

**Уральский институт государственной противопожарной службы
МЧС России**

**Физика. Основы молекулярной физики и термодинами-
ки**

Методические указания для выполнения контрольной работы № 2
по дисциплине “Физика” для слушателей 1-го курса
факультета заочного обучения
по специальности 330400 Пожарная безопасность

Екатеринбург 2006

Физика. Основы молекулярной физики и термодинамики: Методические указания для выполнения контрольной работы № 2 по дисциплине “Физика” для слушателей 1-го курса факультета заочного обучения по специальности 330400 Пожарная безопасность для / Екатеринбург: Уральский институт государственной противопожарной службы МЧС России. 2006. 45 с.

Составители: И.М. Морозова, Е.В. Тархова

Рецензент: Скрипов П.В. д. ф-м наук, профессор
Купряжкин А.Я. д. ф-м наук, профессор

Данные методические указания к контрольной работе № 2 разработаны в соответствии с рабочей программой по дисциплине "Физика" и предназначены для помощи слушателям в процессе их самостоятельной работы.

Пособие содержит краткие теоретические сведения по разделу "Основы МКТ и термодинамики", рассмотрены вопросы, вызывающие у слушателей наибольшее затруднения при самостоятельном изучении. Приведены варианты заданий и приведены примеры решения задач.

Рекомендовано к изданию методическим советом
УрИ ГПС МЧС России

Протокол № 5 от 22 декабря 200 5 г.

© Уральский институт ГПС МЧС России, 2006

ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Учебная работа студента факультета заочного обучения по изучению физики состоит из следующих этапов: проработка установочных и обзорных лекций; самостоятельная работа над учебниками и учебными пособиями; прохождение лабораторного практикума, сдача зачетов и экзаменов во время экзаменационно-лабораторных сессий.

Указания к самостоятельной работе по учебным пособиям

Выбрать какое-либо учебное пособие в качестве основного для определенной части курса. Если основное пособие не дает полного или ясного ответа на некоторые вопросы программы, необходимо обращаться к другим учебным пособиям.

При чтении учебного пособия составлять конспект, в котором записывать законы и формулы, выражающие эти законы, определения физических величин и их единиц, делать чертежи и решать типовые задачи.

При изучении очередного раздела следует ставить вопросы и отвечать на них. При этом надо использовать учебную программу.

Прослушать курс лекций по физике, организуемый для студентов-заочников. Пользоваться очными консультациями преподавателей-рецензентов или задавать вопросы в письменном виде.

Указания к выполнению контрольных работ

Контрольные работы позволяют закрепить теоретический материал курса. В процессе изучения физики студент должен выполнить пять контрольных работ по разделам:

1. Физические основы механики.
2. Молекулярная физика, основы термодинамики.
3. Электростатика, постоянный ток.
4. Электромагнетизм, колебания и волны.

5. Волновая оптика, квантовая природа излучения. Элементы квантовой механики, физики атома, твердого тела и атомного ядра.

Контрольные работы выполняются чернилами в обычной школьной тетради или на компьютере. На обложке работы приводятся сведения по следующему образцу:

<p>Уральский институт ГПС МЧС России</p> <p>КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА №</p> <p>по физике</p> <p>слушателя 1 курса факультета заочного обучения</p> <p>специальность 330400</p> <p>Вариант № (две последние цифры номера зачетной книжки)</p> <p>Зачетная книжка №</p> <p>Должность, звание</p> <p>Ф.И.О.</p> <p>Адрес</p>
--

В контрольной работе студент должен решить шесть задач и дать ответ на два теоретических вопроса. Вариант определяется по последним двум цифрам зачетной книжки.

Работу следует выполнять аккуратно. Для замечаний преподавателя на страницах тетради оставлять поля. В конце работы указать, каким учебным пособием студент пользовался при изучении физики (название учебника, автор, год издания).

За неделю до начала сессии контрольная работа должна быть отрецензирована. На экзамене необходимо быть готовым к собеседованию по контрольной работе.

Работа не зачитывается и подлежит переработке (доработке), если

- выполнена не по своему варианту;
- выполнена неряшливо, неразборчивым подчерком;
- выполнена не в полном объеме;
- имеет грубые ошибки.

Если контрольная работа не зачтена, необходимо учесть все замечания, сделать исправления и в той же тетради представить ее на повторную проверку.

Рецензии по зачтенным двум контрольным работам предъявляются экзаменатору.

Примерная схема решения задач

Приступая к решению задач по какому-либо разделу, необходимо ознакомиться по учебной литературе и данному методическому пособию с конкретными физическими понятиями и основными формулами этого раздела. Разобрать приведенные в пособии примеры решения задач изучаемого раздела.

При решении задач целесообразно придерживаться следующей схемы:

- задачу перепишите полностью, по условию задачи представьте физическое явление, сделайте краткую запись условия, выразив исходные данные в единицах СИ;
- сделайте, где это необходимо, чертеж, схему или рисунок, поясните описанный в задаче процесс;
- напишите уравнения или систему уравнений, отображающие физический процесс, дайте словесную формулировку законов, разъясните буквенные обозначения;

- преобразуйте уравнения так, чтобы в них входили лишь исходные данные и табличные величины;
- решив задачу, в общем виде, проверьте ответ по равенству размерностей величин, входящих в расчетную формулу;
- произведите вычисления в соответствии с правилами приближенных вычислений.

Сведения о приближенных вычислениях

В физических задачах числовые значения являются приближенными. Задачи с приближенными данными нужно решать, соблюдая правила подсчета значащих цифр. Значащими называются все цифры, кроме нуля, а также и нуль в двух случаях: когда он стоит между значащими цифрами и когда он стоит в конце числа.

При вычислениях нельзя получить результат более точный, чем исходные данные, поэтому следует вести приближенные вычисления.

При сложении или вычитании приближенных чисел, имеющих различную точность, более точное должно быть округлено до точности менее точного. Например: $9,6 + 0,176 = 9,6 + 0,2 = 9,8$.

При умножении и делении следует в полученном результате сохранять столько значащих цифр, сколько их имеет приближенное данное с наименьшим количеством значащих цифр. Например $0,637 \cdot 0,023 = 0,013$, но не $0,0132496$.

При возведении в квадрат или куб нужно сохранять столько значащих цифр, сколько их имеет возводимое в степень число. Например $1,25^2 = 1,56$, но не $1,5625$; $1,01^3 = 1,03$, но не $1,030301$.

При извлечении квадратного и кубического корней в результате нужно сохранять столько значащих цифр, сколько их имеет подкоренное число. Например $\sqrt{10} = 3,2$, но не $3,162$; $\sqrt[3]{10} = 2,2$, но не $2,154$.

Когда число мало отличается от единицы, можно пользоваться приближенными формулами. Если a, b, c меньше 0,05, то:

$$\begin{aligned}(1 \pm a)(1 \pm b)(1 \pm c) &= 1 \pm a \pm b \pm c; \quad \sqrt{1 \pm a} = 1 \pm a/2; \\ (1 \pm a)^n &= 1 \pm na; \quad 1/(1 \pm a)^n = 1 \mp na; \quad 1/(1 \pm a) = 1 \mp a; \\ e^{\pm a} &= 1 \pm a; \quad \ln(1 \pm a) = \pm a - a^2/2.\end{aligned}$$

Если угол $\alpha \ll 5^\circ$ и выражен в радианах, то в первом приближении можно принять $\sin \alpha = \operatorname{tg} \alpha = \alpha$; $\cos \alpha = 1$

Соблюдая эти правила, студент экономит время на вычислении искоемых величин при решении физических задач.

УЧЕБНАЯ ПРОГРАММА

Материал курса «Физика» для студентов-заочников в учебной программе изложен в традиционном порядке: механика, молекулярная физика и термодинамика, электричество и магнетизм, оптика, элементы физики атома, твердого тела, атомного ядра, что обусловлено таким же порядком изложения разделов курса в большинстве учебников и справочников, которыми пользуются студенты-заочники при самостоятельном изучении физики. Лаборатории кафедры созданы с учетом традиционного порядка изучения разделов курса.

Государственный образовательный стандарт профессионального высшего образования предусматривает при подготовке инженеров по всем направлениям и специальностям одинаковый минимум содержания курса физики. Учебная программа позволяет в процессе чтения лекций и лабораторного практикума более углубленно изучать разделы, важные для конкретной специальности, за счет сокращения других.

Молекулярная физика и основы термодинамики.

Молекулярная кинетическая теория идеального газа.

Предварительные сведения, понятие о статистической физике. Масса и размер молекул. Закон Авогадро. Состояние системы.

Процесс. Работа, совершаемая газом при изменении объема. Температура. Уравнение состояния идеального газа.

Анализ возможности взрыва баллона с газом, находящегося около очага пожара.

Распределение молекул по скоростям. Физическая кинетика.

Экспериментальная проверка закона распределения Максвелла. Распределение Максвелла. Средняя, среднеквадратичная и наиболее вероятная скорости молекул.

Барометрическая формула.

Виды явлений переноса. Средняя длина свободного пробега молекул. Вакуум.

Диффузия в газах. Теплопроводность газов. Вязкость газов.

Понятия о роли явлений переноса при развитии пожара.

Внутренняя энергия газа. Первое начало термодинамики.

Внутренняя энергия идеального газа. Первое начало термодинамики. Применение первого начала термодинамики для анализа изопроцессов. Теплоемкость идеального газа. Адиабатный и политропный процессы.

Второе начало термодинамики. Цикл Карно. Энтропия.

Обратимые и необратимые процессы. Статистический вес (термодинамическая вероятность макросостояния). Энтропия и ее свойства.

Второе начало термодинамики. Цикл Карно. КПД тепловой машины.

Роль второго начала термодинамики при оценке развития пожара.

Реальные газы.

Реальные газы. Газ Ван-дер-Ваальса. Физический смысл констант Ван-дер-Ваальса. Изотермы газа Ван-дер-Ваальса.

Учет метастабильных состояний для обеспечения безопасности человека.

Свойства жидкостей.

Строение жидкости. Поверхностное натяжение. Давление под изогнутой поверхностью жидкости. Явления на границе жидкости и твердого тела. Капиллярные явления.

Роль пенообразователя при тушении пожаров.

Твердые тела. Фазовые превращения.

Испарение и конденсация. Равновесие жидкости и насыщенного пара. Критическое состояние. Плавление и кристаллизация. Уравнение Клапейрона–Клаузиуса.

Тройная точка. Диаграмма состояния.

Учет фазовых превращений при тушении пожаров (замерзание воды в магистральных линиях, испарение и конденсация воды при тушении пожара и т.д.).

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Трофимова Т. И. Курс физики.- М.: Высшая школа, 1990,-478 с.
 2. Детлаф А. А., Яворский Б. М. Курс физики.- М.: Высшая школа, 1989.- 608с.
 3. Савельев И. В. Курс общей физики. Т. 1 - 3. - М.: Наука, 1988.
 4. Епифанов Г. И. Физика твердого тела. - М.: Высшая школа, 1977. - 288с.
 5. Яворский Б. М., Детлаф А. А. Справочник по физике. - М.: Наука, 1980.-512 с.
 6. Чертов А. Г., Воробьев А. А. Задачник по физике.- М.: Высшая школа, 1988.-527с.
- Волькенштейн В. С. Сборник задач по общему курсу физики.- М.: Наука, 1990.-400с.

2. МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА, ОСНОВЫ ТЕРМОДИНАМИКИ.

2.1. Основные формулы

- Количество вещества однородного газа (в молях)

$$\nu = \frac{N}{N_a} = \frac{m}{\mu},$$

где N - число молей газа; N_a - постоянная Авогадро; m - масса газа; μ - молярная масса газа.

Если система представляет смесь нескольких газов, то количество вещества системы

$$\nu = \nu_1 + \nu_2 + \dots + \nu_n = \frac{N_1}{N_a} + \frac{N_2}{N_a} + \dots + \frac{N_n}{N_a}$$

или

$$\nu = \frac{m_1}{\mu} + \frac{m_2}{\mu} + \dots + \frac{m_n}{\mu}$$

где ν_i , N_i , m_i , μ_i – соответственно количество вещества, число молекул, масса, молярная масса, i - компоненты смеси.

- Уравнение Менделеева - Клайперона (уравнение состояния идеального газа)

$$pV = \frac{m}{\mu} RT = \nu RT,$$

где p - давление газа; V - его объем; T - термодинамическая температура; R - универсальная газовая постоянная.

- Опытные газовые законы, являющиеся частными случаями уравнения Менделеева-Клапейрона для изопроцессов:

а) закон *Бойля-Мариотта* (изотермический процесс $T - const$, $\mu - const$):

$$pV = const,$$

или для двух состояний газа: $p_1V_1 = p_2V_2$;

б) закон *Гей-Люссака* (изобарный процесс $P - const$, $\mu - const$):

$$V/T = \text{const}$$

или для двух состояний газа: $V_1/T_1 = V_2/T_2$

в) закон Шарля (изохорный процесс $V = \text{const}$; $\mu = \text{const}$):

$$P/T = \text{const},$$

или для двух состояний газа: $P_1/T_1 = P_2/T_2$

- Закон Дальтона, определяющий давление смеси газов:

$$p = p_1 + p_2 + \dots + p_n,$$

где p_i – парциальные давления компонентов смеси; n – число компонентов смеси (парциальным называется давление газа, которое производил бы этот газ, если бы только он один находился в сосуде, занятом смесью).

- Молярная масса смеси газов: $\mu = \frac{(m_1 + m_2 + \dots + m_n)}{\nu_1 + \nu_2 + \dots + \nu_n}$

где m_i - масса i -го компонента смеси; $\nu_i = m_i/\mu_i$ количество вещества i -го компонента смеси; n - число компонентов смеси.

- Массовая доля i -го компонента смеси газа (в долях единицы или процен-

$$\text{тах}): \omega = \frac{m_i}{m}$$

где m - масса смеси.

- Концентрация молекул: $n = \frac{N}{V} = \frac{\rho N_a}{\mu}$

где N - число молекул, содержащихся в данной системе; V - объем системы; ρ - плотность вещества. Формула справедлива не только для газов, но и для любого агрегатного состояния вещества.

- Основное уравнение кинетической теории газов: $p = \frac{2}{3} n \varepsilon_n$

где ε_n - средняя кинетическая энергия поступательного движения молекулы.

- Средняя кинетическая энергия поступательного движения молекулы

- $\varepsilon_n = \frac{3}{2} kT$, где k - постоянная Больцмана.

- Средняя полная кинетическая энергия молекулы $\varepsilon_i = \frac{i}{2} kT$

где i - число степеней свободы молекулы.

- Зависимость давления газа от концентрации молекул и температуры

$$p = nkT$$

Скорости молекул:

а) средняя квадратичная $v_{кв} = \sqrt{\frac{3kT}{m}} = \sqrt{\frac{3RT}{\mu}}$

б) средняя арифметическая $v = \sqrt{\frac{8kT}{\pi m}} = \sqrt{\frac{8RT}{\pi \mu}}$

в) наиболее вероятная $v_{в} = \sqrt{\frac{2kT}{m}} = \sqrt{\frac{2RT}{\mu}}$

- Относительная скорость молекулы: $u = \frac{v}{v_{в}}$

где v - скорость данной молекулы.

- Средняя длина свободного пробега молекулы и среднее число соударений

молекулы за 1 с: $\lambda = \frac{1}{\sqrt{2}\pi d^2 n}$, $z = \sqrt{2}\pi d^2 n v$

где d - эффективный диаметр молекулы.

- Распределение молекул в потенциальном поле сил (распределение Больц-

мана) $n = n_0 \exp\left(\frac{-\Pi}{kT}\right)$

где n и n_0 – концентрация молекул на высоте h и h_0

$\Pi = mgh$ – потенциальная энергия молекулы в поле тяготения.

- Барометрическая формула: $p = p_0 \exp\left(-\frac{mg(h-h_0)}{kT}\right)$

где p и p_0 – давление газа на высоте h и h_0

- Уравнение диффузии (закон Фика) $dm = -D \frac{d\rho}{dx} S dt$

где dm - масса вещества, переносимая посредством диффузии через площадь S за время dt ;

$\frac{d\rho}{dx}$ –градиент плотности;

$D = \frac{1}{3} \nu \lambda$ - коэффициент диффузии

- Сила внутреннего трения в жидкости и газе $F = -\eta \frac{dv}{dx} S dt$,

где S - площадь движущихся слоев;

$\frac{dv}{dx}$ - градиент скорости;

$\eta = \frac{1}{3} \nu \rho \lambda$ коэффициент внутреннего трения.

- Уравнение теплопроводности $dQ = -K \frac{dT}{dx} S dt$,

где Q - теплота, прошедшая через площадь S за время dt ;

$\frac{dT}{dx}$ - градиент температуры;

K - коэффициент теплопроводности; $K = \frac{1}{3} C_v \rho \nu \lambda = \eta C_v$,

где c_v - удельная теплоемкость газа при постоянном объеме.

- Удельные теплоемкости газа при постоянном объеме (c_v) и при постоянном давлении (C_p):

$$C_v = \frac{iR}{2\mu} \quad C_p = \frac{i+2R}{2\mu}$$

- Связь между удельной c и молярной C теплоемкостями:

$$c = \frac{C}{\mu} \qquad C = c\mu$$

- Уравнение Майера: $C_p - C_v = R$

- Внутренняя энергия идеального газа: $U = \frac{m}{\mu} \frac{i}{2} RT = \frac{m}{\mu} C_v T$

- Первое начало термодинамики: $Q = \Delta U + A$

где Q - теплота, сообщенная системе (газу);

ΔU - изменение внутренней энергии системы;

A - работа, совершенная системой против внешних сил.

Работа расширения газа

в общем случае:
$$A = \int_{V_1}^{V_2} p dV;$$

при изобарном процессе:
$$A = p(V_2 - V_1) = \frac{m}{\mu} R \Delta T;$$

при изотермическом процессе:
$$A = \frac{m}{\mu} RT \ln \frac{V_2}{V_1};$$

при адиабатическом процессе:
$$A = -\Delta U = -\frac{m}{\mu} C_v \Delta T$$

или
$$A = \frac{RT_1}{\gamma - 1} \frac{m}{\mu} \left[1 - \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma - 1} \right],$$
 где $\gamma = C_p / C_v$ - показатель адиабаты.

- Уравнения Пуассона, связывающие параметры идеального газа при адиабатическом процессе:

$$\frac{p_2}{p_1} = \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^\gamma, \quad \frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma - 1}, \quad \frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{\gamma - 1}{\gamma}}$$

- Термический КПД цикла: $\eta = \frac{(Q_1 - Q_2)}{Q_1}$,

где Q_1 – теплота, полученная рабочим телом от теплоотдатчика;

Q_2 – теплота, переданная рабочим телом теплоприемнику

- Термический КПД цикла Карно: $\eta = \frac{(Q_1 - Q_2)}{Q_1} = \frac{(T_1 - T_2)}{T_1}$

где T_1 и T_2 - термодинамические температуры теплоотдатчика и теплоприемника.

- Изменение энтропии $\Delta S = \int_1^2 \frac{dQ}{T}$, где $\frac{dQ}{T}$ - приведенная теплота.

- Уравнение Ван-дер-Ваальса:

$$\left(p + \frac{m^2 a}{\mu^2 V^2} \right) \left(V - \frac{m b}{\mu} \right) = \frac{m}{\mu} RT,$$

где a и b - постоянные Ван-дер-Ваальса, различные для разных газов.

- Критические параметры:

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

- Собственный объем молекулы: $V = \frac{b}{4N_a} = \frac{\pi d^3}{6}$, где d - диаметр молекулы.

- Коэффициент поверхностного натяжения:

$$\sigma = F/l \qquad \sigma = \Delta F / \Delta S$$

где F - сила поверхностного натяжения, действующая на контур l , ограничивающий поверхность жидкости;

ΔE - изменение свободной энергии поверхностной пленки жидкости, связанное с изменением площади ΔS поверхности этой пленки.

- Формула Лапласа, выражающая давление p , создаваемое сферической поверхностью жидкости:

$$p = \frac{2\alpha}{R}$$

где R - радиус сферической поверхности.

- Высота подъема жидкости в капиллярной трубке:

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

где θ – краевой угол

($\theta = 0$ при полном смачивании стенок трубки жидкостью; $\theta = \pi$ при полном несмачивании);

R - радиус канала трубки; ρ - плотность жидкости; g - ускорение свободного падения.

- Высота подъема жидкости между двумя близкими и параллельными друг

другу плоскостями:
$$h = \frac{2\sigma \cos\theta}{\rho g d}$$

где d - расстояние между плоскостями.

2.2.Примеры решения задач

Пример 1. В сосуде объемом 2 м^3 находится смесь 4 кг гелия и 2 кг водорода при температуре 27 С . Определить давление и молярную массу смеси газов.

Дано:

$$V=2 \text{ м}^3;$$

$$\mu_1 = 4 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$$

$$\mu_2 = 2 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$$

Найти: p, μ

Решение:

Воспользуемся уравнением Менделеева-Клапейрона, применив его к гелию и водороду:

$$p_1 V = \frac{m_1}{\mu_1} RT = \nu RT, \quad (1)$$

$$p_2 V = \frac{m_2}{\mu_2} RT = \nu RT, \quad (2)$$

где p_1 и p_2 - парциальные давления гелия и водорода;

m_1 , и m_2 - массы этих газов;

μ_1 , и μ_2 - их молярные массы;

V - объем сосуда;

T - температура газов;

R - универсальная газовая постоянная.

По закону Дальтона давление смеси газов равно сумме парциальных давлений газов, входящих в состав смеси:

$$p = p_1 + p_2 \quad (3)$$

Из (1) и (2) выразим p_1 и p_2 , подставив в (3):

$$p = \frac{m_1 RT}{\mu_1 V} + \frac{m_2 RT}{\mu_2 V} = \left(\frac{m_1}{\mu_1} + \frac{m_2}{\mu_2} \right) \frac{RT}{V} \quad (4)$$

Найдем молярную массу смеси газов:

$$\mu = \frac{m_1 + m_2}{\nu_1 + \nu_2} \quad (5)$$

где ν_1 и ν_2 - число молей гелия и водорода соответственно.

Число молей газов найдем по формулам:

$$\nu_1 = \frac{m_1}{\mu_1} \quad (6)$$

$$\nu_2 = \frac{m_2}{\mu_2} \quad (7)$$

Подставляя (6) и (7) в (5), найдем:

$$\mu = \frac{m_1 + m_2}{m_1/\mu_1 + m_2/\mu_2} \quad (8)$$

Подставляя числовые значения в формулы (4) и (8), получаем искомые величины

Пример 2. Найти среднюю кинетическую энергию вращательного движения одной молекулы кислорода при температуре 350 К, а также кинетическую энергию вращательного движения всех молекул кислорода массой 4 г.

Дано:
$T = 350 \text{ К}$
$m = 4 \text{ г.}$
Найти: $\varepsilon_{\text{вращ}}$
E_k

Решение:

На каждую степень свободы молекулы газа приходится одинаковая средняя энергия $\varepsilon_1 = \frac{1}{2}kT$, где k - постоянная Больцмана; T - термодинамическая температура газа. Так как вращательному движению двухатомной молекулы кислорода соответствуют две степени свободы, то средняя энергия вращательного движения одной молекулы кислорода $\varepsilon_{\text{вращ}} = 2 \cdot \frac{1}{2}kT = kT$ (1)

$$\varepsilon_{\text{вращ}} = 2 \cdot \frac{1}{2}kT = kT \quad (1)$$

Кинетическая энергия вращательного движения всех молекул газа

$$E_k = \varepsilon_{\text{вращ}} \cdot N \quad (2)$$

Число всех молекул газа

$$N = N_a \cdot \nu \quad (3)$$

где N_a - постоянная Авогадро; ν - количество вещества.

Если учесть, что количество вещества $\nu = m/\mu$, то формула (3) примет вид:

$$N = N_a \frac{m}{\mu}$$

Подставив выражение N в формулу (2), получаем:

$$E_k = \varepsilon_{\text{вращ}} \cdot N_a \frac{m}{\mu} \quad (4)$$

Произведем вычисления, учитывая, что $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К; $N_a = 6,02 \cdot 10^{23}$ моль⁻¹, молярная масса кислорода $\mu = 32 \cdot 10^{-3}$ кг/моль

Пример 3. Определить среднюю длину свободного пробега молекул и число соударений за 1 с, происходящих между всеми молекулами кислорода,

находящегося в сосуде емкостью 2 л при температуре 27 ° С и давлении 100 кПа.

Дано:
$V = 2\text{ л} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$
$\mu = 32 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$
$T = 300 \text{ К}$
$P = 100 \text{ кПа}$
$d = 2,9 \cdot 10^{-10} \text{ м}$
Найти: λ, z

Решение

Средняя длина свободного пробега молекул кислорода

$$\lambda = \frac{1}{\sqrt{2}\pi d^2 n}, \quad (1)$$

где d - эффективный диаметр молекулы кислорода; n - число молекул в единице объема, которое можно найти из уравнения:

$$n = p/kT \quad (2)$$

Подставляя (2) в (1), имеем: $\lambda = \frac{kT}{\sqrt{2}\pi d^2 p}$ (3)

Число соударений, происходящих между всеми молекулами за 1 с:

$$z = \frac{1}{2} zN$$

где N - число молекул кислорода в сосуде объемом $2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$: $N = n \cdot V$ (5)

Среднее число соударений молекулы за 1с: $z = v/\lambda$ (6)

где v – средняя арифметическая скорость молекулы:

$$v = \sqrt{\frac{8RT}{\pi\mu}} \quad (7)$$

Подставляя в (4) выражения (5), (6) и (7), находим:

$$z = \frac{1}{2} \frac{\sqrt{8RT/\pi\mu} \cdot \sqrt{2}\pi d^2 p}{kT} \cdot \frac{p}{kT} V = \frac{2\pi d^2 p^2 V}{k^2 T^2} \sqrt{\frac{RT}{\pi\mu}}$$

Подставляем числовые знаменания и находим искомые величины.

Пример 4. Определить коэффициенты диффузии и внутреннего трения азота, находящегося при температуре 300 К и давлении 10^5 Па.

Дано:
$P_0 = 1,25 \text{ кг/м}^3$;
$\mu = 28 \cdot 10^{-3}$
кг/моль;
$T = 300 \text{ К}$;
$P = 10^5 \text{ Па}$;
$d = 3,1 \cdot 10^{-10} \text{ м}$;
Найти: D, μ

Решение

Коэффициент диффузии определяется по формуле

$$D = \frac{1}{3} \cdot v \lambda \quad (1)$$

где v - средняя арифметическая скорость молекул, равная

$$v = \sqrt{\frac{8RT}{\pi\mu}} \quad (2)$$

λ - средняя длина свободного пробега молекул, равная из

$$\text{решения примера 3: } \lambda = \frac{kT}{\sqrt{2}\pi d^2 p} \quad (3)$$

Подставляя (2) и (3) в выражения (1), имеем:

$$D = \frac{1}{3} \frac{\sqrt{8RT/\pi\mu}}{\sqrt{2}\pi d^2 p} kT = \frac{2kT}{3\pi d^2 p} \sqrt{\frac{RT}{\pi\mu}} \quad (4)$$

Коэффициент внутреннего трения

$$\eta = \frac{1}{3} v \lambda \rho \quad (5)$$

где ρ - плотность газа при температуре 300 К и давлении 10^5 Па. Для нахождения ρ воспользуемся уравнением состояния идеального газа. Запишем его для двух состояний азота - при нормальных условиях и условиях задачи:

$$p_0 V_0 = mRT_0 / \mu, \quad pV = mRT / \mu \quad (6)$$

Учитывая, что $\rho_0 = \frac{m}{V_0}$, $\rho = \frac{m}{V}$, имеем:

$$p = p_0 \frac{pT_0}{p_0 T} \quad (7)$$

Коэффициент внутреннего трения может быть выражен через коэффициент диффузии (см. (1) и (5)):

$$\eta = D \cdot p = D p_0 p T / p_0 T \quad (8)$$

Подставляя числовые значения в (4) и (8), получим искомые величины.

Пример 5. Кислород массой 160 г нагревают при постоянном давлении от 320 до 340 К. Определить количество теплоты, поглощенное газом, изменение внутренней энергии и работу расширения газа.

Дано:
$T_1 = 320 \text{ К}$
$T_2 = 340 \text{ К}$
$m = 0,16 \text{ кг}$
Найти: $Q, A,$ ΔU

Решение

Количество теплоты, необходимое для нагревания газа при постоянном давлении:

$$Q = mc_p(T_2 - T_1) = \frac{m}{\mu} C_p(T_2 - T_1), \quad (1)$$

где c_p и $C_p = \mu c_p$ – удельная и молярная теплоемкости газа при постоянном давлении; μ – молярная масса кислорода, равная $32 \cdot 10^{-3}$ кг/моль.

Для всех двухатомных газов $c_p = \frac{7}{2} R$

Изменение внутренней энергии газа: $\Delta U = \frac{m}{\mu} C_v(T_2 - T_1), \quad (2)$

где C_v – молярная теплоемкость газа при постоянном объеме.

Для всех двухатомных газов $c_v = \frac{5}{2} R$

Работа расширения газа при изобарном процессе $A = p\Delta V$, где $\Delta V = V_2 - V_1$ – изменение объема газа, которое можно найти из уравнения Клапейрона-Менделеева. При изобарном процессе

$$pV_1 = mRT_1/\mu \quad (3)$$

$$pV_2 = mRT_2/\mu \quad (4)$$

Почленным вычитанием выражения (4) из (3) находим:

$$p(V_2 - V_1) = \frac{m}{\mu} R(T_2 - T_1),$$

следовательно, $A = \frac{m}{\mu} R(T_2 - T_1)$

Подставляя числовые значения в формулы (1), (2) и (5), получаем искомые величины.

Пример 6. Объем аргона, находящегося при давлении 80 кПа, увеличился от 1 до 2 л. На сколько изменилась внутренняя энергия газа, если расширение производилось: а) изобарно; б) адиабатно?

Дано:
$V_1 = 10^{-3} \text{ м}^3;$
$V_2 = 2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3;$
$p = 0,8 \cdot 10^5 \text{ Па};$
$\mu = 0,04$
кг/моль;
$i = 3$
Найти: ΔU

Решение

Применим первый закон термодинамики, согласно которому количество теплоты, переданное системе, расходуется на увеличение внутренней энергии и на внешнюю механическую работу:

$$Q = \Delta U + A \quad (1)$$

Величину ΔU можно определить, зная массу газа m , удельную теплоемкость при постоянном объеме c_v , и изменение температуры ΔT

$$\Delta U = mc_v \Delta T \quad (2)$$

Однако изменение внутренней энергии удобнее определять через молярную теплоемкость C_v , которая может быть выражена через число степеней свободы:

$$C_v = \frac{c_v}{\mu} = \frac{i}{2} \cdot \frac{R}{\mu} \quad (3)$$

Подставляя величину C_v из формулы (3) в (2), получаем:

$$\Delta U = \frac{m}{\mu} \frac{i}{2} R (T_2 - T_1) \quad (4)$$

Запишем уравнение Клапейрона-Менделеева для начального и конечного состояния газа:

$$pV_1 = mRT_1/\mu \quad pV_2 = mRT_2/\mu$$

или

$$p(V_2 - V_1) = \frac{m}{\mu} R(T_2 - T_1), \quad (5)$$

Подставив (5) в формулу (4), получим:

$$\Delta U = \frac{i}{2} p(V_2 - V_1), \quad (6)$$

Подставим числовые значения и получаем искомую величину.

При адиабатном расширении газа теплообмена с внешней средой не происходит, поэтому $Q = 0$. Уравнение (1) запишется в виде $\Delta U + A = 0$

Это соотношение устанавливает, что работа расширения газа может быть произведена только за счет уменьшения внутренней энергии газа (знак минус перед ΔU):

$$A = -\Delta U \quad (8)$$

Формула работы для адиабатного процесса имеет вид:

$$A = \frac{m}{\mu} \frac{RT_1}{\gamma - 1} \left[1 - \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma - 1} \right], \quad (9)$$

где γ - показатель степени адиабаты, равный отношению теплоемкостей:

$$\gamma = \frac{c_p}{c_v} = \frac{i + 2}{2}$$

Находим изменение внутренней энергии при адиабатном процессе для аргона, учитывая формулы (8) и (9):

$$A = \frac{m}{\mu} \frac{RT_1}{\gamma - 1} \left[\left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma - 1} - 1 \right] \quad (10)$$

Применив уравнение Клапейрона-Менделеева для данного случая:

$$p_1 V_1 = \frac{m}{\mu} RT_1,$$

получим выражение для подсчета изменения внутренней энергии:

$$A = \frac{p_1 V_1}{\gamma - 1} \left[\left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma - 1} - 1 \right] \quad (11)$$

Подставим в (11) числовые значения, находим изменение энергии.

Пример 7. Горячая вода некоторой массы отдает теплоту холодной воде такой же массы и температуры их становятся одинаковыми. Показать, что энтропия при этом увеличивается.

Решение

Пусть температура горячей воды T_1 , холодной T_2 а температура смеси θ . Определим температуру смеси, исходя из уравнения теплового баланса:

$$mc(T_1 - \theta) = mc(\theta - T_2), \quad T_1 - \theta = \theta - T_2$$

откуда

$$\theta = \frac{1}{2}(T_2 + T_1)$$

Изменение энтропии, происходящее при охлаждении горячей воды:

$$\Delta S_1 = \int_{T_1}^{\theta} cm \frac{dT}{T} = cm \ln \frac{\theta}{T_1}$$

Изменение энтропии, происходящее при нагревании холодной воды:

$$\Delta S_2 = \int_{T_2}^{\theta} cm \frac{dT}{T} = cm \ln \frac{\theta}{T_2}$$

Изменение энтропии системы

$$\Delta S = \Delta S_1 + \Delta S_2 = cm \ln \frac{\theta^2}{T_1 T_2}$$

или с учетом соотношения (1) имеем:

$$\Delta S = cm \ln \frac{(T_1 + T_2)^2}{4T_1 T_2}$$

Так как $(T_1 + T_2)^2 > 4T_1 T_2$, то $\Delta S > 0$.

Пример 8. Вычислить эффективный диаметр молекул азота, если его критическая температура 126 К, критическое давление 3,4 МПа.

Дано:
$T_{кр} = 126 \text{ К};$
$P_{кр} = 3,4 \cdot 10^6$
Па
Найти: d

Решение

Азот, согласно условию задачи, должен подчиняться уравнению Ван-дер-Ваальса:

$$\left(p + \frac{m^2}{\mu^2} \frac{a}{V^2} \right) \left(\frac{V}{\nu} - b \right) = RT$$

Постоянную b в уравнении Ван-дер-Ваальса с достаточной степенью точности считают равной учетверенному собственному объему одного моля газа. В моле газа находится число молекул, равное числу Авогадро ($N_a = 6,02 \cdot 10^{23}$ моль⁻¹).

Следовательно, объем одной молекулы: $V = \frac{\pi d^3}{6} = \frac{b}{4N_a}$

откуда $d = 3 \sqrt[3]{\frac{3b}{2\pi N_a}}$

Постоянная $b = \frac{T_{кр} R}{8P_{кр}}$, тогда $d = 3 \sqrt[3]{\frac{3T_{кр} R}{16\pi P_{кр} N_a}}$

Пример 9. Найти добавочное давление внутри мыльного пузыря диаметром 10 см. Какую работу нужно совершить, чтобы выдуть этот пузырь?

Дано:
$\alpha = 40 \cdot 10^3$
Дж/м ²
$d = 10 \text{ см.}$
Найти: p, A

Решение

Пленка мыльного пузыря имеет две сферические поверхности - внешнюю и внутреннюю. Обе поверхности оказывают давление на воздух, заключенный внутри пузыря. Так как толщина пленки чрезвычайно мала, то диаметры обеих поверхностей практически одинаковы. Поэтому

добавочное давление:

$$p = 2 \frac{2\alpha}{r} = \frac{8\alpha}{d}$$

Работа, которую нужно совершить, чтобы, растягивая пленку, увеличить ее поверхность на ΔS , выражается формулой

$$A = \alpha \cdot \Delta S = \alpha(S - S_0)$$

где S – общая площадь двух сферических поверхностей пленки мыльного пузыря; S_0 - общая площадь двух поверхностей плоской пленки, затягивавшей отверстие трубки до выдувания пузыря.

Пренебрегая S_0 получаем: $A = \alpha \cdot S = \alpha 2\pi d^2$

Произведем вычисления.

ВОПРОСЫ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ К ЭКЗАМЕНУ ПО ФИЗИКЕ

Основы молекулярной физики и термодинамики

1. Термодинамические системы. Статистический и термодинамический методы описания свойств макросистем. Тепловое движение молекул, взаимодействие молекул.
2. Термодинамические параметры состояния системы: объем, давление, температура. Уравнение состояния. Термодинамический процесс. Равновесные и неравновесные состояния и процессы.
3. Идеальный газ, уравнение состояния идеального газа. Газовые законы как следствие уравнения состояния.
4. Молекулярно-кинетическая теория, ее физические основы. Основное уравнение молекулярно-кинетической теории.
5. Связь температуры со средней кинетической энергией поступательного движения молекул. Число степеней свободы. Закон равномерного распределения энергии по степеням свободы. Средняя энергия многоатомной молекулы.
6. Внутренняя энергия идеального газа.
7. Теплоемкость идеального газа: молярная и удельная теплоемкости, теплоемкости при постоянном объеме и при постоянном давлении.
8. Распределение молекул газа по скоростям. Функция распределения Максвелла. Вероятностный характер закона.

Последняя цифра зачетной книжки

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Предпоследняя цифра зачетной книжки	1	1 (а)	2 (б)	3 (в)	4 (г)	5 (д)	6 (е)	7 (ж)	8 (з)	9 (и)	10 (к)	
		20 (б)	19 (в)	18 (к)	17 (к)	16 (е)	15 (а)	14 (е)	13 (и)	12 (а)	11 (и)	
		25 (в)	24 (г)	23 (д)	22 (а)	21 (а)	26 (к)	27 (в)	28 (а)	29 (к)	30 (а)	
		31 (г)	32 (д)	33 (е)	34 (а)	35 (к)	36 (б)	37 (а)	38 (б)	39 (г)	40 (в)	
		50 (к)	49 (е)	48 (ж)	47 (б)	46 (б)	45 (в)	44 (б)	43 (в)	42 (б)	41 (б)	
		51 (е)	52 (а)	53 (з)	54 (к)	55 (в)	56 (г)	57 (к)	58 (г)	59 (е)	60 (г)	
61	62	63	64	65	66	67	68	69	70			
86	85	84	83	82	81	80	79	78	77			
2	10 (з)	1 (б)	2 (а)	3 (б)	4 (д)	5 (в)	6 (к)	7 (е)	8 (г)	9 (з)		
	19 (д)	18 (а)	17 (и)	16 (ж)	15 (б)	14 (ж)	13 (з)	12 (б)	11 (к)	20 (а)		
	29 (а)	28 (б)	27 (г)	26 (и)	25 (а)	24 (д)	23 (б)	30 (в)	21 (б)	22 (б)		
	32 (а)	33 (г)	34 (в)	35 (и)	36 (в)	37 (б)	38 (г)	39 (а)	40 (а)	31 (к)		
	42 (в)	41 (д)	50 (и)	49 (а)	48 (г)	47 (а)	46 (в)	45 (г)	44 (д)	43 (д)		
	52 (б)	53 (е)	54 (д)	55 (б)	56 (к)	57 (и)	58 (а)	59 (ж)	60 (в)	51 (в)		
71	72	73	74	75	76	77	78	79	80			
61	62	63	64	65	61	62	63	64	65			
3	9 (к)	10 (в)	1 (в)	2 (в)	3 (а)	4 (е)	5 (г)	6 (и)	7 (в)	8 (к)		
	18 (б)	17 (з)	16 (з)	15 (в)	14 (з)	13 (к)	12 (в)	11 (з)	19 (б)	20 (в)		
	24 (е)	23 (г)	22 (в)	21 (и)	30 (б)	29 (б)	28 (в)	27 (д)	26 (з)	25 (б)		
	33 (а)	34 (б)	35 (з)	36 (а)	37 (в)	38 (а)	39 (б)	40 (б)	31 (а)	32 (б)		
	44 (в)	43 (а)	42 (а)	41 (и)	50 (з)	49 (г)	48 (а)	47 (г)	46 (д)	45 (а)		
	53 (д)	54 (и)	55 (г)	56 (ж)	57 (д)	58 (в)	59 (д)	60 (а)	51 (ж)	52 (в)		
81	82	83	84	85	86	87	88	89	90			
66	67	68	69	71	72	73	74	75	76			
4	8 (и)	9 (в)	10 (б)	1 (г)	2 (г)	3 (е)	4 (а)	5 (а)	6 (ж)	7 (д)		
	17 (ж)	16 (и)	15 (г)	14 (а)	13 (а)	12 (г)	11 (ж)	20 (г)	19 (г)	18 (в)		
	28 (д)	27 (е)	26 (ж)	25 (г)	24 (ж)	23 (ж)	22 (г)	21 (е)	30 (д)	29 (в)		
	34 (д)	35 (ж)	36 (д)	37 (к)	38 (в)	39 (в)	40 (з)	31 (в)	32 (е)	33 (б)		
	46 (а)	45 (б)	44 (з)	43 (и)	42 (д)	41 (а)	50 (ж)	49 (ж)	48 (б)	47 (и)		
	54 (б)	55 (а)	56 (а)	57 (б)	58 (б)	59 (к)	60 (б)	51 (б)	52 (г)	53 (а)		
91	92	93	94	95	96	62	63	64	65			
85	84	83	82	81	86	87	88	89	90			
5	7 (б)	8 (ж)	9 (б)	10 (и)	1 (д)	2 (д)	3 (г)	4 (ж)	5 (з)	6 (в)		
	16 (к)	15 (д)	14 (и)	13 (б)	12 (д)	11 (е)	20 (д)	19 (к)	18 (г)	17 (е)		
	23 (а)	22 (д)	21 (д)	30 (г)	29 (г)	28 (г)	27 (ж)	26 (е)	25 (к)	24 (з)		
	35 (е)	36 (к)	37 (г)	38 (д)	39 (и)	40 (ж)	31 (и)	32 (з)	33 (в)	34 (г)		
	48 (д)	47 (з)	46 (ж)	45 (к)	44 (ж)	43 (б)	42 (з)	41 (в)	50 (е)	49 (б)		
	55 (е)	56 (б)	57 (а)	58 (з)	59 (а)	60 (к)	51 (а)	52 (д)	53 (б)	54 (а)		
66	67	68	69	70	71	72	73	74	75			
91	92	93	94	95	96	63	62	61	64			

		Последняя цифра зачетной книжки									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
6	6 (а)	7 (а)	8 (а)	9 (а)	10 (ж)	1 (е)	2 (ж)	3 (з)	4 (з)	5 (б)	
	15 (е)	14 (к)	13 (в)	12 (е)	11 (д)	20 (е)	19 (и)	18 (д)	17 (д)	16 (а)	
	27 (з)	26 (д)	25 (и)	24 (и)	23 (в)	22 (е)	21 (в)	30 (е)	29 (д)	28 (е)	
	36 (ж)	37 (е)	38 (к)	39 (ж)	40 (е)	31 (б)	32 (г)	33 (и)	34 (к)	35 (г)	
	43 (к)	44 (г)	45 (д)	46 (г)	47 (д)	48 (к)	49 (к)	50 (д)	41 (г)	42 (к)	
56 (в)	57 (в)	58 (е)	59 (з)	60 (и)	51 (г)	52 (е)	53 (в)	54 (е)	55 (ж)		
76	77	78	79	80	81	82	83	84	61		
65	66	67	68	69	70	71	72	74	73		
7	5 (и)	6 (б)	7 (г)	8 (б)	9 (д)	10 (г)	1 (ж)	2 (е)	3 (ж)	4 (и)	
	14 (б)	13 (г)	12 (ж)	11 (г)	20 (ж)	19 (з)	18 (е)	17 (г)	16 (б)	15 (ж)	
	22 (ж)	21 (к)	30 (ж)	29 (е)	28 (ж)	27 (и)	26 (г)	25 (з)	24 (к)	23 (е)	
	37 (д)	38 (з)	39 (е)	40 (д)	31 (д)	32 (в)	33 (к)	34 (ж)	35 (д)	36 (г)	
	45 (е)	46 (е)	47 (в)	48 (в)	49 (и)	50 (г)	41 (к)	42 (и)	43 (е)	44 (а)	
57 (з)	58 (ж)	59 (и)	60 (д)	51 (з)	52 (ж)	53 (ж)	54 (г)	55 (з)	56 (д)		
85	86	87	88	89	90	91	92	93	94		
61	62	63	64	65	66	67	68	75	69		
8	4 (к)	5 (е)	6 (г)	7 (з)	8 (в)	9 (г)	10 (е)	1 (з)	2 (з)	3 (к)	
	13 (д)	12 (з)	11 (в)	20 (з)	19 (ж)	18 (ж)	17 (в)	16 (в)	15 (к)	14 (в)	
	26 (в)	25 (ж)	24 (а)	23 (з)	22 (з)	21 (г)	30 (з)	29 (ж)	28 (з)	27 (к)	
	38 (и)	39 (з)	40 (г)	31 (е)	32 (к)	33 (д)	34 (е)	35 (в)	36 (з)	37 (ж)	
	47 (к)	48 (е)	49 (з)	50 (в)	41 (е)	42 (е)	43 (г)	44 (е)	45 (и)	46 (з)	
58 (д)	59 (г)	60 (ж)	51 (д)	52 (к)	53 (и)	54 (ж)	55 (и)	56 (е)	57 (е)		
68	67	66	64	65	61	62	63	95	96		
96	95	94	93	92	89	90	91	76	77		
9	3 (д)	4 (б)	5 (ж)	6 (з)	7 (и)	8 (е)	9 (е)	10 (д)	1 (и)	2 (и)	
	12 (и)	11 (б)	20 (и)	19 (е)	18 (з)	17 (б)	16 (г)	15 (и)	14 (г)	13 (е)	
	21 (ж)	30 (и)	29 (з)	28 (и)	27 (а)	26 (б)	25 (е)	24 (б)	23 (к)	22 (и)	
	39 (д)	40 (к)	31 (ж)	32 (ж)	33 (ж)	34 (и)	35 (б)	36 (е)	37 (и)	38 (ж)	
	49 (в)	50 (б)	41 (ж)	42 (ж)	43 (з)	44 (к)	45 (з)	46 (к)	47 (ж)	48 (з)	
59 (б)	60 (е)	51 (и)	52 (з)	53 (г)	54 (з)	55 (д)	56 (и)	57 (г)	58 (к)		
78	77	76	69	70	71	72	73	74	75		
94	93	92	91	90	85	86	82	83	61		
0	2 (к)	3 (и)	4 (в)	5 (к)	6 (д)	7 (к)	8 (д)	9 (ж)	10 (а)	1 (к)	
	11 (а)	20 (к)	19 (а)	18 (и)	17 (а)	16 (д)	15 (з)	14 (д)	13 (ж)	12 (к)	
	30 (к)	29 (и)	28 (к)	27 (б)	26 (а)	25 (д)	24 (в)	23 (и)	22 (к)	21 (з)	
	40 (и)	31 (з)	32 (и)	33 (з)	34 (з)	35 (а)	36 (и)	37 (з)	38 (е)	39 (к)	
	50 (а)	41 (з)	42 (г)	43 (ж)	44 (и)	45 (ж)	46 (и)	47 (е)	48 (и)	49 (д)	
60 (з)	51 (к)	52 (и)	53 (к)	54 (в)	55 (к)	56 (з)	57 (ж)	58 (и)	59 (в)		
88	87	86	79	80	81	81	83	84	85		
62	63	64	65	66	67	68	69	70	71		

1. В баллоне под давлением p находится газовая смесь из газа 1 и газа 2.

Считая, что масса газа 1 составляет η % от массы смеси, определить парциальное давление отдельных газов.

Вариант	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	к
<i>газ1</i>	O ₂	Ar	H ₂	N ₂	CO ₂	NH ₃	He	Cl ₂	H ₂ O	Воздух
η	0,5	0,7	0,65	0,4	0,35	0,55	0,8	0,9	0,6	0,35
<i>газ2</i>	Воздух	He	Cl ₂	H ₂ O	O ₂	H ₂	Ar	N ₂	Cl ₂	CO ₂
p , МПа	0,13	1,2	1,2	15	0,14	2	1,3	0,25	0,75	0,8

2. Определить, сколько киломолей и молекул газа содержится в объеме V под давлением p при температуре T . Какова плотность и удельный объем газа?

Вариант	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	к
V , л	50	40	30	20	60	25	35	45	55	65
p , мм.рт.ст	765	786	790	779	755	756	800	732	880	765
T , °C	18	25	20	8	30	45	13	10	12	15
<i>газ</i>	H ₂	He	N ₂	O ₂	CO ₂	H ₂	He	N ₂	O ₂	CO ₂

3. В закрытом сосуде при температуре T и давлении p находятся газ 1 массой m_1 и газ 2 массой m_2 . Считая газы идеальными, определить удельный объем смеси.

Вариант	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	к
T , К	300	320	330	350	360	380	400	290	310	325
p , МПа	0,1	0,15	0,2	0,12	0,13	0,14	0,17	0,18	0,19	0,13
<i>газ 1</i>	H ₂	He	NO	CO ₂	H ₂	N ₂	N ₂	NO ₂	O ₂	H ₂
m_1 , г	10	20	8	24	26	4	45	32	20	15
<i>газ 2</i>	He	O ₂	He	H ₂	CO	CO ₂	NO	CO	NO ₂	O ₂
m_2 , г	16	20	30	15	8	30	24	22	32	49

4. В баллоне объемом V находится газ под давлением p при температуре T_1 . после того, как из баллона было взято m граммов газа, температура в баллоне понизилась до T_2 . определить давление газа, оставшегося в баллоне.

Вариант	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	к
$V, л$	10	8	7	9	11	6	12	4	7,5	8,5
$P, МПа$	1	1,1	4,5	1,3	1,4	2	3	2,5	3,5	0,9
$m, г$	10	15	20	12	25	30	40	35	45	55
$T_1, °C$	300	310	350	340	330	400	330	420	410	320
$T_2, °C$	290	280	310	280	220	320	290	330	350	280
<i>вещество</i>	O ₂	Ar	H ₂	N ₂	CO ₂	NH ₃	He	Cl ₂	H ₂ O	Воздух

5. Какой объем занимает смесь газа 1 и газа 2 при нормальных условиях?
Какова молярная масса смеси?

Вариант	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	к
<i>газ1</i>	O ₂	Ar	H ₂	N ₂	CO ₂	NH ₃	He	Cl ₂	H ₂ O	Воздух
$m_1, кг$	0,5	7,7	7	9,2	1,1	6	12	4	7,5	8,5
<i>газ2</i>	Воздух	He	Cl ₂	H ₂ O	O ₂	H ₂	Ar	N ₂	Cl ₂	CO ₂
$m_2, кг$	1	1,1	4,5	1,3	1,4	2	3	2,5	3,5	0,9

6. В закрытом сосуде емкостью V находится газ 1 и газ 2. Определите температуру газовой смеси и парциальное давление газа 2, если парциальное давление газа 1 равно p_1 .

Вариант	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	к
<i>газ1</i>	O ₂	Ar	H ₂	N ₂	CO ₂	NH ₃	He	Cl ₂	H ₂ O	Воздух
$m_1, кг$	0,5	7,7	7	9,2	1,1	6	12	4	7,5	8,5
<i>газ2</i>	Воздух	He	Cl ₂	H ₂ O	O ₂	H ₂	Ar	N ₂	Cl ₂	CO ₂
$m_2, кг$	1	1,1	4,5	1,3	1,4	2	3	2,5	3,5	0,9
$p_1, МПа$	0,13	1,2	1,2	15	0,14	2	1,3	0,25	0,75	0,8
$V, м^3$	3	3,5	2,5	4	4,5	3,25	5	6	5,5	4,25

7. В резервуаре объемом V находится смесь газов 1 и 2 при температуре T .
определите давление и молярную массу смеси газов.

Вариант	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	к
<i>газ1</i>	O ₂	Ar	H ₂	N ₂	CO ₂	NH ₃	He	Cl ₂	H ₂ O	Воздух
<i>m₁, кг</i>	1,5	7,7	7	9	1,1	6	12	4	7,5	8
<i>газ2</i>	Воздух	He	Cl ₂	H ₂ O	O ₂	H ₂	Ar	N ₂	Cl ₂	CO ₂
<i>m₂, кг</i>	1	1,5	4,5	1,3	1,4	2	3	2,5	3,5	0,9

8. В баллоне содержится газ 1 и газ 2. Давление смеси p , температура T .
принимая данные газы за идеальные, определите емкость V баллона.

Вариант	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	к
<i>газ1</i>	O ₂	Ar	H ₂	N ₂	CO ₂	NH ₃	He	Cl ₂	H ₂ O	Воздух
<i>m₁, кг</i>	2,5	2,7	7	9,2	1,1	6	1,5	4	7,5	8,5
<i>газ2</i>	Воздух	He	Cl ₂	H ₂ O	O ₂	H ₂	Ar	N ₂	Cl ₂	CO ₂
<i>m₂, кг</i>	1	2,3	4,5	1,3	1,4	2	3	2,5	3,5	0,9
<i>p, МПа</i>	0,13	1,2	1,2	1,5	0,14	2	1,3	2,5	7,5	0,8
<i>T₁, °C</i>	300	310	350	340	330	400	330	420	410	320

9. В сосуде емкостью V находится воздух при нормальном давлении и температуре. В сосуд вводят m грамм воды и закрывают крышкой. Определите давление в сосуде при T , если вся вода при этой температуре превращается в пар.

Вариант	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	к
<i>m, г</i>	2,5	3	3,5	3,6	4	5	5,5	6	1,5	7
<i>V, л</i>	3	8	5	8,3	6	7,5	4,5	7	7,5	3,5
<i>T₁, °C</i>	300	320	340	350	360	370	290	310	330	345
<i>T₂, °C</i>	400	420	450	430	460	480	510	530	470	500

10. Определите плотность и молярную массу смеси газов массой m_1 и m_2 при температуре T и при давлении p . Газы считать идеальными.

Вариант	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	к
<i>газ1</i>	O ₂	Ar	H ₂	N ₂	CO ₂	NH ₃	He	Cl ₂	H ₂ O	Воздух
<i>m₁, кг</i>	2,5	2,7	7	9,2	1,1	6	1,5	4	7,5	8,5
<i>газ2</i>	Воздух	He	Cl ₂	H ₂ O	O ₂	H ₂	Ar	N ₂	Cl ₂	CO ₂
<i>m₂, кг</i>	1	2,3	4,5	1,3	1,4	2	3	2,5	3,5	0,9
<i>p, МПа</i>	0,13	1,2	1,2	1,5	0,14	2	1,3	2,5	7,5	0,8
<i>T₁, °C</i>	300	310	350	340	330	400	330	420	410	320

11. При каком давлении средняя длина свободного пробега молекул газа $\langle \lambda \rangle$ при температуре T ? Диаметр молекул газа принять равным d .

Вариант	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	к
$\langle \lambda \rangle, м$	2,5	3	4	4,5	5	8	14	1,2	10	13
$T, °C$	68	93	74	42	52	45	13	35	49	60
$d \cdot 10^{10}, м$	2,3	2,9	3,1	2,3	2,9	3,1	2,3	2,9	3,1	2,3
<i>газ</i>	H ₂	O ₂	N ₂	H ₂	O ₂	N ₂	H ₂	O ₂	N ₂	H ₂

12. Вакуумная система заполнена газом при давлении p . Рассчитать среднюю длину свободного пробега молекул газа при таком давлении, если температура равна T .

Вариант	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	к
$p, мм.рт.ст$	1	0,3	0,4	0,56	0,55	0,18	0,14	0,19	0,35	0,25
$T, °C$	50	93	74	42	52	45	13	35	49	60
$d \cdot 10^{10}, м$	2,3	2,9	3,1	2,3	2,9	3,1	2,3	2,9	3,1	2,3
<i>газ</i>	H ₂	O ₂	N ₂	H ₂	O ₂	N ₂	H ₂	O ₂	N ₂	H ₂

13. Определить среднюю длину свободного пробега молекул и число соударений за время 1 с, происходящих между всеми молекулами газа, находящегося в сосуде емкостью V при температуре T и давлении p .

Вариант	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	к
$V, л$	2	3	4	5	6	7	4,5	2,5	3,5	4,5
$T, °C$	27	35	42	40	50	60	65	35	75	48
$p, кПа$	100	93	74	42	52	45	13	35	49	60
$d \cdot 10^{10}, м$	2,3	2,9	3,1	2,3	2,9	3,1	2,3	2,9	3,1	2,3
газ	H ₂	O ₂	N ₂	H ₂	O ₂	N ₂	H ₂	O ₂	N ₂	H ₂

14. Определить плотность разреженного газа, если средняя длина свободного пробега молекул равна $\langle \lambda \rangle$. Какова концентрация молекул?

Вариант	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	к
$\langle \lambda \rangle, см$	10	12	15	20	8	7	14	13	16	21
$d \cdot 10^{10}, м$	2,3	2,9	3,1	2,3	2,9	3,1	2,3	2,9	3,1	2,3
газ	H ₂	O ₂	N ₂	H ₂	O ₂	N ₂	H ₂	O ₂	N ₂	H ₂

15. Определите коэффициент внутреннего трения для газа, имеющего температуру T .

Вариант	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	к
$T, °C$	27	30	35	440	45	15	20	60	12	8
$d \cdot 10^{10}, м$	2,3	2,9	3,1	1,9	3,5	4	3,1	1,9	3,5	4
газ	H ₂	O ₂	N ₂	He	Ar	CO ₂	N ₂	He	Ar	CO ₂

16. Вычислить коэффициент диффузии газа, находящегося при давлении p и температуре T .

Вариант	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	к
$T, °C$	17	7	35	44	45	15	20	60	12	8
$p, МПа$	0,2	0,2	1	0,15	0,35	0,3	0,25	0,4	0,55	0,45
$d \cdot 10^{10}, м$	2,3	2,9	3,1	1,9	3,5	4	3,1	1,9	3,5	4
газ	H ₂	O ₂	N ₂	He	Ar	CO ₂	N ₂	He	Ar	CO ₂

17. Определить коэффициент диффузии и коэффициент внутреннего трения газа, находящегося при температуре T и давлении p .

Вариант	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	к
$T, ^\circ\text{C}$	12	15	17	28	25	40	35	50	55	10
$p, \text{МПа}$	0,1	0,15	0,2	0,6	0,3	0,4	0,5	1,2	1,3	1,7
$\rho, \text{кг/м}^3$	0,09	1,43	1,25	0,18	1,28	1,98	1,25	0,18	1,28	1,98
$d \cdot 10^{10}, \text{м}$	2,3	2,9	3,1	1,9	3,5	4	3,1	1,9	3,5	4
газ	H ₂	O ₂	N ₂	He	Ar	CO ₂	N ₂	He	Ar	CO ₂

18. Найти плотность газа, если молекула за время 1 с испытывает $\langle z \rangle$ столкновений при температуре T . Какова средняя длина свободного пробега молекул?

Вариант	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	к
$T, ^\circ\text{C}$	12	15	7	28	25	10	35	50	40	55
$\langle z \rangle, \text{с}^{-1}$	2,05	2	2,1	2,5	2,6	3	5	7	8	9
$d \cdot 10^{10}, \text{м}$	2,3	2,9	3,1	1,9	3,5	4	3,1	1,9	3,5	4
газ	H ₂	O ₂	N ₂	He	Ar	CO ₂	N ₂	He	Ar	CO ₂

19. Определить среднюю длину свободного пробега молекул и число соударений за время 1 с, происходящих между всеми молекулами газа, находящегося в сосуде емкостью V при нормальных условиях.

Вариант	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	к
$V, \text{л}$	12	15	7	28	25	10	35	50	40	55
$d \cdot 10^{10}, \text{м}$	2,3	2,9	3,1	1,9	3,5	4	3,1	1,9	3,5	4
газ	H ₂	O ₂	N ₂	He	Ar	CO ₂	N ₂	He	Ar	CO ₂

20. Определить во сколько раз отличаются коэффициенты динамической вязкости газа 1 и газа 2, если оба газа находятся при одинаковых температуре и давлении. Эффективные диаметры молекул этих газов известны.

Вариант	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	к
$d_1 \cdot 10^{10}, м$	2,3	2,9	3,1	1,9	3,5	4	3,1	1,9	3,5	4
$d_2 \cdot 10^{10}, м$	2,9	3,1	1,9	3,5	2,3	3,1	2,3	4	1,9	2,3
газ 1	H ₂	O ₂	N ₂	He	Ar	CO ₂	N ₂	He	Ar	CO ₂
газ 2	O ₂	N ₂	He	Ar	H ₂	N ₂	H ₂	CO ₂	He	O ₂

21. Газ массой m_1 расширяется в результате изобарного процесса при давлении p . Определить: 1) работу расширения; 2) конечный объем газа, если на расширение затрачена теплота Q , а начальная температура газа равна T .

Вариант	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	к
$p, МПа$	1,65	1	0,95	1,12	0,4	0,7	0,5	0,85	1,35	0,15
$m, г$	280	180	200	220	230	240	250	170	270	300
$Q, кДж$	5	7	4,5	3	4	8	6,5	4,5	5,5	9
$T,$	290	280	270	250	220	300	320	350	340	275
газ	H ₂	O ₂	N ₂	He	Ar	CO ₂	N ₂	He	Ar	CO ₂

22. Газ массой m совершает цикл Карно. При изотермическом расширении газа его объем увеличивается в n раз, а при последующем адиабатическом расширении совершается работа A . Определить работу, совершенную за цикл.

Вариант	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	к
$m, кг$	2	3	4	2,5	1,5	1	2	3,5	4	2,5
n	3	5	6	7	8	9	2	4	6	8
$A, Дж$	3550	5000	4000	6000	7000	2500	3500	4500	6100	7100
газ	N ₂	Ar	H ₂	He	O ₂	CO ₂	N ₂	Ar	H ₂	He

23. Газ при давлении p изменил объем с V_1 до V_2 . Как изменится величина внутренней энергии, если расширение газа проводилось при различных процессах: изобарном, адиабатическом?

Вариант	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	к
$p, \text{ атм}$	0,3	0,2	0,5	0,8	0,65	0,45	0,55	0,9	1,1	0,35
$V_1, \text{ л}$	1	2	3	1	1	2,5	4,5	3	2,5	1
$V_2, \text{ л}$	5	7	5	3	6	5,5	6,8	5	4	5,5
<i>газ</i>	H ₂	O ₂	N ₂	He	Ar	CO ₂	N ₂	He	Ar	CO ₂

24. Идеальный n атомный газ (ν молей), занимающий объем V_1 и находящийся под давлением p_1 , подвергают изохорному нагреванию до T_2 . После этого газ подвергли изотермическому расширению до начального давления, а затем он в результате изобарного сжатия возвращен в первоначальное состояние. Построить график цикла и определить термодинамический КПД цикла.

Вариант	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	к
$\nu, \text{ моль}$	3	2	5	4	6	7	3	1,5	2,5	3,5
$V_1, \text{ л}$	5	1	4	6	8,5	2,5	4,5	3	2,5	3
$p_1, \text{ МПа}$	1	7	2	3	4	2	1,75	1,2	4	3,5
$T_2, \text{ }^\circ\text{C}$	500	600	400	750	780	800	650	850	550	740
<i>газ</i>	H ₂	O ₂	N ₂	He	Ar	CO ₂	N ₂	He	Ar	CO ₂

25. Газ массой m нагревают при постоянном давлении от T_1 до T_2 . Определите количество теплоты, поглощенное газом, изменение внутренней энергии и работу расширения газа.

Вариант	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	к
$m, \text{ г}$	100	160	110	120	140	130	150	155	125	165
$T_1, \text{ }^\circ\text{C}$	300	320	270	280	290	350	310	315	330	340
$T_2, \text{ }^\circ\text{C}$	310	340	286	340	370	355	350	325	370	390
<i>газ</i>	H ₂	O ₂	N ₂	He	Ar	CO ₂	N ₂	He	Ar	CO ₂

26. В цилиндре под поршнем находится газ, который имеет массу m и начальную температуру T . Газ сначала расширили адиабатически, увеличив свой объем в n_1 раз, а затем был сжат изотермически, причем объем газа уменьшился в n_2 раз. Найти температуру в конце адиабатического расширения и работу, совершенную газом. Изобразить процесс графически.

Вариант	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	к
$m, \text{г}$	200	160	110	120	140	130	150	155	125	165
n_1	5	4	3	2	6	7	9	8	5	4
n_2	3	4	2	2	6	4	9	8	5	4
$T, ^\circ\text{C}$	27	25	24	23	20	15	28	29	30	32
газ	H_2	O_2	N_2	He	Ar	CO_2	N_2	He	Ar	CO_2

27. Газ массой m занимает объем V_1 и находится под давлением p_1 . Газ был нагрет сначала при постоянном давлении до объема V_2 , а затем при постоянном объеме до давления p_2 . Найти изменение внутренней энергии газа, совершенную им работу A и количество теплоты Q , переданное газу. Построить график процесса.

Вариант	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	к
$m, \text{кг}$	2	3	4	2,5	1,5	1	2	3,5	4	2,5
$V_1, \text{м}^3$	1	2	1,5	2,5	3	1,5	1	2,5	3,5	4
$p_1, \text{МПа}$	0,2	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,5	0,6	0,7
$V_2, \text{м}^3$	3	5	6	7	8	9	4,5	5,5	6,5	7
$p_2, \text{МПа}$	0,5	0,6	0,7	0,8	0,75	0,65	0,9	1	0,9	1,2
газ	N_2	Ar	H_2	He	O_2	CO_2	N_2	Ar	H_2	He

28. Тепловая машина работает по циклу Карно. При изотермическом расширении газа его объем увеличивается в n_1 раз, а при последующем адиабатическом расширении – в n_2 раз. Определить КПД цикла. Какую работу совершает ν кмоль газа за один цикл, если температура нагревателя T ? Какое количество теплоты получит от холодильника машина, если она бу-

дет совершать тот же цикл в обратном направлении, и какое количество теплоты будет передано нагревателю?

Вариант	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	к
ν , кмоль	1	3	4	2,5	1,5	1	2	3,5	4	2,5
n_1	3	2	3	4	5	2,5	3,5	4	6	8
n_2	5	4	5	2	8	7	5	2,85	7	5
T , °C	300	320	340	350	360	380	400	520	420	600
газ	N ₂	Ar	H ₂	He	O ₂	CO ₂	N ₂	Ar	H ₂	He

29. Газ, находящийся при давлении p_1 и температуре T_1 , подвергли сначала адиабатному расширению об объема V_1 до объема V_2 , а затем изобарному расширению, в результате которого объем газа увеличился от объема V_2 до объема V_3 . определить для каждого из этих процессов: 1) работу, совершенную газом; 2) изменение его внутренней энергии; 3) количество подведенной к газу теплоты.

Вариант	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	к
p_1 , МПа	0,5	0,4	0,25	0,3	0,35	0,55	0,6	0,7	0,15	0,2
T_1 , °C	350	290	300	320	370	380	400	410	420	450
V_1 , л	1	2	3,5	2,5	3	4	4,5	5	6,5	1,5
V_2 , л	2	3	4	5	6	5,5	7	8,5	8	3
V_3 , л	3	4,5	6	5,5	7	8	9	10	9,5	5
газ	N ₂	Ar	H ₂	He	O ₂	CO ₂	N ₂	Ar	H ₂	He

30. Определите удельные теплоемкости c_V и c_p смеси газа 1 массой m_1 и газа 2 массой m_2 .

Вариант	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	к
газ1	He	NO	CO ₂	H ₂	N ₂	CO	NO ₂	O ₂	Ar	H ₂
газ2	CO ₂	H ₂	Ar	He	O ₂	CO ₂	CO ₂	H ₂	He	CO ₂
m_1 , г	0,5	3	4	5	6	7	8	9	2,5	4

$m, \text{г}$	2,5	1,5	5	3,5	1,5	9	4	5	0,5	3
---------------	-----	-----	---	-----	-----	---	---	---	-----	---

31. Лед массой m , находящийся при температуре T , нагрели и превратили в пар. Определить изменение энтропии.

Вариант	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	к
$m, \text{г}$	2	3	4	5	2,5	3,5	6	7	4,5	6,2
$T, \text{°C}$	-10	-8	-7	-11	-12	-13	-14	-20	-18	-19

32. Струя водяного пара при температуре 100°C , направленная на глыбу льда, масса которой m и температура T_1 , растопила ее и нагрела получившуюся воду до температуры T_2 . Найти изменение энтропии при описанных процессах.

Вариант	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	к
$m, \text{кг}$	5	3	4	5	2,5	3,5	6	7	4,5	6,2
$T_1, \text{°C}$	-10	-8	-7	-11	-12	-13	-14	-20	-18	-19
$T_2, \text{°C}$	50	30	45	60	70	75	65	40	35	55

33. Теплоизолированный сосуд, разделенный на две неравные части V_1 и V_2 , наполнен идеальным газом. В первой части газ находится под давлением p_1 , при температуре T_1 , во второй части – под давлением p_2 и при той же температуре. Найти изменение энтропии всей системы после удаления перегородки и установления равновесного состояния.

Вариант	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	к
$p_1, \text{МПа}$	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,05	0,4	0,45	0,5
$p_2, \text{МПа}$	0,5	0,45	0,6	0,55	0,7	0,65	0,4	0,85	0,75	0,9
$T_1, \text{°C}$	27	28	25	22	23	24	20	21	19	18
$V_1, \text{л}$	2	2,5	3	4,5	5	5,5	6	6,5	7	7,5
$V_2, \text{л}$	3	1	5,6	7	2,5	3	4	5	2	1,5

34. Газ массой m адиабатно расширили в n раз, а затем изобарно сжали до первоначального объема. Определить изменение энтропии газа в ходе указанных процессов.

Вариант	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	к
$m, г$	28	150	28	100	128	120	60	14	134	160
n	2,5	3	2	4	4,5	5	2,25	3,25	4,25	5,25
<i>газ</i>	H ₂	O ₂	N ₂	He	Ar	CO ₂	N ₂	He	Ar	CO ₂

35. При нагревании идеального газа (ν моль) его термодинамическая температура увеличилась в n раз. Определите изменение энтропии, если нагревание происходит: 1) изохорно; 2) изобарно.

Вариант	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	к
$\nu, \text{ моль}$	2	3	4	2,5	5	6	7	8	4,5	6,5
n	2	3	2	4	4,5	5	1,5	2,5	4,25	2
<i>газ</i>	H ₂	O ₂	N ₂	He	Ar	CO ₂	N ₂	He	Ar	CO ₂

36. Идеальный газ (ν моль) изобарно нагрели, так что его объем газа увеличился в n_1 раз, а затем изохорно охладили, так что давление его уменьшилось в n_2 раз. Определить изменение энтропии газа в ходе указанных процессов.

Вариант	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	к
$\nu, \text{ моль}$	2	3	4	2,5	5	6	7	8	4,5	6,5
n_1	2	3	2	4	4,5	5	1,5	2,5	2	2
n_2	3	2	4	5	6	7	2	1,5	6	1,5
<i>газ</i>	водород	кислород	азот	гелий	аргон	CO ₂	оксид азота	He	оксид углерода	диоксид азота

37. В сосуде емкостью V находится водяной пар массой m при температуре T . Вычислить давление пара на стенки сосуда. Какую часть объема составляет собственный объем молекул пара? Какую часть давления составляет внутреннее давление?

Вариант	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	к
$V, \text{ л}$	10	8	7	6	9	10	12	13	14	15
$M, \text{ г}$	360	200	250	150	210	160	220	170	190	350
$T, \text{ }^\circ\text{C}$	470	500	450	420	560	490	540	460	520	430
$a \cdot 10^3, \text{ Н} \cdot \text{м}^4 / \text{моль}^2$	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5
$b \cdot 10^5, \text{ м}^3 / \text{моль}$	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3

38. Анализируя уравнение состояния реальных газов, определите величины поправок a и b для газа. Критические давление и температура для газа известны. Что это за газ?

Вариант	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	к
$T, \text{ К}$	148	32	126	153	304	658	148	32	126	153
$p, \text{ МПа}$	4,77	1,22	3,34	4,96	7,35	2,28	4,77	1,22	3,34	4,96

39. Реальный газ (ν молей) занимает объем V_1 . Определите изменение температуры газа, если он адиабатно расширяется в вакуум до объема V_2 .

Вариант	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	к
$\nu, \text{ молей}$	2	3	4	5	3,5	2,5	6	4,5	7	10
<i>газ</i>	O_2	Ar	H_2	N_2	CO_2	NH_3	He	Cl_2	H_2O	Воздух
$V_1, \text{ л}$	1	2	0,3	3,5	2,5	1,5	4	5	6	4,5
$V_2, \text{ л}$	10	20	27	18	19	17	22	25	30	35

40. Газ (ν молей) адиабатно расширяется в вакуум. Температура газа при этом уменьшается на T . Определите работу, совершаемую газом против межмолекулярных сил притяжения.

Вариант	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	к
ν , молей	2	3	4	2	3,5	2,5	6	4,5	7	10
газ	O ₂	Ar	H ₂	N ₂	CO ₂	NH ₃	He	Cl ₂	H ₂ O	Воздух
ΔT , K	-1	-2	-3	-1,5	-2,5	-3	-4	-5	-1,5	-2

41. Газ (ν молей), занимавший при T объем V , расширяется изотермически до V . Определите: 1) работу при расширении; 2) изменение внутренней энергии газа.

Вариант	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	к
ν , молей	1	3	4	2	3,5	2,5	6	4,5	7	1
газ	O ₂	Ar	H ₂	N ₂	CO ₂	NH ₃	He	Cl ₂	H ₂ O	Воздух
T , °C	400	250	200	300	350	450	500	225	325	378
V_1 , л	1	1,5	2	3	3,5	2,5	4	1,5	1	2
V_2 , л	2	3	5	5	7	6	7	4	5,5	6

42. Определите эффект Джоуля-Томсона при дросселировании газа, для которого силами притяжения молекул можно пренебречь.

Вариант	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	к
p_1 , МПа	2	3	2	4	4,5	5	1,5	2,5	2	2
p_2 , кПа	3	2	4	5	6	7	2	1,5	6	1,5
газ	водород	кислород	азот	гелий	аргон	углекислый газ	оксид азота	гелий	оксид углерода	диоксид азота

43. Определите эффект Джоуля-Томсона при дросселировании газа, для которого можно пренебречь собственным объемом молекул.

Вариант	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	к
$V_1, л$	2	3	2	4	0,5	5	1,5	2,5	2	0,2
$V_2, м^3$	35	22	45	50	60	75	25	150	60	15
<i>газ</i>	водород	кислород	азот	гелий	аргон	углекислый газ	оксид азота	гелий	оксид углерода	диоксид азота

44. Две капли вещества радиусом r каждая слились в одну большую каплю. Считая процесс изотермическим, определите уменьшение поверхностной энергии при этом слиянии, если поверхностное натяжение известно.

Вариант	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	к
$r, мм$	2	3,5	1	10	1,5	2,5	4	3	1,2	0,5
<i>вещество</i>	вода	мыло	глицерин	ртуть	бензол	гексан	толуол	вода	этиловый спирт	ацетон

45. В сосуде под давлением p содержится газ, плотность которого ρ . Считая газ реальным, определите его температуру и сравните ее с температурой идеального газа при тех же условиях.

Вариант	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	к
$p, МПа$	8	3,5	11	12	9	7	6	5	4	10
<i>газ</i>	O ₂	Ar	H ₂	N ₂	CO ₂	NH ₃	He	Cl ₂	H ₂ O	Воздух
$\rho, кг/м^3$	100	120	30	130	290	126	10	170	160	140

46. Как изменится высота поднятия вещества между двумя пластинками, погруженными в вещество, если расстояние между ними уменьшить с d_1 до d_2 ? Смачивание пластинок считать полным.

Вариант	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	к
$d_1, \text{мм}$	1	1,5	2	0,8	1	0,9	1,2	1	1,5	1,6
$d_2, \text{мм}$	0,5	0,7	0,5	0,2	0,6	0,3	0,7	0,5	0,65	0,75
<i>вещество</i>	вода	хлороформ	глицерин	ртуть	бензол	CCl_4	метиловый спирт	вода	этиловый спирт	ацетон

47. При какой температуре средняя квадратичная скорость молекул газа больше их наиболее вероятной скорости на ν .

Вариант	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	к
$\nu, \text{м/с}$	50	100	125	150	100	50	100	125	150	100
<i>газ</i>	водород	кислород	азот	гелий	аргон	углекислый газ	оксид азота	гелий	оксид углерода	диоксид азота

48. Используя функцию распределения молекул идеального газа по энергиям

$$f(\varepsilon) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} (kT)^{-3/2} \varepsilon^{1/2} e^{-\varepsilon/(kT)},$$

найти наиболее вероятное значение энергии молекул при температуре T .

Вариант	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	к
$T, \text{°C}$	220	200	250	420	525	845	950	400	300	260

49. Закон распределения молекул газа по скоростям в некотором молекуляр-

ном пучке имеет вид $f(\nu) = A\nu^3 e^{-m_0\nu^2/(2kT)}$. Определите наиболее вероятную скорость молекул при температуре T .

Вариант	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	к
$T, ^\circ\text{C}$	220	360	250	420	510	810	950	400	300	200

50. Закон распределения молекул газа по скоростям в некотором молекулярном пучке имеет вид $f(v) = Av^2 e^{-m_0 v^2 / (2kT)}$. Определите наиболее вероятную скорость молекул при температуре T .

Вариант	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	к
$T, ^\circ\text{C}$	540	320	610	725	845	635	250	420	290	345

51. Закон распределения молекул газа по скоростям в некотором молекулярном пучке имеет вид $f(v) = Av^4 e^{-m_0 v^2 / (2kT)}$. Определите наиболее вероятную скорость молекул при температуре T .

Вариант	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	к
$T, ^\circ\text{C}$	220	360	250	420	510	810	950	400	300	200

52. Температура газа T . Определить долю молекул, скорость которых лежит в интервале от v_1 до v_2 .

Вариант	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	к
газ	азот	аргон	водород	гелий	кислород	углекислый газ	оксид азота	оксид углерода	водород	диоксид азота
$T, ^\circ\text{C}$	480	500	510	420	700	750	620	380	600	570
$v_1, \text{м/с}$	100	220	350	430	520	650	730	490	250	320
$v_2, \text{м/с}$	110	230	360	440	530	660	740	500	260	330

53. Закон распределения молекул газа по скоростям в некотором молекуляр-

ном пучке имеет вид $f(v) = Av^3 e^{-m_0 v^2 / (2kT)}$. Определите наиболее вероятное значение энергии молекул в этом пучке при температуре T .

Вариант	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	к
$T, ^\circ\text{C}$	240	300	250	290	310	330	280	220	200	230

54. Закон распределения молекул газа по скоростям в некотором молекуляр-

ном пучке имеет вид $f(v) = Av^2 e^{-m_0 v^2 / (2kT)}$. Определите наиболее вероятное значение энергии молекул в этом пучке при температуре T .

Вариант	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	к
$T, ^\circ\text{C}$	220	360	250	420	510	810	950	400	300	200

55. Закон распределения молекул газа по скоростям в некотором молекуляр-

ном пучке имеет вид $f(v) = Av^4 e^{-m_0 v^2 / (2kT)}$. Определите наиболее вероятное значение энергии молекул в этом пучке при температуре T .

Вариант	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	к
$T, ^\circ\text{C}$	240	300	250	290	310	330	280	220	200	230

56. Газ нагревают от температуры T_1 до T_2 . Рассчитать для каждой из указанных температур значения функции Максвелла при скоростях: а) $v=v_0$; б) $v=v_0+200$ м/с; в) $v=v_0-200$ м/с. По полученным значениям построить графики функций $f(v, T)$ для каждой из температур. Определить, во сколько

раз изменяется при увеличении температуры доля молекул, скорость которых находится в интервале от v_1 до v_2 .

Вариант	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	к
<i>газ</i>	азот	аргон	водород	гелий	кислород	углекислый газ	оксид азота	оксид углерода	водород	диоксид азота
$T_1, ^\circ\text{C}$	240	300	250	290	310	330	280	220	200	230
$T_2, ^\circ\text{C}$	480	500	510	420	700	750	620	380	600	570
$v_1, \text{м/с}$	100	220	350	430	520	650	730	490	250	320
$v_2, \text{м/с}$	110	230	360	440	530	660	740	500	260	330

57. При какой температуре средняя квадратичная скорость молекул газа больше их наиболее вероятной скорости на n ?

Вариант	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	к
$n, м/с$	100	350	200	300	400	150	500	600	450	200
<i>газ</i>	O ₂	Ar	H ₂	N ₂	CO ₂	NH ₃	He	Cl ₂	H ₂ O	Воздух

58. На какой высоте давление воздуха составляет x % от давления на уровне моря? Считайте, что температура воздуха везде одинакова и равна T .

Вариант	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	к
$x, \%$	80	30	60	50	40	25	70	55	35	75
$T, ^\circ C$	10	15	20	10	15	20	12	10	18	16

59. Каково давление воздуха в шахте на глубине H , если считать, что температура по всей высоте постоянна и равна T , а ускорение свободного падения не зависит от высоты? Давление воздуха у поверхности земли примите равным 1 атм.

Вариант	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	к
$H, м$	800	1000	900	750	1200	850	960	1500	740	1000
$T, ^\circ C$	20	21	22	10	15	16	17	18	19	20

60. Определите отношение давления воздуха на высоте H к давлению на дне скважины глубиной h . Воздух у поверхности Земли находится при нормальных условиях, и его температура не зависит от высоты.

Вариант	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	к
$H, м$	1000	1500	1900	1700	2000	1850	1900	2500	1700	1400
$h, м$	800	1000	900	750	1200	850	960	1500	740	1000

61. Понятие идеального газа. Масса и размер молекул идеального газа. Закон Авогадро.
62. Состояние системы. Параметры состояния. Уравнение состояния идеального газа.
63. Термодинамический процесс. Виды термодинамических процессов.
64. Работа, совершаемая газом при изменении объема.
65. Температура, приборы для ее измерения.
66. Распределение Максвелла, экспериментальная проверка закона распределения Максвелла.
67. Средняя, среднеквадратичная и наиболее вероятная скорость молекул.
68. Барометрическая формула.
69. Явления переноса, их виды.
70. Средняя длина свободного пробега молекул.
71. Вакуум.
72. Диффузия в газах.
73. Теплопроводность газов.
74. Вязкость газов.
75. Внутренняя энергия идеальных газов.
76. Первое начало термодинамики.
77. Анализ изотермического процесса с применением первого начала термодинамики.
78. Анализ изобарного процесса с применением первого начала термодинамики.
79. Анализ изохорного процесса с применением первого начала термодинамики.
80. Теплоемкость идеального газа.
81. Адиабатный процесс.
82. Политропный процесс.
83. Термодинамический процесс. Обратимые и необратимые процессы.

84. Статистический вес (термодинамическая вероятность макросостояния).
85. Энтропия и ее свойства.
86. Второе начало термодинамики. КПД тепловой машины.
87. Цикл Карно. КПД цикла Карно.
88. Реальные газы. Газ Ван-дер-Ваальса. Изотермы газа Ван-дер-Ваальса.
89. Строение жидкости. Поверхностное натяжение.
90. Строение жидкости. Давление под изогнутой поверхностью жидкости.
91. Явления на границе жидкости и твердого тела.
92. Капиллярные явления.
93. Испарение и конденсация. Равновесие жидкости и насыщенного пара.
94. Испарение и конденсация. Критическое состояние.
95. Плавление и кристаллизация. Уравнение Клапейрона-Клаузиуса.
96. Тройная точка. Диаграмма состояния.

ПРИЛОЖЕНИЕ

**Уральский институт государственной
противопожарной службы
МЧС России**

200_ - 200_ учебный год

Контрольная работа №

по «ФИЗИКЕ »

Вариант № _____

зачетная книжка № _____

Слушателя _____ курса

Уральского института Государственной
противопожарной службы МЧС России

(должность, звание)

(фамилия, имя, отчество)

Обратный адрес _____

Дата выполнения работы _____

Таблица 1. Поправки Ван-дер-Ваальса

Газ	Поправки Ван-дер-Ваальса	
	$a,$ Н·м ⁴ /моль ²	$b,$ 10 ⁻⁵ м ³ /моль
Азот	0,135	3,86
Аммиак	0,422	3,72
Аргон	0,134	3,22
Водород	0,0244	2,64
Водяной пар	0,545	3,04
Воздух	0,136	3,66
Гелий	0,0034	2,35
Кислород	0,136	3,17
Криптон	0,231	3,95
Ксенон	0,416	5,12
Метан	0,226	4,26
Неон	0,021	1,70
Углекислый газ	0,361	4,28
Хлор	0,650	5,62

Таблица 2. Эффективный диаметр молекул газов при нормальных условиях

Газ	Эффективный диаметр $d,$ нм	Газ	Эффективный диаметр $d,$ нм
Азот	0,31	Гелий	0,20
Аргон	0,29	Кислород	0,29
Водород	0,28	Пары воды	0,30
Воздух	0,31	Углекислый газ	0,32

Таблица 3. Плотность жидкостей

Жидкость	Плотность ρ, 10^3 кг/м^3	Жидкость	Плотность ρ, 10^3 кг/м^3
Бензол	0,88	Масло касто- ровое	0,96
Вода (при $t = 4^\circ\text{C}$)	1,00	Ртуть	13,6
Глицерин	1,26	Сероуглерод	1,26
Керосин	0,80	Спирт	0,80
Масло смазочное	0,90	Эфир	0,70

Таблица 4. Плотность газов при нормальных условиях
($T_0 = 273,15 \text{ K}$, $p_0 = 101\,325 \text{ Па}$)

Газ	Плотность ρ, кг/м^3	Газ	Плотность ρ, кг/м^3
Азот	1,25	Гелий	0,18
Аммиак	0,76	Кислород	1,43
Аргон	1,78	Метан	0,72
Водород	0,09	Углекис- лый газ	1,96
Воздух	1,29	Хлор	3,16

Таблица 5. Поверхностное натяжение жидкостей (при $t = 20^\circ\text{C}$)

Жидкость	Поверхностное натяжение σ, мН/м
Вода	73
Глицерин	62
Масло касторовое	33
Мыльная вода	40
Ртуть	500
Спирт	22
Эфир	17