vec{\varepsilon}$	рад/с <sup>2</sup> (радиан/секунда <sup>2</sup> )
Период вращения	$T$	с (секунда)
Частота вращения	$\nu$	с <sup>-1</sup> (секунда <sup>-1</sup> )

- Средняя скорость материальной точки:

$\langle \vec{v} \rangle = \frac{\Delta\vec{r}}{\Delta t}$ , где  $\Delta\vec{r}$  – приращение радиуса-вектора,  $\Delta t$  – промежуток времени.

- Мгновенная скорость материальной точки:

$\vec{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta\vec{r}}{\Delta t} = \frac{d\vec{r}}{dt}$ , где  $\frac{d\vec{r}}{dt}$  – первая производная от радиуса-вектора по времени.

- Модуль вектора скорости:

$|\vec{v}| = v = \frac{|d\vec{r}|}{dt} = \frac{dS}{dt}$ , где  $\frac{dS}{dt}$  – первая производная от пути по времени.

- Среднее ускорение материальной точки:

$\vec{a}_{cp} = \frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}$ , где  $\Delta\vec{v}$  – приращение вектора скорости,  $\Delta t$  – промежуток времени.

- Мгновенное ускорение материальной точки:

$$\vec{a} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \frac{d\vec{v}}{dt}, \text{ где } \frac{d\vec{v}}{dt} \text{ – первая производная от скорости по времени.}$$

	Вид движения	
	Поступательное равномерное	Поступательное равнопеременное
Ускорение	$a=0$	$a=const$
Скорость	$v = const$	$v = v_0 \pm at$
Пройденный путь	$S = v \cdot t$	$S = v_0 t \pm \frac{at^2}{2}$

- Угловая скорость:

$$\vec{\omega} = \frac{d\vec{\varphi}}{dt}, \text{ где } \frac{d\varphi}{dt} \text{ – первая производная от угла поворота } \varphi \text{ по времени } t.$$

- Угловое ускорение:

$$\vec{\varepsilon} = \frac{d\vec{\omega}}{dt}, \text{ где } \frac{d\omega}{dt} \text{ – первая производная от угловой скорости } \omega \text{ по времени.}$$

	Вид движения	
	Вращательное равномерное	Вращательное равнопеременное
Угловое ускорение	$\varepsilon = 0$	$\varepsilon = const$
Угловая скорость	$\omega = const$	$\omega = \omega_0 \pm \varepsilon t$
Угол поворота	$\varphi = \omega \cdot t$	$\varphi = \omega_0 t \pm \frac{\varepsilon t^2}{2}$

- Связь между линейными и угловыми кинематическими величинами:

$$v = \omega r, \text{ где } r \text{ – радиус кривизны в данной точке траектории.}$$

- Нормальная составляющая ускорения:

$$a_n = \frac{v^2}{r} = \omega^2 r.$$

- Тангенциальная составляющая ускорения:

$$a_\tau = \frac{dv}{dt} = r \varepsilon.$$

- Модуль полного ускорения:

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

- Период обращения:

$$T = \frac{1}{\nu} = \frac{2\pi}{\omega}, \text{ где } \nu - \text{ частота вращения.}$$

### Практическая часть.

1.1. Материальная точка двигалась в течение 15 с со скоростью 5 м/с, затем в течение 10 с со скоростью 8 м/с и затем в течение 6 с со скоростью 20 м/с. Определите среднюю путевую скорость точки. (*Ответ:* 8,87 м/с)

1.2. Двигаясь от стоянки равноускоренно, автомобиль за 10 с достигает скорости 20 м/с. Следующие 5 с он движется равномерно, а затем останавливается в течение 5 с, двигаясь с постоянным ускорением. Найдите путь автомобиля за все время движения. (*Ответ:* 250 м)

1.3 Движение материальной точки задано уравнением  $x=At+Bt^2$ , где  $A=4$  м/с,  $B=-0,05$  м/с<sup>2</sup>. Определите момент времени, в который скорость точки равна нулю. Найдите координату и ускорение точки в этот момент. Постройте графики зависимости координаты, скорости и ускорения точки от времени. (*Ответ:* 40 с, 80 м,  $-0,1$  м/с<sup>2</sup>)

1.4. Материальная точка движется в плоскости  $xu$  согласно уравнениям  $x=A_1+B_1t+C_1t^2$  и  $y=B_2t+C_2t^2$ , где  $B_1=7$  м/с,  $C_1=-2$  м/с<sup>2</sup>,  $B_2=-1$  м/с,  $C_2=4$  м/с<sup>2</sup>. Найдите модуль скорости материальной точки в момент времени 1 с. (*Ответ:* 7,6 м/с)

1.5. Тело свободно падает с высоты 500 м. Пренебрегая сопротивлением воздуха, определите, какой путь пройдет тело: а) за первую секунду падения, б) за пять секунд падения, в) время падения тела с указанной высоты. (*Ответ:* а) 5 м, б) 125 м, в) 10 с)

1.6. Камень, брошенный горизонтально с некоторой высоты вблизи земли, через время 10 с после начала движения имел скорость в 1,5 раза большую скорости в момент бросания. С какой начальной скоростью был брошен камень? (*Ответ:* 4,4 м/с)

1.7. С высоты 30 м в горизонтальном направлении брошено тело с начальной скоростью 10 м/с. Определите: а) скорость тела в момент падения на землю, б) угол между вектором скорости, в момент падения тела на землю, и горизонтом. (*Ответ:* а) 26,2 м/с, б)  $67,6^\circ$ )

1.8. Тело бросили с поверхности Земли под углом  $\alpha$  к горизонту с начальной скоростью  $v_0$ . Определите для этого тела: а) время движения, б) максимальную высоту подъема, в) дальность полета, г) при каком значении угла бросания максимальная высота подъема будет равна



дальности полета. Сопротивлением воздуха пренебречь. (Ответ:

а)  $t = \frac{2v_0 \sin \alpha}{g}$ , б)  $H = \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{2g}$ , в)  $L = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g}$ , г)  $76^\circ$ )

1.9. Тело брошено со скоростью 10 м/с под углом  $45^\circ$  к горизонту. Определите радиус кривизны траектории тела через время 1 с после начала движения. (Ответ: 6,3 м)

1.10. Радиус-вектор материальной точки изменяется со временем по закону  $\vec{r} = t^3 \cdot \vec{e}_x + 3t^2 \cdot \vec{e}_y$ , где  $\vec{e}_x$  и  $\vec{e}_y$  – орты осей  $x$  и  $y$ . Определите модуль скорости и модуль ускорения в момент времени 1 с. (Ответ: 6,7 м/с, 8,48 м/с<sup>2</sup>)

1.11. Радиус-вектор материальной точки изменяется со временем по закону  $\vec{r} = (10 - 5t^2) \cdot \vec{e}_x + 10t \cdot \vec{e}_y$ , где  $\vec{e}_x$  и  $\vec{e}_y$  – орты осей  $x$  и  $y$ . Для этой точки запишите функциональную зависимость от времени скорости  $v(t)$  и ускорения  $a(t)$ . Для момента времени 1 с вычислите: а) модуль скорости, б) модуль ускорения, в) модуль нормального ускорения, г) модуль тангенциального ускорения. Начертите траекторию точки. (Ответ: а) 14,1 м/с, б) 10 м/с<sup>2</sup>, в) 7,07 м/с<sup>2</sup>, г) 7,07 м/с<sup>2</sup>)

1.12. С какой угловой скоростью вращается колесо, если линейная скорость точек его обода равна 0,5 м/с, а линейная скорость точек, находящихся на 4 см ближе к оси вращения, равна 0,3 м/с? (Ответ: 5 рад/с)

1.13. Частота вращения колеса через время 1 мин после начала вращения равна 720 об/мин. Найти угловое ускорение колеса, полагая это движение равноускоренным. (Ответ: 1,26 рад/с<sup>2</sup>)

1.14. Колесо радиусом 10 см вращается так, что зависимость угла поворота радиуса колеса от времени дается уравнением  $\varphi = Vt + Ct^2$ , где  $V = 2$  рад/с,  $C = 1$  рад/с. Для точек, лежащих на ободу колеса, через время 2 с после начала движения, найдите: а) угловую скорость; б) модуль линейной скорости; в) угловое ускорение; г) модули тангенциального и нормального ускорения. (Ответ: а) 14 рад/с, б) 1,4 м/с, в) 12 рад/с<sup>2</sup>, г) 1,2 м/с<sup>2</sup>, 19,6 м/с<sup>2</sup>)

1.15. Колесо вращается с постоянным угловым ускорением 3 рад/с<sup>2</sup>. Через время 1 с после начала вращения полное ускорение, для точек лежащих на ободу колеса, составило 7,5 м/с<sup>2</sup>. Определите радиус колеса. (Ответ: 0,79 м)

Тема 2. Динамика материальной точки и тела, движущихся поступательно.

Теоретическая часть.

Физическая величина	Обозначение	Единица измерения
Сила	$\vec{F}$	Н (Ньютон)
Масса	$m$	кг (килограмм)
Импульс	$\vec{p}$	кг·м/с (килограмм·метр/секунда)

- Первый закон Ньютона:

$\sum_i^n \vec{F}_i = \vec{F}_p = 0 \Rightarrow \vec{v} = const$ , где  $\vec{F}_p$  – результирующая всех сил, действующих на тело.

- Второй закон Ньютона:

$$\vec{F} = m \frac{d\vec{v}}{dt} = m\vec{a}.$$

- Импульс тела:

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

- Теорема импульсов:

$$d\vec{p} = \vec{F} dt.$$

- Третий закон Ньютона:

векторная форма	скалярная форма
$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$	$F_{12} = F_{21}$

- Закон всемирного тяготения:

$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$ , где  $m_1, m_2$  – массы взаимодействующих тел,  $r$  – расстояние между центрами масс тел,  $G$  – универсальная гравитационная постоянная.

- Ускорение свободного падения на поверхности планеты:

$$g = G \frac{m_{\text{планеты}}}{R_{\text{планеты}}^2}.$$

- Первая космическая скорость:

$$v = \sqrt{G \frac{m_{\text{планеты}}}{R_{\text{планеты}}}}.$$

- Вес тела:

$P = mg$  – вес тела в состоянии покоя.

- Сила трения скольжения:

$F_{тр} = \mu N$ , где  $\mu$  – коэффициент трения скольжения,  $N$  – сила реакции опоры.

- Закон Гука:

$F_{упр} = k\Delta x$ , где  $k$  – коэффициент упругости тела (жесткость пружины),  $\Delta x$  – абсолютная деформация тела (пружины).

### Практическая часть.

2.1. Под действием постоянной силы 10 Н тело движется прямолинейно так, что зависимость пройденного телом пути от времени дается уравнением  $s = A - Bt + Ct^2$ . Найдите массу тела, если постоянная  $C = 1 \text{ м/с}^2$ . (Ответ: 4,9 кг)

2.2. Шайба, пущенная по поверхности льда с начальной скоростью 20 м/с, остановилась через 40 с. Найдите коэффициент трения шайбы о лед. (Ответ: 0,051)

2.3. Трамвай, трогаясь с места, движется с ускорением  $0,5 \text{ м/с}^2$ . Через время 12 с после начала движения мотор выключается и трамвай движется до остановки равнозамедленно. Коэффициент трения на всем пути 0,01. Найдите время движения трамвая с момента выключения мотора до остановки. Какой путь пройдет трамвай за все время движения? (Ответ: 73 с, 218 м)

2.4. Тело массы 500 г лежит на доске массы 1 кг, находящейся на гладкой горизонтальной поверхности. Коэффициент трения между телом и доской равен 0,5. Какую горизонтальную силу надо приложить к доске, чтобы она двигалась с ускорением  $4 \text{ м/с}^2$ ? (Ответ: 6 Н)

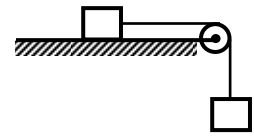
2.5. К нити подвешен груз массой 500 г. Определите силу натяжения нити, если нить с грузом: а) поднимать с ускорением  $2 \text{ м/с}^2$ , б) опускать с ускорением  $2 \text{ м/с}^2$ . (Ответ: а) 5,9 Н, б) 3,9 Н)

2.6. Тело движется по горизонтальной поверхности под действием силы 8 Н, направленной под углом  $45^\circ$  к горизонту. Найдите ускорение тела, если масса тела 1 кг, а коэффициент трения между телом и поверхностью равен 0,15. (Ответ:  $5 \text{ м/с}^2$ )

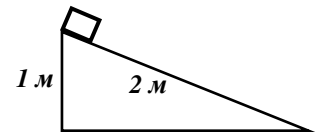
2.7. Два груза массами  $m_1 = 1 \text{ кг}$  и  $m_2 = 4 \text{ кг}$  связаны невесомой нитью и лежат на горизонтальной поверхности. К грузу  $m_1$  прикладывают горизонтально направленную силу 10 Н. Пренебрегая трением,

определите: а) ускорение грузов, б) силу натяжения нити. (Ответ: а)  $2 \text{ м/с}^2$ , б)  $8 \text{ Н}$ )

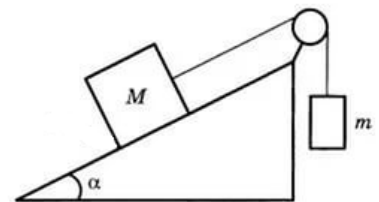
2.8. Невесомый блок укреплен на конце стола. Две гири одинаковой массы  $m_1=m_2=1 \text{ кг}$  соединены нитью, нить перекинута через блок (см. рисунок). Коэффициент трения гири с поверхностью стола  $0,1$ . Найдите: а) ускорение, с которым движутся гири, б) силу натяжения нити. Трением в блоке пренебречь. (Ответ: а)  $4,4 \text{ м/с}^2$ , б)  $5,4 \text{ Н}$ )



2.9. С вершины клина, длина которого  $2 \text{ м}$  и высота  $1 \text{ м}$ , начинает скользить небольшое тело (см. рисунок). Коэффициент трения между телом и клином  $0,15$ . Определите а) ускорение, с которым движется тело, б) время прохождения тела вдоль клина, в) скорость тела у основания клина. (Ответ: а)  $3,63 \text{ м/с}^2$ , б)  $1,05 \text{ с}$ , в)  $3,81 \text{ м/с}$ )



2.10. Невесомый блок укреплен в вершине наклонной плоскости, составляющей с горизонтом угол  $\alpha=20^\circ$  (см.рисунок). Грузы соединены нитью, перекинутой через блок. Массы грузов  $M=200 \text{ г}$  и  $m=150 \text{ г}$ . Найдите ускорение, с которым движутся грузы. Трением груза о наклонную плоскость и трением в блоке пренебречь. (Ответ:  $2,29 \text{ м/с}^2$ )



2.11. Расстояние между планетой Нептун и Солнцем в  $30$  раз больше, чем расстояние между Землей и Солнцем, а масса Нептуна в  $15$  раз больше массы Земли. Во сколько раз сила притяжения Солнца к Земле больше, чем Солнца к Нептуну? (Ответ:  $60$ )

2.12. Определите первую космическую скорость и ускорение свободного падения вблизи поверхности планет Солнечной системы, используя данные таблицы.

Планета	Экваториальный радиус, км	Масса, $10^{27} \text{ г}$
Меркурий	2439	0,33
Венера	6051	4,87
Земля	6378	5,98
Марс	3397	0,642
Юпитер	71398	1900
Сатурн	60330	569
Уран	26220	86,9

Нептун	24760	102
--------	-------	-----

2.13. Некоторая планета движется по окружности вокруг Солнца, период обращения планеты 225 суток. Определите скорость движения этой планеты. Масса Солнца  $2 \cdot 10^{30}$  кг. (Ответ: 35 км/с)

2.14. Первоначальная длина пружины 7 см. К пружине подвешивают груз массой 500 г, при этом она растягивается до длины 9 см. Найдите жесткость пружины. (Ответ: 250 Н/м)

2.15. В лифте, опускающемся с ускорением  $1,3 \text{ м/с}^2$ , на пружине жесткостью 595 Н/м висит груз. Найдите массу груза, если удлинение пружины равно 1 см. (Ответ: 700 г)

### Тема 3. Динамика вращательного движения твердого тела.

#### Теоретическая часть.

Физическая величина	Обозначение	Единица измерения
Момент инерции	$I$	кг·м <sup>2</sup> (килограмм·метр <sup>2</sup> )
Момент силы	$\vec{M}$	Н·м (Ньютон·метр)
Момент импульса	$\vec{L}$	кг·м <sup>2</sup> /с (килограмм·метр <sup>2</sup> /секунда)

#### Момент инерции материальной точки и некоторых тел правильной геометрической формы

Система	Положение оси вращения	Момент инерции $I$
Точка, движущаяся, по окружности радиуса $r$	Ось симметрии	$mr^2$
Тонкий стержень длиной $l$	Через середину стержня	$\frac{1}{12}ml^2$
Кольцо или тонкостенный цилиндр радиуса $R$	Ось симметрии	$mR^2$
Диск или сплошной цилиндр радиуса $R$	Ось симметрии	$\frac{1}{2}mR^2$
Шар радиуса $R$	Через центр шара	$\frac{2}{5}mR^2$

- Теорема Штейнера:

$I = I_0 + md^2$ , где  $I$  – момент инерции относительно произвольной оси,  $I_0$  – момент инерции относительно оси проходящей через центр масс тела,  $d$  – расстояние между осями.

- Момент силы относительно неподвижной точки O:

$$\vec{M} = [\vec{r} \cdot \vec{F}].$$

- Модуль момента силы:

$M = r \cdot F \cdot \sin\alpha = F \cdot h$ , где  $\alpha$  – угол между векторами  $\vec{r}$  и  $\vec{F}$ ,  $h$  – плечо силы – это кратчайшее расстояние между линией действия силы и точкой O.

- Уравнение вращательного движения твердого тела:

$$\vec{M} = I \cdot \vec{\varepsilon}.$$

- Момент импульса:

$$\vec{L} = [\vec{r} \cdot \vec{p}].$$

- Модуль момента импульса:

$L = r \cdot p \cdot \sin\alpha$ , где  $\alpha$  – угол между векторами  $\vec{r}$  и  $\vec{p}$ .

• Момент импульса свободного симметричного твердого тела, вращающегося вокруг оси симметрии:

$$\vec{L} = I \vec{\omega}.$$

- Уравнение моментов:

$$\vec{M} = \frac{d\vec{L}}{dt}.$$

### Практическая часть.

3.1. Два маленьких шарика каждый массой 100 г насажены на концы тонкого невесомого стержня длиной 40 см. Определите момент инерции системы относительно оси, перпендикулярной стержню и проходящей через центр масс. (Ответ: 0,008 кг·м<sup>2</sup>)

3.2. Определите момент инерции тонкого однородного стержня длиной 80 см и массой 200 г относительно оси, перпендикулярной ему и проходящей через точку, удаленную на расстояние 10 см от одного из концов стержня. (Ответ: 0,029 кг·м<sup>2</sup>)

3.3. Определите момент инерции тонкого кольца массой 50 г и радиусом 10 см относительно оси, касательной к кольцу. (Ответ: 7,5·10<sup>-4</sup> кг·м<sup>2</sup>)

3.4. Тонкий однородный стержень длиной 50 см и массой 400 г вращается относительно оси, проходящей перпендикулярно стержню через его середину, с угловым ускорением 3 рад/с<sup>2</sup>. Определите вращающий момент, действующий на стержень. (Ответ: 0,025 Н·м)

3.5. Тонкий стержень длиной 70 см и массой 1,2 кг вращается относительно оси, перпендикулярной стержню и проходящей через его край. Закон изменения угла поворота описывается уравнением  $\varphi = At + Bt^3$ , где  $A = 2,0$  рад/с,  $B = 0,2$  рад/с<sup>3</sup>. Определите: а) угловую скорость стержня, б) вращающий момент силы, действующий на стержень через время 2 с от начала вращения. (Ответ: а) 3,6 рад/с, б) 0,47 Н·м)

3.6. К ободу однородного сплошного диска радиусом 50 см приложена постоянная касательная сила 100 Н. При вращении диска на него действует момент сил трения равный 2 Н·м. Определите массу диска, если известно, что его угловое ускорение постоянно и равно 16 рад/с<sup>2</sup>. (Ответ: 24 кг)

3.7. Сплошной однородный диск скатывается без скольжения с наклонной плоскости, образующей угол 30° с горизонтом. Определите линейное ускорение центра диска. (Ответ: 3,3 м/с<sup>2</sup>)

3.8. Шар радиусом 10 см и массой 5 кг вращается вокруг оси симметрии. Закон изменения угла поворота описывается уравнением  $\varphi = At + Bt^2 + Ct^3$ , где  $B = 2$  рад/с<sup>2</sup>,  $C = -0,5$  рад/с<sup>3</sup>. Определите вращающий момент силы для момента времени 3 с. (Ответ: -0,1 Н·м)

3.9. Колесо, вращаясь равнозамедленно, уменьшило за время 1 мин частоту вращения с 300 об/мин до 180 об/мин. Момент инерции колеса 2 кг·м<sup>2</sup>. Найдите: а) модуль углового ускорения колеса, б) момент сил торможения, в) число оборотов, сделанных колесом за время 1 мин. (Ответ: а) 0,21 рад/с<sup>2</sup>, б) 0,42 Н·м, в) 240 оборотов)

3.10. Определите момент импульса сплошного диска массой 900 г вращающегося с частотой 12 с<sup>-1</sup>. Диаметр диска 30 см. (Ответ: 0,127 кг·м<sup>2</sup>/с)

3.11. Определите момент инерции и момент импульса земного шара относительно оси вращения. Масса Земли  $5,98 \cdot 10^{27}$  г, радиус Земли 6378 км. Полагать, что плотность вещества равномерная по всему объёму планеты. (Ответ:  $97,36 \cdot 10^{36}$  кг·м<sup>2</sup>,  $7 \cdot 10^{33}$  кг·м<sup>2</sup>/с)

3.12. Две гири с массами 2 кг и 1 кг соединены нитью, перекинутой через блок массой 1 кг. Найти: а) ускорение, с которым движутся гири, б) силы натяжения нитей, к которым подвешены гири. Блок считать однородным диском. Трением пренебречь. (Ответ: а) 2,8 м/с<sup>2</sup>, б) 14 Н, 12,6 Н)

3.13. Нить с привязанными к ее концам грузами массами 50 г и 60 г перекинута через блок диаметром 4 см. Определите момент инерции

блока, если под действием силы тяжести грузов он получил угловое ускорение  $1,5 \text{ рад/с}^2$ . Трением в подшипниках блока и проскальзыванием нити пренебречь. (Ответ:  $1,26 \cdot 10^{-3} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ )

3.14. Колесо массой  $1,5 \text{ кг}$  и радиусом  $20 \text{ см}$  скатывается по наклонной плоскости длиной  $2 \text{ м}$  и углом наклона  $30^\circ$ . Определите момент инерции колеса, если скорость его центра масс в конце наклонной плоскости  $3,8 \text{ м/с}$ . Потерей энергии на трение пренебречь. (Ответ:  $0,081 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ )

3.15. Маховик насажен на горизонтально расположенную ось. На обод маховика диаметром  $60 \text{ см}$  намотан шнур, к концу которого привязан груз массой  $2 \text{ кг}$ . Определите момент инерции маховика, если он, вращаясь равноускоренно под действием силы тяжести груза, за время  $3 \text{ с}$  приобрел угловую скорость  $9 \text{ рад/с}$ . Трением в шарнирах оси маховика пренебречь. (Ответ:  $1,78 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ )

#### Тема 4. Работа. Энергия. Законы сохранения.

##### Теоретическая часть.

Физическая величина	Обозначение	Единица измерения
Работа	$A$	Дж (Джоуль)
Мощность	$N$	Вт (Ватт)
Энергия	$W$	Дж (Джоуль)

- Элементарная работа силы:

$$\delta A = \vec{F} \cdot d\vec{l}, \text{ где } d\vec{l} \text{ – элементарное перемещение.}$$

- Работа постоянной силы при поступательном движении:

$A = F \cdot s \cdot \cos \alpha$ , где  $s$  – путь, пройденный телом по траектории,  $\alpha$  – угол между направлением силы и направлением перемещения точки приложения силы.

- Мощность:

$$N = \frac{\delta A}{dt} = \frac{\vec{F} \cdot d\vec{l}}{dt} = \vec{F} \cdot \vec{v}.$$

• Кинетическая энергия тела совершающего поступательное движение:

$$W_k = \frac{mv^2}{2}.$$



- Кинетическая энергия тела совершающего вращательное движение:

$$W_{\text{к}} = \frac{I\omega^2}{2}, \text{ где } I - \text{ момент инерции тела относительно центральной оси.}$$

- Кинетическая энергия сложного движения тела, совершающего одновременно поступательное и вращательное движение:

$$W_{\text{к}} = \frac{mv^2}{2} + \frac{I\omega^2}{2}.$$

- Потенциальная энергия тела в поле силы тяжести:

$W_{\text{п}}(h) = mgh$ , где  $h$  – высота относительно уровня с нулевым значением потенциальной энергии  $W_{\text{п}}(0) = 0$ .

- Потенциальная энергия деформированной пружины:

$$W_{\text{п}}(x) = \frac{k\Delta x^2}{2}, \text{ где } \Delta x - \text{ величина растяжения (сжатия) пружины.}$$

- Закон сохранения импульса для изолированной системы:

$$\vec{p} = \text{const}.$$

- Закон сохранения момента импульса для изолированной системы:

$$\vec{L} = \text{const}.$$

- Закон сохранения механической энергии для изолированной системы: в системе тел, между которыми действуют только консервативные силы, полная механическая энергия сохраняется:

$W = W_{\text{к}} + W_{\text{п}} = \text{const}$ , где  $W$  – полная механическая энергия системы.

#### Практическая часть.

4.1. При подъеме груза массой 2 кг на высоту 3 м силой натяжения веревки была совершена работа 78 Дж. Найдите ускорение груза. (Ответ: 3,2 м/с<sup>2</sup>)

4.2. Вычислите работу, совершаемую на прямолинейном пути 12 м равномерно возрастающей силой неизменного направления, если в начале пути сила равна 10 Н, в конце пути сила равна 46 Н. (Ответ: 336 Дж).

4.3. Пружина жесткостью 500 Н/м сжата силой 100 Н. Определите работу внешней силы, дополнительно сжимающей пружину еще на 2 см. (Ответ: 2,1 Дж)

4.4. Сжатая на 2 см пружина подбрасывает стальной шарик вертикально вверх на 15 см. На какую максимальную высоту поднимется

шарик, если пружину сжать на 4 см? Сопротивлением воздуха пренебречь.  
(Ответ: 60 см)

4.5. Гирия, положенная на верхний конец спиральной пружины, поставленной вертикально на подставке, сжимает ее на 2 мм. На сколько сожмет пружину та же гирия, если она упадет на конец пружины с высоты 5 см? (Ответ: 16,3 мм)

4.6. Тело массой 1 кг движется под действием некоторой силы согласно уравнению  $x=A-Bt+Ct^2-Dt^3$ , где  $B=3$  м/с,  $C=5$  м/с<sup>2</sup>,  $D=1$  м/с<sup>3</sup>. Определите максимальную мощность, затрачиваемую на движение тела за время, равное 1 с. (Ответ: 16 Вт)

4.7. Диск массой 2 кг катится без проскальзывания по горизонтальной поверхности со скоростью 4 м/с. Найдите кинетическую энергию диска.  
(Ответ: 24 Дж)

4.8. Шар катится без скольжения по горизонтальной поверхности. Полная кинетическая энергия шара равна 14 Дж. Определите кинетическую энергию поступательного и вращательного движения шара.  
(Ответ: 10 Дж, 4 Дж)

4.9. Шар массой 10 кг, движущийся со скоростью 4 м/с, сталкивается с шаром массой 4 кг, скорость которого равна 12 м/с. Считая удар прямым, неупругим, найдите скорость шаров после удара в двух случаях: а) малый шар нагоняет большой шар, движущийся в том же направлении, б) шары движутся навстречу друг другу. (Ответ: а) 6,3 м/с, б) 0,57 м/с)

4.10. Два груза массами 10 кг и 15 кг подвешены на нитях длиной 2 м так, что грузы соприкасаются между собой. Меньший груз отклонили от вертикали на угол  $60^\circ$  и отпустили. Определите высоту, на которую поднимутся оба груза после удара. Удар грузов считать неупругим.  
(Ответ: 16 см)

4.11. Снаряд, летевший со скоростью 400 м/с, в верхней точке траектории разорвался на два осколка. Меньший осколок, масса которого составляет 40% от массы снаряда, полетел в противоположном направлении со скоростью 150 м/с. Определите скорость большего осколка. (Ответ: 766,7 м/с)

4.12. Шар массой 2 кг сталкивается с покоящимся шаром большей массы и при этом теряет 40% кинетической энергии. Определите массу большого шара. Удар считать абсолютно упругим, прямым, центральным.  
(Ответ: 15,7 кг)

4.13. Тонкий прямой стержень длиной 1 м прикреплен к горизонтальной оси, проходящей через его конец. Стержень отклонили на угол  $60^\circ$  от положения равновесия и отпустили. Определите линейную скорость нижнего конца стержня в момент прохождения через положение равновесия. (Ответ: 3,84 м/с)

4.14. Скамья Жуковского массой 25 кг и радиусом 80 см вращается с частотой  $18 \text{ мин}^{-1}$ . На скамье стоит человек и держит в расставленных руках гири. Определите частоту вращения платформы, если человек, опустив руки, уменьшит свой момент инерции от  $3,5 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$  до  $1 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$ . (Ответ:  $23 \text{ мин}^{-1}$ )

4.15. В центре скамьи Жуковского стоит человек и держит в руках тонкий стержень длиной 2,4 м и массой 8 кг, расположенный вертикально по оси вращения скамейки. Скамья с человеком вращается с частотой  $1 \text{ с}^{-1}$ . С какой частотой будет вращаться скамья с человеком, если он повернет стержень в горизонтальное положение? Суммарный момент инерции человека и скамьи равен  $6 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$ . (Ответ:  $0,61 \text{ с}^{-1}$ )

## Тема 5. Элементы механики жидкостей и газов.

### Теоретическая часть.

Физическая величина	Обозначение	Единица измерения
Давление	$p$	Па (Паскаль)
Плотность	$\rho$	$\text{кг}/\text{м}^3$

- Давление:

$$p = \frac{F}{S}, \text{ где } F \text{ – сила, действующая на поверхность площадью } S.$$

- Гидростатическое давление:

$$p = \rho gh, \text{ где } \rho \text{ – плотность жидкости, } h \text{ – высота столба жидкости.}$$

- Сила Архимеда:

$F = \rho gV$ , где  $\rho$  – плотность жидкости,  $V$  – объем погруженного в жидкость тела.

- Уравнение неразрывности для несжимаемой жидкости:

$Sv = \text{const}$ , где  $S$  – площадь поперечного сечения трубки тока,  $v$  – скорость потока в сечении.

- Уравнение Бернулли:

$p + \frac{\rho v^2}{2} + \rho gh = const$ , где  $p$  – статическое давление,  $\frac{\rho v^2}{2}$  – динамическое давление,  $\rho gh$  – гидростатическое давление.

#### Практическая часть.

5.1. На какой глубине давление воды в 3 раза больше атмосферного, равного 100 кПа? (*Ответ: 20 м*)

5.2. В цилиндрический сосуд налиты равные по массе количества воды и ртути. Общая высота столба жидкостей 146 см. Определите давление этого столба на дно сосуда. Плотность ртути  $13,6 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ , плотность воды  $10^3 \text{ кг/м}^3$ . (*Ответ: 27,2 кПа*)

5.3. Тело весит в воздухе 3 Н, в воде 1,8 Н и в жидкости неизвестной плотности 2,04 Н. Какова плотность этой неизвестной жидкости? Плотность воды  $10^3 \text{ кг/м}^3$ . (*Ответ: 800 кг/м<sup>3</sup>*)

5.4. Льдина равномерной толщины плавает в воде, выступая на 4 см над ее поверхностью. Какова масса льдины, если площадь ее основания  $45 \text{ м}^2$ ? Плотность льда  $900 \text{ кг/м}^3$ , плотность воды  $10^3 \text{ кг/м}^3$ . (*Ответ: 16,2 т*)

5.5. Бревно длиной 3,5 м и поперечным сечением  $0,04 \text{ м}^2$  плавает в воде. Какую наибольшую массу может иметь человек, чтобы бревно не затонуло, когда человек встанет на него? Плотность дерева  $500 \text{ кг/м}^3$ . (*Ответ: 70 кг*)

5.6. Шарик всплывает с постоянной скоростью в жидкости, плотность которой в 4 раза больше плотности материала шарика. Во сколько раз сила сопротивления жидкости движению шарика больше силы тяжести, действующей на шарик? (*Ответ: 3*)

5.7. Тело, в форме бруска, плавает в сосуде, в котором налита ртуть и поверх нее - вода. При этом в ртуть тело погружено на  $1/4$  своей высоты, а в воду - на  $1/2$  высоты. Определите плотность материала тела. Плотность ртути  $13,6 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ . (*Ответ: 3900 кг/м<sup>3</sup>*)

5.8. Найдите скорость течения углекислого газа в трубе диаметром 2 см, если известно, что за полчаса через поперечное сечение трубы протекает 0,51 кг газа. Плотность газа  $7,5 \text{ кг/м}^3$ . В решении задачи пренебечь вязкостью газа. (*Ответ: 0,12 м/с*)

5.9. Определите разность давлений в широком и узком ( $d_1=9 \text{ см}$ ,  $d_2=6 \text{ см}$ ) коленах горизонтальной трубы, если в широком колене воздух

продувается со скоростью 6 м/с. Плотность воздуха 1,29 кг/м<sup>3</sup>.  
(*Ответ:* 94,3 Па)

5.10. Вода течет в горизонтально расположенной трубе переменного сечения. Скорость воды в узкой части трубы равна 45 см/с. Определите скорость течения воды в широкой части трубы. Диаметр широкой части трубы в 1,5 раза больше диаметра узкой части. (*Ответ:* 20 см/с)

5.11. Определите, на какую высоту поднимется вода в вертикальной трубе, впаянной в узкую часть горизонтальной трубы диаметром 3 см, если в широкой части трубы диаметром 9 см скорость газа 25 см/с. (*Ответ:* 25,5 см)

5.12. Горизонтально расположенная прямая труба заполнена идеальной жидкостью. На участке трубы длиной 2,92 м разность давлений составляет  $2,6 \cdot 10^2$  Па. Определите ускорение, с которым движутся частицы жидкости, если ее плотность равна 890 кг/м<sup>3</sup>. (*Ответ:* 0,1 м/с<sup>2</sup>)

5.13. Определите время истечения идеальной жидкости из открытого бака цилиндрической формы высотой 2 м, если диаметр небольшого отверстия в дне бака в 50 раз меньше диаметра сосуда. (*Ответ:* 27 мин).

5.14. В сосуд льется вода, причем за 1 с наливается 0,2 л воды. Каков должен быть диаметр отверстия в дне сосуда, чтобы вода в нем держалась на постоянном уровне равном 8,3 см? (*Ответ:* 1,4 см)

5.15. Бак высотой 1,5 м наполняют до краев водой и поддерживают верхний уровень воды постоянным. На расстоянии 1 м от верхнего края бака имеется отверстие малого диаметра. На каком расстоянии от бака падает на пол струя, вытекающая из отверстия? (*Ответ:* 1,4 м)

## Тема 6. Элементы специальной теории относительности.

### Теоретическая часть.

- Сложение скоростей:

$$u_x = \frac{u'_x + v}{1 + \frac{u'_x v}{c^2}}, \text{ где } u_x \text{ — скорость тела в движущейся, со скоростью } v, \text{ системе}$$

координат,  $u'_x$  — скорость тела в неподвижной системе координат,  $c$  — скорость света в вакууме

- Релятивистское сокращение длины:

$l = l_0 \sqrt{1 - v^2/c^2}$ , где  $l$  – длина объекта, измеренная в системе отсчета относительно которой объект движется со скоростью  $v$ ,  $l_0$  – длина объекта, измеренная в системе отсчета относительно которой он покоится.

- Релятивистское замедление времени:

$t = \frac{t_0}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$ , где  $t$  – интервал времени, проходящий между двумя

событиями, движущегося со скоростью  $v$  объекта, по измерениям неподвижного наблюдателя,  $t_0$  – интервал времени, проходящий между двумя событиями движущегося объекта по измерениям наблюдателя, связанного с движущимся объектом.

- Релятивистская масса:

$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$ , где  $m$  – масса объекта (релятивистская масса), измеренная в

системе отсчета относительно которой он движется со скоростью  $v$ ,  $m_0$  – масса объекта (масса покоя), измеренная в системе отсчета относительно которой он покоится.

- Релятивистский импульс:

$p = \frac{m_0 v}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$ .

- Кинетическая энергия релятивистской частицы:

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

- Полная энергия релятивистской частицы:

$W = mc^2 = m_0 c^2 + W_k$

- Связь полной энергии с импульсом релятивистской частицы:

$W = \sqrt{p^2 c^2 + m_0^2 c^4}$ .

### Практическая часть.

6.1. Частица движется со скоростью  $v=0,5 \cdot c$ . Во сколько раз релятивистская масса частицы больше массы покоя? (Ответ: 1,15)

6.2. С какой скоростью движется частица, если ее релятивистская масса в три раза больше массы покоя? (*Ответ:*  $2,83 \cdot 10^8$  м/с)

6.3. Фотонная ракета движется относительно Земли со скоростью  $v=0,6 \cdot c$ . Во сколько раз замедлится ход времени в ракете с точки зрения земного наблюдателя? (*Ответ:* 1,25)

6.4. Определите, во сколько раз увеличивается время жизни нестабильной частицы (по часам неподвижного наблюдателя), если она начинает двигаться со скоростью  $v=0,9 \cdot c$ . (*Ответ:* 2,29)

6.5. В лабораторной системе отсчета (К-система) пи-мезон с момента рождения до момента распада пролетел расстояние 75 м. Скорость пи-мезона равна  $v=0,995 \cdot c$ . Определите собственное время жизни пи-мезона. (*Ответ:* 25 нс)

6.6. Собственное время жизни мю-мезона равно 2 мкс. От точки рождения до точки распада в лабораторной системе отсчета мю-мезон пролетел расстояние 6 км. С какой скоростью  $v$  (в долях скорости света) двигался мю-мезон? (*Ответ:* 0,995)

6.7. В системе  $K'$  покоится стержень сориентированный вдоль горизонтальной оси  $X$ . Система  $K'$  движется относительно системы  $K$  со скоростью  $v=0,6 \cdot c$ . При этом, относительно системы  $K$ , длина стержня составляет 80 см. Определите длину стержня в системе  $K'$ . (*Ответ:* 1 м)

6.8. Определите относительную скорость движения, при которой релятивистское сокращение линейных размеров тела составляет 10%. (*Ответ:*  $1,31 \cdot 10^8$  м/с)

6.9. Электрон движется со скоростью  $v=0,6 \cdot c$ . Определите релятивистский импульс электрона. (*Ответ:*  $2,05 \cdot 10^{-22}$  кг·м/с)

6.10. Определите релятивистский импульс протона, если скорость его движения составляет 80% от скорости света. (*Ответ:*  $6,69 \cdot 10^{-19}$  кг·м/с)

6.11. Ионизированный атом, вылетев из ускорителя со скоростью  $v=0,8 \cdot c$ , испустил фотон в направлении своего движения. Определите скорость фотона относительно ускорителя. (*Ответ:*  $3 \cdot 10^8$  м/с)

6.12. Кинетическая энергия электрона равна 10 МэВ ( $1 \text{ эВ} = 1,6 \cdot 10^{-19}$  Дж). Во сколько раз его релятивистская масса больше массы покоя? (*Ответ:* 20,6)

6.13. Во сколько раз релятивистская масса протона больше релятивистской массы электрона, если обе частицы имеют одинаковую кинетическую энергию 1 ГэВ? (*Ответ: 1,94*)

6.14. Определите кинетическую энергию электрона, если полная энергия движущегося электрона втрое больше его энергии покоя. (*Ответ: 1,02 МэВ*)

6.15. Кинетическая энергия релятивистской частицы равна ее энергии покоя. Во сколько раз возрастет импульс частицы, если ее кинетическая энергия увеличится в 4 раза? (*Ответ: 2,82*)

## Раздел II. Молекулярная физика и термодинамика.

### Тема 7. Молекулярно-кинетическая теория идеального газа.

#### Теоретическая часть.

Физическая величина	Обозначение	Единица измерения
Давление	$p$	Па (Паскаль)
Объем	$V$	м <sup>3</sup> (метр <sup>3</sup> )
Температура	$T$	К (Кельвин)
Молярная масса	$M$	кг/моль (килограмм/моль)
Концентрация	$n$	м <sup>-3</sup> (метр <sup>-3</sup> )
Количество вещества	$\nu$	моль

- Основное уравнение молекулярно-кинетической теории идеального газа:

$$p = \frac{1}{3} n m_0 v_{ср.кв.}^2, \text{ где } m_0 \text{ – масса одной молекулы газа.}$$

- Средняя квадратичная скорость молекул:

$$v_{ср.кв.} = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}} = \sqrt{\frac{3RT}{M}}, \text{ где } k \text{ – постоянная Больцмана, } R \text{ – универсальная}$$

газовая постоянная.

- Концентрация частиц (молекул, атомов):

$$n = \frac{N}{V}, \text{ где } N \text{ – количество частиц (молекул, атомов).}$$



- Средняя кинетическая энергия поступательного движения молекулы газа:

$$\varepsilon = \frac{3}{2}kT.$$

- Зависимость давления газа от концентрации и температуры:

$$p = nkT.$$

- Уравнение состояния идеальных газов (уравнение Менделеева-Клапейрона):

$$pV = \frac{m}{M}RT, \text{ где } m - \text{масса газа.}$$

- Закон Дальтона для давления смеси газов:

$$p = \sum p_i, \text{ где } p_i - \text{парциальное давление } i\text{-й компоненты смеси.}$$

- Изопроцессы:

Название процесса	Постоянные величины	Уравнение процесса
Изобарный	$p, \nu$	$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$
Изохорный	$V, \nu$	$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$
Изотермический	$T, \nu$	$p_1V_1 = p_2V_2$

### Практическая часть.

7.1. Определите объем сосуда, в котором находится газ, если концентрация молекул  $1,25 \cdot 10^{26} \text{ м}^{-3}$ , а общее их число  $2,5 \cdot 10^{23}$ . (Ответ:  $2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$ )

7.2. В сосуде объемом  $240 \text{ см}^3$  находится газ при температуре  $290 \text{ К}$  и давлении  $50 \text{ кПа}$ . Определите количество вещества газа и число его молекул. (Ответ:  $0,005 \text{ моль}$ ,  $3 \cdot 10^{21}$ )

7.3. В баллоне объемом  $31 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$ , при температуре  $20^\circ\text{C}$ , находится кислород, под давлением  $15,7 \text{ МПа}$ . Определите его массу. (Ответ:  $6,4 \text{ кг}$ )

7.4. Какова полная кинетическая энергия поступательного движения  $2 \text{ моль}$  идеального газа при температуре  $27^\circ\text{C}$ ? (Ответ:  $7,5 \text{ кДж}$ )

7.5. Определите давление, оказываемое газом на стенки сосуда, если его плотность равна  $0,01 \text{ кг/м}^3$  и средняя квадратичная скорость молекул газа составляет  $480 \text{ м/с}$ . (Ответ:  $768 \text{ Па}$ )

7.6. В сосуде объемом 4 л находится некоторый газ массой 0,6 г под давлением 200 кПа. Определите среднюю квадратичную скорость молекул этого газа. (*Ответ:* 2000 м/с)

7.7. В баллоне находилось 10 кг газа при давлении 10 МПа. Какую массу газа выпустили из баллона, если давление в нем стало равным 2,5 МПа? Температуру газа считать постоянной. (*Ответ:* 7,5 кг)

7.8. В сосуде объемом  $100 \text{ см}^3$  содержится некоторый газ при температуре  $27^\circ\text{C}$ . На сколько понизится давление газа в колбе, если вследствие утечки из колбы выйдет  $10^{20}$  молекул? (*Ответ:* на 4,14 кПа)

7.9. При какой температуре молекулы кислорода имеют такую же среднюю квадратичную скорость, как молекулы водорода при температуре 100 К? (*Ответ:* 1600 К)

7.10. В сосуде вместимостью  $0,01 \text{ м}^3$  содержится смесь газов — азота массой 7 г и водорода массой 1 г при температуре  $7^\circ\text{C}$ . Определите давление смеси газов. (*Ответ:* 175 кПа)

7.11. Баллон вместимостью 20 л содержит смесь водорода и азота при температуре  $17^\circ\text{C}$  и давлении 1 МПа. Определите массу водорода, если масса смеси равна 150 г. (*Ответ:* 6,3 г)

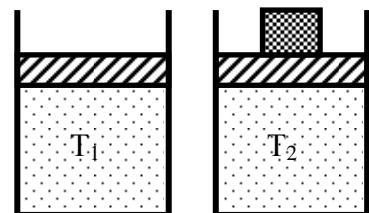
7.12. Азот массой 7 г находится под давлением 0,1 МПа и температуре 290 К. Вследствие изобарного нагревания азот занял объем 10 л. Определите объем газа до расширения, температуру газа после расширения, плотность газа до и после расширения. (*Ответ:* 6,02 л, 481 К,  $1,16 \text{ кг/м}^3$ ,  $0,7 \text{ кг/м}^3$ )

7.13. Два сосуда соединены тонкой трубкой с краном. Один из сосудов объемом 3 л заполнен газом при давлении 10 кПа, в другом сосуде объемом 6 л давление пренебрежимо мало. Температура газа в первом сосуде  $27^\circ\text{C}$ . Какое давление установится в сосудах, если открыть кран, а температуру газа повысить до  $177^\circ\text{C}$ ? (*Ответ:* 5 кПа)

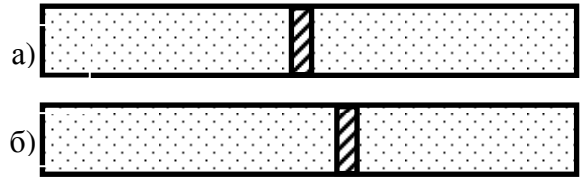
7.14. В сосуде под поршнем находится газ.

Чтобы поршень оставался в неизменном положении при увеличении абсолютной температуры газа в 2 раза, на него следует положить груз массой 10 кг (см.рисунок).

Площадь поршня  $10 \text{ см}^2$ . Найдите первоначальное давление газа. (*Ответ:* 100 кПа)



7.15. Теплоизолирующий поршень делит горизонтальный сосуд на две равные части (см.рисунок а), содержащие газ при температуре  $5^{\circ}\text{C}$ . Длина каждой части 144 мм. Одну часть сосуда нагрели на  $18^{\circ}\text{C}$ , а другую — на  $2^{\circ}\text{C}$ . На какое расстояние, относительно первоначального положения (см.рисунок б) сместится поршень? (Ответ: 4 мм)



## Тема 8. Элементы классической статистики.

### Теоретическая часть.

- Скорость молекул:

– средняя квадратичная  $v_{\text{ср.кв.}} = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}} = \sqrt{\frac{3RT}{M}}$ ,

– средняя арифметическая  $v_{\text{ср.}} = \sqrt{\frac{8kT}{\pi m_0}} = \sqrt{\frac{8RT}{\pi M}}$ ,

– наиболее вероятная  $v_B = \sqrt{\frac{2kT}{m_0}} = \sqrt{\frac{2RT}{M}}$ .

- Распределение Максвелла:

– функция распределения молекул идеального газа по скоростям:

$$f(v) = 4\pi \left( \frac{m_0}{2\pi kT} \right)^{3/2} \cdot v^2 e^{-\frac{m_0 v^2}{2kT}},$$

– число молекул, скорости которых заключены в пределах от  $v$  до  $v+dv$ :

$$dN(v) = N \cdot 4\pi \left( \frac{m_0}{2\pi kT} \right)^{3/2} \cdot v^2 e^{-\frac{m_0 v^2}{2kT}} dv,$$

– число молекул, скорости которых заключены в пределах от  $u$  до  $u+du$ :

$$dN(u) = N \frac{4}{\sqrt{\pi}} u^2 e^{-u^2} du, \text{ где } u = \frac{v}{v_B} \text{ – относительная скорость.}$$

• Барометрическая формула (зависимость атмосферного давления от высоты):

–  $p_2 = p_1 e^{-\frac{Mg(h_2-h_1)}{RT}}$ , где  $p_1$  – атмосферное давление на высоте  $h_1$ ,  
 $p_2$  – атмосферное давление на высоте  $h_2$ ,

–  $p = p_0 e^{-\frac{Mgh}{RT}}$ , где  $p_0$  – атмосферное давление на уровне моря,

$p$  – атмосферное давление на высоте  $h$  относительно уровня моря.

• Распределение Больцмана (равновесное распределение частиц идеального газа по энергиям во внешнем силовом поле):

$n = n_0 e^{-\frac{W_{II}}{kT}}$ , где  $W_{II}$  – потенциальная энергия частицы.

### Практическая часть.

8.1. Найдите среднюю арифметическую, среднюю квадратичную и наиболее вероятную скорости молекул газа, который при давлении 40 кПа имеет плотность 0,3 кг/м<sup>3</sup>. (Ответ: 579 м/с, 628 м/с, 513 м/с)

8.2. При какой температуре средняя квадратичная скорость молекул азота больше их наиболее вероятной скорости на 50 м/с? (Ответ: 83 К)

8.3. Какая часть молекул кислорода при температуре 0<sup>0</sup>С обладает скоростями  $v$  от 100 до 110 м/с? (Ответ: 0,4%)

8.4. Какая часть молекул азота при температуре 150<sup>0</sup>С обладает скоростями  $v$  от 300 до 325 м/с? (Ответ: 2,8%)

8.5. Обсерватория расположена на высоте 3250 м над уровнем моря. Найдите давление воздуха на этой высоте. Температуру воздуха считать постоянной и равной 5<sup>0</sup>С. Давление воздуха на уровне моря считать равным 101,3 кПа. (Ответ: 67,2 кПа)

8.6. На какой высоте над уровнем моря атмосферное давление вдвое меньше, чем на этой поверхности? Считать, что температура воздуха равна 17<sup>0</sup>С и не изменяется с высотой. (Ответ: 5,9 км)

8.7. На сколько изменится атмосферное давление 100 кПа при подъеме наблюдателя над поверхностью Земли на высоту 100 м? Считать, что температура воздуха равна 290 К и не изменяется с высотой. (Ответ: уменьшится на 1,18 кПа)

8.8. Найти изменение высоты  $\Delta h$ , соответствующее изменению давления на 100 Па, в двух случаях: а) вблизи поверхности Земли, где температура 290 К, давление 100 кПа; б) на некоторой высоте, где температура 220 К, давление 25 кПа. (Ответ: а) 8,75 м, б) 25,8 м)

8.9. Каково давление воздуха в шахте на глубине 1 км, если считать, что температура по всей высоте шахты постоянная и равна 22<sup>0</sup>С, а

ускорение свободного падения не зависит от высоты? Давление воздуха у поверхности Земли равно 100 кПа. (Ответ: 112 кПа)

8.10. Определите отношение давления воздуха на высоте 1 км к давлению на дне скважины глубиной 1 км. Воздух у поверхности Земли находится при нормальных условиях, и его температура не зависит от высоты. (Ответ: 0,778)

8.11. Барометр в кабине летящего вертолета показывает давление 90 кПа. На какой высоте летит вертолет, если на взлетной площадке барометр показывал давление 100 кПа? Считать, что температура воздуха равна 290 К и не изменяется с высотой. (Ответ: 885 м)

8.12. Барометр в кабине летящего самолета все время показывает одинаковое давление 79 кПа, благодаря чему летчик считает высоту полета неизменной. Однако температура воздуха за бортом самолета изменилась с 5<sup>0</sup>С до 1<sup>0</sup>С. Какую ошибку  $\Delta h$  в определении высоты допустил летчик? Считать, что температура не зависит от высоты и что у поверхности Земли давление 100 кПа. (Ответ: –28,5 м, самолет снизился по сравнению с предполагаемой высотой)

8.13. На какой высоте плотность воздуха вдвое меньше его плотности на уровне моря? Температуру газа считать постоянной и равной 0<sup>0</sup>С. (Ответ: 5,5 км)

8.14. Найдите плотность воздуха у поверхности Земли и на высоте 4 км от поверхности Земли. Температуру воздуха считать постоянной и равной 0<sup>0</sup>С. Давление воздуха у поверхности Земли 100 кПа. (Ответ: 1,28 кг/м<sup>3</sup>, 0,78 кг/м<sup>3</sup>)

8.15. Пылинки, взвешенные в воздухе, имеют массу 10<sup>-18</sup> г. Во сколько раз изменится их концентрация при увеличении высоты на 10 м? Температура воздуха 300 К. (Ответ: уменьшится в e<sup>23,6</sup> раза)

## Тема 9. Реальные газы.

### Теоретическая часть.

- Уравнение Ван-дер-Ваальса (уравнение состояния реальных газов)

– для одного моля газа:

$$\left( p + \frac{a}{V_m^2} \right) \cdot (V_m - b) = RT, \text{ где } V_m \text{ – молярный объем, } a \text{ и } b \text{ – постоянные}$$

Ван-дер-Ваальса (поправки Ван-дер-Ваальса),

– для произвольного количества вещества газа:

$$\left( p + \frac{v^2 a}{V^2} \right) \cdot (V - vb) = vRT .$$

- Внутреннее давление газа:

$$p' = \frac{v^2 a}{V^2}$$

- Собственный объем молекул:

$$V' = \frac{vb}{4} .$$

- Параметры критического состояния:

– давление  $p_K = \frac{a}{27b^2}$ ,

– температура  $T_K = \frac{8a}{27Rb}$ ,

– молярный объем  $V_{mK} = 3b$ .

- Уравнение Ван-дер-Ваальса в приведенной форме (универсальное уравнение, справедливое для всех газов):

$$\left( \pi + \frac{3}{\omega^2} \right) \cdot (3\omega - 1) = 8\tau , \text{ где } \pi = \frac{p}{p_K} , \omega = \frac{V_m}{V_{mK}} , \tau = \frac{T}{T_K} .$$

### Практическая часть.

9.1. Кислород в количестве 10 моль находится в сосуде объемом 5 л. Найдите внутреннее давление газа и собственный объем молекул. (Ответ: 544 кПа, 79,3 см<sup>3</sup>)

9.2. В сосуде вместимостью 10 л находится азот массой 0,25 кг. Определите внутреннее давление газа и собственный объем молекул. (Ответ: 108 кПа, 86,2 см<sup>3</sup>)

9.3. Углекислый газ массой 6,6 кг при давлении 0,1 МПа занимает объем 3,75 м<sup>3</sup>. Определите температуру газа, если а) газ идеальный; б) газ реальный. (Ответ: а) 301 К, б) 302 К)

9.4. В сосуде объемом 0,5 м<sup>3</sup> находится 0,6 кмоль углекислого газа при давлении 3 МПа. Определите, как и во сколько раз надо изменить температуру газа, чтобы давление увеличилось вдвое считая что а) газ идеальный, б) газ реальный (Ответ: а) увеличить в 2 раза, б) увеличить в 1,85 раза)

9.5. В сосуде вместимостью 0,3 л находится один моль углекислого газа при температуре 300 К. Определите давление газа: а) по уравнению Менделеева-Клапейрона; б) по уравнению Ван-дер-Ваальса. (Ответ: а) 8,31 МПа, б) 5,67 МПа)

9.6. Определите давление, которое будет производить один моль кислорода, если он занимает объем 0,5 л при температуре 300 К. (Ответ: 4,78 МПа)

9.7. Давление кислорода равно 7 МПа, его плотность 100 кг/м<sup>3</sup>. Определите температуру кислорода считая, что кислород при данных условиях ведет себя как реальный газ. (Ответ: 287 К)

9.8. Кислород в количестве 1 кмоль находится при температуре 21<sup>0</sup>С и давлении 10 МПа. Найдите объем газа, считая, что кислород при данных условиях ведет себя как реальный газ. (Ответ: 0,231 м<sup>3</sup>)

9.9. Вычислить, для некоторого газа, постоянные  $a$  и  $b$  в уравнении Ван-дер-Ваальса, если известны его критическая температура 126 К и критическое давление 3,39 МПа. (Ответ: 0,136 Н·м<sup>4</sup>/моль<sup>2</sup>, 3,86·10<sup>-5</sup> м<sup>3</sup>/моль)

9.10. Вычислить критические давление и температуру для кислорода. (Ответ: 5 МПа, 150 К)

9.11. Для некоторого газа критическая температура равна 151 К, а критическое давление 4,86 МПа. Определите по этим данным критический молярный объем этого газа. (Ответ: 96,8 см<sup>3</sup>/моль)

9.12. Газ, содержащий количество вещества 1 моль, находится при критической температуре и занимает объем в 3 раза превышающий критический объем. Во сколько раз давление газа в этом состоянии меньше критического давления? (Ответ: в 1,5 раза)

9.13. Газ находится в критическом состоянии. Как и во сколько раз его давление будет отличаться от критического при одновременном увеличении температуры и объема газа в 2 раза? (Ответ: увеличится в 2,45 раз)

9.14. Газ находится в критическом состоянии. Во сколько раз возрастет давление газа если не меняя объем, температуру газа увеличить в 2 раза? (Ответ: в 5 раз)

9.15. Построить изотермы  $p=f(V)$  для 1 кмоль углекислого газа при температуре 0<sup>0</sup>С. Газ рассматривать как: а) идеальный; б) реальный. Значения  $V$  (в л/моль) для реального газа взять в интервале  $0,08 < V < 0,4$  л/моль, для идеального газа — в интервале  $0,2 < V < 0,4$  л/моль.

Тема 10. Элементы физической кинетики.

Теоретическая часть.

Физическая величина	Обозначение	Единица измерения
Коэффициент диффузии	$D$	м <sup>2</sup> /с (метр <sup>2</sup> /секунда)
Динамическая вязкость	$\eta$	Па·с (Паскаль·секунда)
Коэффициент теплопроводности	$\lambda$	Дж/м·с·К (Джоуль/метр·секунда·Кельвин)

- Средняя длина свободного пробега молекул газа:

$\langle l \rangle = \frac{1}{\pi d^2 n \sqrt{2}}$ , где  $d$  – эффективный диаметр молекулы,  $n$  – концентрация молекул.

- Среднее число соударений, испытываемых одной молекулой газа в единицу времени:

$\langle z \rangle = \pi d^2 n \sqrt{2} v_{cp}$ , где  $v_{cp}$  – средняя арифметическая скорость молекул.

- Коэффициент диффузии:

$$D = \frac{1}{3} v_{cp} \langle l \rangle .$$

- Динамическая вязкость:

$$\eta = \frac{1}{3} v_{cp} \langle l \rangle \rho = D \rho , \text{ где } \rho \text{ – плотность газа (жидкости).}$$

- Коэффициент теплопроводности:

$$\lambda = \frac{1}{3} v_{cp} \langle l \rangle \rho c_v = D \rho c_v = \eta c_v .$$

- Удельная теплоемкость газа при постоянном объеме:

$$c_v = \frac{i R}{2 M} , \text{ где } i \text{ – число степеней свободы молекулы газа.}$$

Практическая часть.

10.1. Определите среднюю длину свободного пробега молекул водорода при давлении 0,1 Па и температуре 100 К. Эффективный диаметр молекулы водорода 0,28 нм. (Ответ: 6,4 см)



10.2. Найдите среднее число столкновений в единицу времени молекул некоторого газа, если средняя длина свободного пробега 5 мкм, а средняя квадратичная скорость его молекул 500 м/с. (Ответ:  $9,2 \cdot 10^7 \text{ с}^{-1}$ )

10.3. При каком давлении средняя длина свободного пробега молекул азота равна 1 м, если температура газа равна 300 К? Эффективный диаметр молекулы азота 0,38 нм. (Ответ: 3,5 мПа)

10.4. Вывести математическую зависимость коэффициента диффузии от давления  $D=f(p)$  при следующих процессах: 1) изотермическом, 2) изохорном, 3) изобарном. Исключить из рассмотрения случай очень низких давлений (ультраразреженный газ). Изобразите эти зависимости на графиках.

10.5. Построить график зависимости коэффициента диффузии азота от температуры  $D=f(T)$  в интервале значений от  $0^\circ\text{C}$  до  $500^\circ\text{C}$  через каждые  $100^\circ\text{C}$ . Полагать, что в этом температурном интервале эффективный диаметр молекулы остается неизменным и равным 0,35 нм, а давление равно  $10^5 \text{ Па}$ .

10.6. Средняя длина свободного пробега атомов гелия при нормальных условиях ( $0^\circ\text{C}$ ,  $10^5 \text{ Па}$ ) равна 180 нм. Определите коэффициент диффузии гелия. Эффективный диаметр молекулы гелия 0,22 нм. (Ответ: 3,5 мПа)

10.7. Найдите эффективный диаметр молекулы азота по данному значению средней длины свободного пробега молекулы при нормальных условиях 95 нм. (Ответ: 297 пм)

10.8. Коэффициент диффузии кислорода при температуре  $0^\circ\text{C}$  равен  $0,19 \text{ см}^2/\text{с}$ . Определите среднюю длину свободного пробега молекул кислорода. Эффективный диаметр молекулы кислорода 0,36 нм. (Ответ: 135 нм)

10.9. Вычислите динамическую вязкость кислорода при нормальных условиях. (Ответ: 18 мкПа·с)

10.10. Построить график зависимости динамической вязкости азота от температуры  $\eta(T)$  в интервале  $100 \leq T \leq 600 \text{ К}$  с шагом 100 К.

10.11. Вывести математическую зависимость динамической вязкости от температуры. Изобразить эту зависимость графически.

10.12. При некоторых условиях коэффициент диффузии кислорода равен  $1,22 \cdot 10^5 \text{ м}^2/\text{с}$ , а его динамическая вязкость  $19,5 \text{ мкПа} \cdot \text{с}$ . Найдите плотность кислорода. (Ответ:  $1,6 \text{ кг}/\text{м}^3$ ).

10.13. Вычислите коэффициент теплопроводность азота, если его динамическая вязкость при тех же условиях 10 мкПа·с. (Ответ: 7,42 мДж/м·с·К)

10.14. Определите коэффициент теплопроводность азота, находящегося в некотором объеме при температуре 280 К. (Ответ: 8,25 мДж/м·с·К)

10.15. Углекислый газ и водяной пар находятся при одинаковых температурах и давлениях. Найдите для этих газов отношение: а) коэффициентов диффузии, б) вязкостей, в) теплопроводностей. Принять эффективные диаметры молекул одинаковыми. (Ответ: а)  $D_1/D_2=0,64$ ; б)  $\eta_1/\eta_2=1,56$ ; в)  $\lambda_1/\lambda_2=0,64$ )

### Тема 11. Первое начало термодинамики.

#### Теоретическая часть.

Физическая величина	Обозначение	Единица измерения
Теплоемкость	$C$	Дж/К (Джоуль/Кельвин)
Удельная теплоемкость	$c$	Дж/кг·К (Джоуль/килограмм·Кельвин)
Молярная теплоемкость	$C_m$	Дж/моль·К (Джоуль/моль·Кельвин)
Внутренняя энергия	$U$	Дж (Джоуль)
Количество теплоты	$Q$	Дж (Джоуль)

- Теплоемкость:

$$C = \frac{\delta Q}{dT}, \text{ где } \delta Q \text{ – элементарное количество теплоты переданное газу.}$$

- Удельная теплоемкость:

$$c = \frac{\delta Q}{mdT}.$$

- Молярная теплоемкость:

$$C_m = \frac{\delta Q}{\nu dT}, \text{ где } \nu \text{ – количество вещества.}$$

- Связь между молярной и удельной теплоемкостями:

$$C_m = cM, \text{ где } M \text{ – молярная масса.}$$

- Молярная теплоемкость:

– при постоянном объеме  $C_v = \frac{i}{2} R$ ,

– при постоянном давлении  $C_p = \frac{i+2}{2} R$ , где  $i$  – число степеней свободы.

- Внутренняя энергия идеального газа:

$$U = \frac{i}{2} \frac{m}{M} RT.$$

- Работа газа:

– при изобарном процессе  $A = p(V_2 - V_1)$ ,

– при изотермическом процессе  $A = \frac{m}{M} RT \ln \frac{V_2}{V_1}$ ,

– при адиабатном процессе  $A = \frac{m}{M} C_v (T_1 - T_2)$ .

- Первое начало термодинамики:

$Q = \Delta U + A$ , где  $\Delta U$  – изменение внутренней энергии,  $A$  – работа, совершаемая газом против внешних сил.

### Практическая часть.

11.1. Вычислите удельные теплоемкости при постоянном объеме и постоянном давлении газов: а) гелия, б) водорода. (Ответ: а) 3,12 кДж/кг·К, 5,19 кДж/кг·К, б) 10,4 кДж/кг·К, 14,6 кДж/кг·К)

11.2. Удельная теплоемкость при постоянном давлении некоторого двухатомного газа равна 14,7 кДж/(кг·К). Определите молярную массу этого газа. (Ответ: 2 г/моль)

11.3. Каковы удельные теплоемкости при постоянном объеме и постоянном давлении смеси газов, содержащей кислород массой 10 г и азот массой 20 г? (Ответ: 715 Дж/кг·К, 1,01 кДж/кг·К)

11.4. В закрытый сосуд помещают 20 г азота и 32 г кислорода. Полученную смесь охлаждают на 28<sup>0</sup>С. Определите изменение внутренней энергии смеси газов. (Ответ: 1000 Дж)

11.5. Газ, занимавший объем 12 л под давлением 100 кПа, был изобарно нагрет от температуры 300 К до 400 К. Определите работу расширения газа. (Ответ: 400 Дж)

11.6. Кислород занимает объем 20 л. Определите какое количество теплоты, было сообщено газу, если в процессе изохорного нагревания его давление изменилось на 100 кПа. (*Ответ:* 5 кДж)

11.7. Какая работа совершается при изотермическом расширении водорода массой 5 г, взятого при температуре 290 К, если объем газа увеличивается в три раза? (*Ответ:* 6,62 кДж)

11.8. Работа расширения некоторого двухатомного идеального газа составляет 2 кДж. Найдите количество подведенной к газу теплоты, если процесс протекал: а) изотермически; б) изобарно. (*Ответ:* а) 2 кДж, б) 7 кДж)

11.9. Определите работу адиабатного расширения водорода массой 4 г, если температура газа понизилась на 10 К. (*Ответ:* 416 Дж)

11.10. В закрытом сосуде находится 14 г азота при давлении 0,1 МПа и температуре 27<sup>0</sup>С. После нагревания давление в сосуде повысилось в 5 раз. До какой температуры был нагрет газ? Определите объем сосуда и количество теплоты, сообщенное газу. (*Ответ:* 1500 К, 12,4 л, 12,4 кДж)

11.11. Гелий находится в закрытом сосуде объемом 2 л при температуре 20<sup>0</sup>С и давлении 100 кПа. Какое количество теплоты надо сообщить гелию, чтобы повысить его температуру на 100<sup>0</sup>С? Каковы будут при новой температуре средняя квадратичная скорость его молекул, давление, плотность гелия и энергия теплового движения его молекул? (*Ответ:* 102 Дж, 1,57 км/с, 133 кПа, 0,164 кг/м<sup>3</sup>, 400 Дж)

11.12. Кислород, занимающий при давлении 1 МПа объем 5 л, расширяется в 3 раза. Определите конечное давление и работу, совершенную газом в случае: а) изобарного расширения; б) изотермического расширения. (*Ответ:* а) 1 МПа, 10 кДж, б) 0,33 МПа, 5,5 кДж)

11.13. Кислород массой 2 кг занимает объем 1 м<sup>3</sup> и находится под давлением 0,2 МПа. Газ был нагрет сначала при постоянном давлении до объема 3 м<sup>3</sup>, а затем при постоянном объеме до давления 0,5 МПа. Найдите изменение внутренней энергии газа, совершенную им работу, количество теплоты, переданное газу. Постройте график процесса. (*Ответ:* 3,25 МДж, 0,4 МДж, 3,65 МДж)

11.14. В сосуде под поршнем находится 1 г азота. Какое количество теплоты надо затратить, чтобы нагреть азот на 10 К? На сколько при этом поднимется поршень? Масса поршня 1 кг, площадь его поперечного сечения 10 см<sup>2</sup>. Давление над поршнем 100 кПа. (*Ответ:* 10,4 Дж, 2,8 см)

11.15. Кислород массой 10 г находится при температуре 370 К. Газ адиабатно расширяют, в результате чего его давление уменьшается в 4 раза. Затем газ изотермически сжимают до первоначального давления. Постройте график изменения состояния газа в координатных осях ( $p, V$ ). Определите температуру газа в конце процесса, количество теплоты, отданное газом, изменение внутренней энергии газа, работу, совершенную газом. (Ответ: 249 К, 896 Дж, -786 Дж, -110 Дж)

Тема 12. КПД тепловых двигателей. Энтропия.

Теоретическая часть.

Физическая величина	Обозначение	Единица измерения
Кoeffициент полезного действия (КПД)	$\eta$	—
Энтропия	$S$	Дж/К (Джоуль/Кельвин)

- Термический КПД цикла:

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{A}{Q_1}, \text{ где } Q_1 \text{ – количество теплоты, полученное рабочим телом}$$

(газом) от нагревателя,  $Q_2$  – количество теплоты, переданное рабочим телом охладителю,  $A$  – работа, совершаемая рабочим телом (газом) за цикл.

- КПД цикла Карно:

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \text{ где } T_1 \text{ – температура нагревателя, } T_2 \text{ – температура охладителя.}$$

- Энтропия системы:

$S = k \ln W$ , где  $k$  – постоянная Больцмана,  $W$  – термодинамическая вероятность состояния системы.

- Изменение энтропии:

$$\Delta S = \int_1^2 \frac{\delta Q}{T}$$

- Изменение энтропии в изопроцессах:

– изобарный  $\Delta S = \frac{m}{M} \left( C_v \ln \frac{T_2}{T_1} + R \ln \frac{V_2}{V_1} \right)$ ,

– изотермический  $\Delta S = \frac{m}{M} R \ln \frac{V_2}{V_1}$ ,

– изохорный  $\Delta S = \frac{m}{M} C_v \ln \frac{T_2}{T_1}$ ,

– адиабатный  $\Delta S = 0$ .

### Практическая часть.

12.1. В результате кругового процесса газ совершил работу 1 Дж и передал охладителю количество теплоты 4,2 Дж. Определите термический КПД цикла. (*Ответ:* 0,19)

12.2. Идеальный газ совершает цикл Карно, термический КПД которого равен 0,4. Определите работу изотермического сжатия газа, если работа изотермического расширения составляет 400 Дж. (*Ответ:* –240 Дж)

12.3. Идеальная тепловая машина, работающая по циклу Карно, за цикл получает от нагревателя количество теплоты 2,512 кДж. Температура нагревателя  $127^\circ\text{C}$ , температура охладителя  $27^\circ\text{C}$ . Найдите работу, совершаемую машиной за один цикл и количество теплоты, отдаваемое охладителю за один цикл. (*Ответ:* 630 Дж, 1,88 кДж)

12.4. Идеальная тепловая машина, работающая по циклу Карно, совершает за один цикл работу 73,5 кДж. Температура нагревателя  $100^\circ\text{C}$ , температура охладителя  $0^\circ\text{C}$ . Найдите термический КПД цикла, количество теплоты, получаемое машиной за один цикл от нагревателя и количество теплоты, отдаваемое за один цикл охладителю. (*Ответ:* 0,268, 274 кДж, 200 кДж)

12.5. Идеальный газ совершает цикл Карно. Температура нагревателя в четыре раза выше температуры охладителя. Какую долю количества теплоты, получаемого за один цикл от нагревателя, газ отдает охладителю? (*Ответ:* 0,25)

12.6. Идеальная тепловая машина работает по циклу Карно. При этом 80% количества теплоты, получаемого от нагревателя, передается охладителю. Машина получает от нагревателя количество теплоты 6,28 кДж. Найдите термический КПД цикла и работу, совершаемую машиной за один цикл. (*Ответ:* 0,2; 1,26 кДж)

12.7. Идеальный газ, совершающий цикл Карно, получив от нагревателя количество теплоты 4,2 кДж, совершил работу 590 Дж. Найдите термический КПД этого цикла. Во сколько раз температура нагревателя больше температуры охладителя? (*Ответ:* 0,14; в 1,16 раза)

12.8. Идеальный двухатомный газ, содержащий количество вещества 1 моль, совершает цикл, состоящий из двух изохор и двух изобар. Наименьший объем  $V_{\min}=10$  л, наибольший  $V_{\max}=20$  л, наименьшее давление  $p_{\min}=246$  кПа, наибольшее  $p_{\max}=410$  кПа. Постройте график цикла. Определите температуру газа для характерных точек цикла и его термический КПД. (*Ответ:* 300 К, 500 К, 1000 К, 605 К, 0,085)

12.9. Идеальный двухатомный газ, содержащий количество вещества 1 моль и находящийся под давлением 0,1 МПа при температуре 300 К, нагревают при постоянном объеме до давления 0,2 МПа. После этого газ изотермически расширился до начального давления и затем изобарно был сжат до начального объема. Постройте график цикла. Определите температуру газа для характерных точек цикла и его термический КПД. (*Ответ:* 600 К, 0,099)

12.10. Паровая машина мощностью 14,7 кВт потребляет за 1 ч работы 8,1 кг угля с удельной теплотой сгорания 33 МДж/кг. Температура котла 200<sup>0</sup>С, температура охладителя 58<sup>0</sup>С. Найдите фактический КПД машины и КПД идеальной тепловой машины, работающей по циклу Карно между теми же температурами. (*Ответ:* 0,2; 0,3)

12.11. В результате изохорного нагревания водорода массой 1 г давление газа увеличилось в два раза. Определите изменение энтропии газа. (*Ответ:* 7,2 Дж/К)

12.12. Определите изменение энтропии при изобарном расширении азота массой 4 г от объема 5 л до объема 9 л. (*Ответ:* 2,43 Дж/К)

12.13. Определите изменение энтропии при переходе водорода массой 6 г от объема 20 л под давлением 150 кПа, к объему 60 л под давлением 100 кПа. (*Ответ:* 71 Дж/К)

12.14. Кислород массой 10 г нагревают от температуры 50<sup>0</sup>С до температуры 150<sup>0</sup>С. Найдите изменение энтропии, если нагревание происходит: а) изохорически; б) изобарически. (*Ответ:* а) 1,76 Дж/К, б) 2,46 Дж/К)

12.15. Кислород массой 2 кг увеличил свой объем в 5 раз один раз изотермически, другой – адиабатно. Найдите изменение энтропии в каждом из указанных процессов. (*Ответ:* 836 Дж/К, 0)

**Таблица вариантов к контрольной работе**

Вариант	Номера задач											
1	1.10	2.14	3.8	4.3	5.15	6.10	7.8	8.11	9.2	10.8	11.2	12.4
2	1.4	2.2	3.15	4.1	5.6	6.11	7.6	8.1	9.13	10.10	11.8	12.13
3	1.9	2.15	3.3	4.5	5.1	6.13	7.1	8.5	9.15	10.12	11.11	12.11
4	1.7	2.13	3.12	4.15	5.10	6.7	7.9	8.12	9.1	10.14	11.13	12.4
5	1.5	2.3	3.10	4.11	5.13	6.5	7.7	8.10	9.11	10.2	11.15	12.15
6	1.3	2.1	3.7	4.4	5.5	6.2	7.12	8.14	9.8	10.5	11.10	12.10
7	1.12	2.5	3.11	4.8	5.3	6.14	7.3	8.2	9.4	10.7	11.1	12.2
8	1.14	2.10	3.6	4.6	5.11	6.4	7.13	8.7	9.10	10.4	11.14	12.3
9	1.11	2.6	3.5	4.13	5.8	6.3	7.11	8.9	9.7	10.15	11.12	12.14
10	1.1	2.7	3.1	4.9	5.14	6.9	7.4	8.13	9.3	10.6	11.7	12.6
11	1.15	2.8	3.4	4.10	5.9	6.8	7.14	8.4	9.5	10.9	11.6	12.8
12	1.8	2.4	3.2	4.12	5.2	6.6	7.10	8.15	9.6	10.1	11.9	12.5
13	1.13	2.12	3.14	4.2	5.4	6.12	7.15	8.3	9.9	10.3	11.4	12.9
14	1.6	2.9	3.9	4.7	5.12	6.15	7.2	8.8	9.14	10.13	11.5	12.1
15	1.2	2.11	3.13	4.14	5.7	6.1	7.5	8.6	9.12	10.11	11.3	12.12

При выполнении контрольной работы, студентам с ограниченными возможностями здоровья (инвалидам) рекомендуется выполнять ее поэтапно, решая по несколько задач в неделю с обязательным текущим контролем.

Приложение

**Приставки и множители для образования десятичных кратных  
и дольных единиц и их наименования**

Наименование	Русское обозначение	Множитель
Фемто	ф	$10^{-15}$
Пико	п	$10^{-12}$
Нано	н	$10^{-9}$
Микро	мк	$10^{-6}$
Милли	м	$10^{-3}$
Сант	с	$10^{-2}$
Деци	д	$10^{-1}$
Кило	к	$10^3$
Мега	М	$10^6$



Гига	Г	$10^9$
Тера	Т	$10^{12}$

### Некоторые физические постоянные

Физическая постоянная	Обозначение	Значение
Нормальное ускорение свободного падения	$g$	9,81 м/с <sup>2</sup>
Гравитационная постоянная	$G$	$6,67 \cdot 10^{-11}$ м <sup>3</sup> /(кг·с <sup>2</sup> )
Постоянная Авогадро	$N_A$	$6,02 \cdot 10^{23}$ моль <sup>-1</sup>
Молярная газовая постоянная	$R$	8,31 Дж/(моль·К)
Молярный объем идеального газа при нормальных условиях	$V_m$	$22,4 \cdot 10^{-3}$ м <sup>3</sup> /моль
Постоянная Больцмана	$k$	$1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К
Скорость света в вакууме	$c$	$3,0 \cdot 10^8$ м/с
Масса покоя электрона	$m_e$	$9,109 \cdot 10^{-31}$ кг
Масса покоя протона	$m_p$	$1,675 \cdot 10^{-27}$ кг

### Молярные массы некоторых газов

Газ	Молярная масса, кг/моль
Водород	0,002
Гелий	0,004
Водяной пар	0,018
Азот	0,028
Воздух	0,029
Кислород	0,032
Углекислый газ	0,044

### Поправки Ван-дер-Ваальса для некоторых газов

Газ	Поправки Ван-дер-Ваальса	
	$a$ , Н·м <sup>4</sup> /моль <sup>2</sup>	$b$ , 10 <sup>-5</sup> м <sup>3</sup> /моль
Азот	0,135	3,86
Кислород	0,136	3,17
Углекислый газ	0,361	4,28

## Список использованной литературы

1. Трофимова Т.И., Павлова З.Г. Сборник задач по курсу физики с решениями: Учеб.пособие для вузов. –М.:Высш.шк., 1999.–591с:ил. ISBN 5-06-003534-4.
2. Чертов А.Г., Воробьев А.А. Задачник по физике: Учеб.пособие для студентов втузов. –5-е издание. –М.:Высш.шк., 1988. –527с.:ил. ISBN 5-06-001183-6.
3. Волькенштейн В.С. Сборник задач по общему курсу физики: Учебное пособие.–11-е изд., перераб. –М.:Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1985. –384с.
4. Дмитриева Е.В., Плешивцев В.С. Учебное пособие по физике. Механика. Владим. гос. ун-т. Владимир: Изд-во Владим. гос. ун-та, 2009. –44с. ISBN 978-5-9984-0005-6.
5. Черноуцан А.И. Физика. Задачи с ответами и решениями: учебное пособие. –5-е изд. –М.:КДУ, 2009. –352с.:ил. ISBN 978-5-98227-438-0.
6. Трофимова Т.И. Курс физики: Учеб.пособие для вузов. – 7-е изд., стер. М.:Высш.шк., 2001.–542 с:ил. ISBN 5-06-003634-0.