

НОВОСИБИРСКИЙ ГАУ  
ИНЖЕНЕРНЫЙ ИНСТИТУТ

**МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА И  
ТЕРМОДИНАМИКА**

СБОРНИК  
ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ЗАДАНИЙ ПО ФИЗИКЕ

Новосибирск 2016

УДК: 53(075)

Составители: д.т.н., проф. С.В. Викулов, доц. И.М. Дзю, ст. преп. А.П. Минаев

Рецензент: к.т.н., доц., Е.П. Матус, НГАСУ (Сибстрин)

**Молекулярная физика и термодинамика.** Сборник индивидуальных заданий по физике / Новосиб.гос.аграр.ун-т. Инженерный ин-т; сост.:И.М. Дзю, С.В. Викулов, А.П. Минаев – Новосибирск: НГАУ, 2016. – 84 с.

Сборник индивидуальных заданий по физике (Молекулярная физика и термодинамика): составлен в соответствии с действующей программой курса физики. Каждое индивидуальное задание содержит 11 задач, охватывающие основные понятия молекулярной физики и термодинамики.

Предназначенно для студентов обучающихся по всем направлениям и формам обучения, реализуемым в НГАУ.

Утверждено и рекомендовано к изданию методическим советом Инженерного института протокол №7 от 1 марта 2016 г.

## **ВВЕДЕНИЕ**

В учебном пособии рассмотрены три темы: «Молекулярная физика», «Основы термодинамики» и «Реальные газы и жидкости». Материал тем изложен следующим образом. Кратко изложена суть рассматриваемых тем, по каждой из них в систематизированной форме приведены основные законы и формулы. Приведены примеры решения типовых задач и двенадцать вариантов индивидуальных заданий.

Пособие может быть использовано на практических и контрольных занятиях, при выполнении домашних заданий, а также при самостоятельном изучении курса физики.

# 1. МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА

**Молекулярная физика** – раздел физики, изучающий строение и свойства вещества исходя из молекулярно – кинетических представлений, основывающихся на том, что все тела состоят из атомов и молекул, находящихся в непрерывном хаотическом движении. Атомы и молекулы взаимодействуют между собой с силами притяжения и отталкивания.

Законы поведения огромного числа молекул, являясь статистическими закономерностями, изучаются с помощью *статистического метода*.

**Агрегатные состояния вещества:** 1) твёрдое тело; 2) жидкость; 3) газ; 4) плазма.

**Модель идеального газа:** 1) собственный объём молекул газа пренебрежимо мал по сравнению с объёмом сосуда; 2) между молекулами газа отсутствуют силы взаимодействия; 3) столкновения молекул газа между собой и со стенками сосуда абсолютно упругие.

## Основные законы и формулы

*Количество вещества однородного газа (моль)*

$$\nu = \frac{N}{N_A} = \frac{m}{M}, \quad (1.1)$$

где  $N$  – число молекул газа;  $N_A = 6,022 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$  – число Авогадро;  $m$  – масса газа, кг;  $M$  – молярная масса, кг/моль;  $M$  – молярная масса.

*Количество вещества смеси газов*

$$\nu = \nu_1 + \nu_2 + \dots + \nu_n = \frac{N_1}{N_A} + \frac{N_2}{N_A} + \dots + \frac{N_n}{N_A} = \frac{m_1}{M_1} + \frac{m_2}{M_2} + \dots + \frac{m_n}{M_n}, \quad (1.2)$$

где  $\nu_i$ ,  $N_i$ ,  $m_i$ ,  $M_i$  – соответственно количество вещества, число молекул, масса, молярная масса  $i$  - й компоненты смеси.

*Уравнение Клапейрона – Менделеева*

$$pV = \frac{N}{N_A} RT = \frac{m}{M} RT = \nu RT, \quad (1.3)$$

$$p = \frac{RT}{V_m} = \frac{kN_A T}{V_m} = nkT, \quad (1.4)$$

где  $R = 8,314 \text{ Дж} / (\text{моль} \cdot \text{К})$  – универсальная газовая постоянная;  $T$  – термодинамическая температура, К;  $V_m$  – молярный объём,  $\text{м}^3/\text{моль}$ ;  $k = R / N_A = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж} / \text{К}$  – постоянная Больцмана;  $n = N_A / V_m$  – концентрация молекул (число молекул в единице объема).

*Число Лошмидта* – число молекул, содержащихся в  $1 \text{ м}^3$  газа при нормальных условиях ( $p_0 = 1,01325 \cdot 10^5 \text{ Па}$  – давление;  $T_0 = 273,15 \text{ К}$  – термодинамическая температура)

$$N_L = p_0 / (kT_0) = 2,68 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-3}. \quad (1.5)$$

*Основное уравнение молекулярно - кинетической теории газов*

$$p = \frac{1}{3} n m_0 \bar{v}^2 = \frac{2}{3} n \frac{m_0 \bar{v}^2}{2} = \frac{2}{3} n < \varepsilon >, \quad (1.6)$$

где  $\bar{v}$  – средняя квадратичная скорость, м/с;  $< \varepsilon > = m_0 \bar{v}^2 / 2 = 3kT / 2$  – средняя кинетическая энергия молекулы газа.

*Распределение молекул идеального газа по скоростям (закон Максвелла)*

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

где  $f(v) = \frac{dN(v)}{N dv}$  – функция распределения, которая определяет относительное

число молекул  $dN(v)/N$ , скорости которых лежат в диапазоне от  $v$  до  $v + dv$ .

Функция  $f(v)$  удовлетворяет условию нормировки

$$\int_0^{\infty} f(v) dv = 1.$$

*Характерные скорости функции распределения  $f(v)$ :*

1) наиболее вероятная

$$v_B = \sqrt{\frac{2kT}{m_0}} = \sqrt{\frac{2RT}{M}} \cong 1,41 \sqrt{\frac{RT}{M}}, \quad (1.7)$$

2) средняя арифметическая

$$\bar{v} = \sqrt{\frac{8kT}{\pi m_0}} = \sqrt{\frac{8RT}{\pi M}} \cong 1,61 \sqrt{\frac{RT}{M}}, \quad (1.8)$$

3) средняя квадратичная

$$< v > = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}} = \sqrt{\frac{3RT}{M}} \cong 1,73 \sqrt{\frac{RT}{M}}. \quad (1.9)$$

*Распределение молекул идеального газа по энергиям теплового движения*

$$f(\varepsilon) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \cdot (kT)^{-3/2} \cdot \varepsilon^{1/2} \cdot e^{-\varepsilon/kT}. \quad (1.10)$$

*Средняя кинетическая энергия  $< \varepsilon >$  молекулы идеального газа*

$$< \varepsilon > = \int_0^{\infty} \varepsilon f(\varepsilon) d\varepsilon = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \cdot (kT)^{-3/2} \cdot \int_0^{\infty} \varepsilon^{3/2} \cdot e^{-\varepsilon/kT} d\varepsilon = \frac{3}{2} kT. \quad (1.11)$$

*Барометрическая формула*

$$p = p_0 \cdot \exp \left( -\frac{Mgh}{RT} \right). \quad (1.12)$$

*Распределение Больцмана*

$$n = n_0 \cdot \exp \left( -\frac{m_0 gh}{kT} \right) = n_0 \cdot \exp \left( -\frac{\varepsilon_p}{kT} \right), \quad (1.13)$$

где  $n_0$  – концентрация молекул в том месте, для которого  $\varepsilon_p$  принята равной нулю,  $n$  – концентрация молекул в том месте, где потенциальная энергия молекулы равна  $\varepsilon_p$ .

*Средняя длина свободного пробега молекул*

$$\bar{\lambda} = \frac{1}{\sqrt{2}\pi d^2 n} = \frac{kT}{\sqrt{2}\pi d^2 \cdot p}. \quad (1.14)$$

Среднее число столкновений молекулы за 1 с

$$\bar{z} = \frac{\bar{v}}{\bar{\lambda}} = \sqrt{2}\pi d^2 n \bar{v}. \quad (1.15)$$

Закон диффузии Фика

$$m = -D \left( \frac{\Delta \rho}{\Delta x} \right) \cdot S \cdot t, \quad (1.16)$$

$$j_m = -D \frac{d\rho}{dx}, \quad (1.17)$$

где  $j_m = m / (t \cdot S)$  – **плотность потока массы** – величина, определяемая массой вещества, диффундирующего в единицу времени через единичную площадку, перпендикулярную оси  $x$ ;  $d\rho/dx$  – градиент плотности;  $D = \bar{v}\bar{\lambda}/3$  – коэффициент диффузии.

Закон теплопроводности Фурье

$$Q = -\chi \left( \frac{\Delta T}{\Delta x} \right) \cdot S \cdot t, \quad (1.18)$$

$$j_Q = -\chi \frac{dT}{dx}, \quad (1.19)$$

где  $j_Q = Q / (t \cdot S)$  – **плотность теплового потока** – величина, определяемая энергией, переносимой в форме теплоты в единицу времени через единичную площадку, перпендикулярную оси  $x$ ;  $dT/dx$  – градиент температуры;  $\chi = c_v \rho \bar{v} \bar{\lambda} / 3$  – коэффициент диффузии, где  $c_v$  – удельная теплоёмкость газа при постоянном объёме.

Закон внутреннего трения (вязкости) Ньютона

$$F = -\eta \left( \frac{\Delta v}{\Delta x} \right) \cdot S, \quad (1.20)$$

$$j_p = -\eta \frac{dv}{dx}, \quad (1.21)$$

где  $j_p = p / (t \cdot S)$  – **плотность потока импульса** – величина, определяемая полным импульсом, переносимым в единицу времени в положительном направлении оси  $x$  через единичную площадку, перпендикулярную оси  $x$ ;  $dv/dx$  – градиент скорости;  $\eta = \rho \bar{v} \bar{\lambda} / 3$  – коэффициент внутреннего трения (динамическая вязкость).

## 2. ОСНОВЫ ТЕРМОДИНАМИКИ

**Термодинамика** – раздел физики, изучающий общие свойства макроскопических систем, находящихся в состоянии термодинамического равновесия, и процессы перехода между этими состояниями. Термодинамика не рассматривает микропроцессы, которые лежат в основе этих превращений. Этим *термодинамический метод* отличается от *статистического метода*.

Термодинамика базируется на двух началах – фундаментальных законах, установленных в результате обобщения опытных данных.

Молекулярно-кинетическая теория и термодинамика взаимно дополняют друг друга, образуя единое целое, но отличаясь различными методами исследования. Термодинамика имеет дело с **термодинамической системой** – совокупностью макроскопических тел, которые взаимодействуют и обмениваются энергией, как между собой, так и с другими телами (внешней средой).

### Основные законы и формулы

*Средняя энергия молекулы*

$$\langle \varepsilon \rangle = \frac{i}{2} kT, \quad (2.1)$$

где  $i$  – сумма числа поступательных, вращательных и удвоенного числа колебательных степеней свободы молекулы:

$$i = i_{\text{пост.}} + i_{\text{вращ.}} + 2i_{\text{кол.}}. \quad (2.2)$$

*Внутренняя энергия для произвольной массы  $m$  газа*

$$U = \nu \cdot \frac{i}{2} RT = \frac{m}{M} \cdot \frac{i}{2} \cdot RT. \quad (2.3)$$

*Первое начало термодинамики*

$$\delta Q = \Delta U + \delta A, \quad (2.4)$$

т.е. количество тепла, сообщённое системе, идёт на приращение внутренней энергии системы и на совершение системой работы над внешними телами.

*Молярная теплоёмкость при постоянном объёме*

$$C_V = \frac{dU_m}{dT} = \frac{d}{dT} \left( \frac{i}{2} RT \right) = \frac{i}{2} R. \quad (2.5)$$

*Молярная теплоёмкость при постоянном давлении (уравнение Майера)*

$$C_p = C_V + R = \frac{i+2}{2} \cdot R. \quad (2.6)$$

*Отношение теплоёмкостей  $\gamma = C_p / C_V$  (показатель адиабаты)*

$$\gamma = \frac{C_p}{C_V} = \frac{i+2}{i}. \quad (2.7)$$

*Работа газа при изменении его объёма от  $V_1$  до  $V_2$*

$$A = \int_{V_1}^{V_2} p dV. \quad (2.8)$$

*Работа газа при изобарном расширении*

$$A = \int_{V_1}^{V_2} p dV = p(V_2 - V_1) = \frac{m}{M} \cdot R(T_2 - T_1). \quad (2.9)$$

*Работа газа при изотермическом расширении*

$$A = Q = \int_{V_1}^{V_2} p dV = \int_{V_1}^{V_2} \frac{m}{M} RT \frac{dV}{V} = \frac{m}{M} RT \ln \frac{V_2}{V_1} = \frac{m}{M} RT \ln \frac{p_1}{p_2}. \quad (2.10)$$

*Уравнения адиабатического процесса ( $\delta Q = \text{const}$ )*

$$pV^\gamma = \text{const}; \quad TV^{\gamma-1} = \text{const}; \quad Tp^{1-\gamma} = \text{const}. \quad (2.11)$$

*Работа газа при адиабатическом расширении*

$$A = \frac{m}{M} C_v (T_1 - T_2) = \frac{p_1 V_1}{\gamma - 1} \left[ 1 - \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma-1} \right] = \frac{RT_1}{\gamma - 1} \cdot \frac{m}{M} \left[ 1 - \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma-1} \right]. \quad (2.12)$$

*Термический коэффициент полезного действия для кругового процесса*

$$\eta = \frac{A}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}. \quad (2.13)$$

*Термический коэффициент полезного действия цикла Карно*

$$\eta = \frac{A}{Q_1} = \frac{T_1 - T_2}{T_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1}. \quad (2.14)$$

*Второе начало термодинамики*

$$\Delta S = \oint \frac{dQ}{T} \geq 0, \quad (2.15)$$

т.е. энтропия замкнутой системы может либо возрасть (в случае необратимых процессов), либо оставаться постоянной (в случае обратимых процессов).

*Изменение энтропии в процессах идеального газа*

$$\Delta S_{1 \rightarrow 2} = S_2 - S_1 = \frac{m}{M} C_v \int_{T_1}^{T_2} \frac{dT}{T} + \frac{m}{M} R \int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{V}$$

или

$$\Delta S_{1 \rightarrow 2} = S_2 - S_1 = \frac{m}{M} \left( C_v \ln \frac{T_2}{T_1} + R \ln \frac{V_2}{V_1} \right), \quad (2.16)$$

т.е. изменение энтропии  $\Delta S_{1 \rightarrow 2}$  идеального газа при переходе его из состояния 1 в состояние 2 не зависит от вида процесса перехода  $1 \rightarrow 2$ .

### 3. РЕАЛЬНЫЕ ГАЗЫ И ЖИДКОСТИ

**Критерием различных агрегатных состояний вещества** является соотношение между величинами наименьшей потенциальной энергии взаимодействия молекул  $E_{p_{\min}}$  и тепловой энергии  $kT$ . Наименьшая потенциальная энергия взаимодействия молекул  $E_{p_{\min}}$  определяет работу, которую нужно совершить против сил притяжения для того, чтобы разъединить молекулы, находящиеся в равновесии ( $r = r_0$ );  $kT$  определяет удвоенную среднюю энергию, приходящуюся на одну степень свободы хаотического движения молекул.

Если  $E_{p_{\min}} \ll kT$ , то вещество находится в газообразном состоянии, так как интенсивное тепловое движение молекул препятствует соединению молекул, сблизившихся до расстояния  $r_0$ , т.е. вероятность образования агрегатов из молекул достаточно мала.



Если  $E_{p_{\min}} \approx kT$ , то вещество находится в жидком состоянии, так как в результате теплового движения молекулы перемещаются в пространстве, обмениваясь местами, но не расходясь на расстояние, превышающие  $r_0$ .

Если  $E_{p_{\min}} \gg kT$ , то вещество находится в твёрдом состоянии, так как молекулы, притягиваясь друг к другу, не могут удалиться на значительные расстояния и колеблются около положений равновесия, определяемого расстоянием  $r_0$ .

Таким образом, любое вещество в зависимости от температуры может находиться в газообразном, жидком или твёрдом агрегатном состоянии, причём температура перехода из одного агрегатного состояния в другое зависит от значения  $E_{p_{\min}}$  для данного вещества. Например, у инертных газов  $E_{p_{\min}}$  мало, а у металлов велико, поэтому при обычных (комнатных) температурах они находятся соответственно в газообразном и твёрдом состояниях.

### Основные законы и формулы

*Уравнение Ван-дер-Ваальса для моля реального газа*

$$\left(p + \frac{a}{V_m^2}\right)(V_m - b) = RT, \quad (3.1)$$

где  $p$  – давление, оказываемое на газ извне (равное давлению газа на стенки сосуда),  $a$  и  $b$  – постоянные Ван-дер-Ваальса, имеющие для разных газов различные значения, определяемые экспериментально.

*Уравнение Ван-дер-Ваальса для произвольного количества газа*

$$\left(p + \frac{v^2 a}{V^2}\right)\left(\frac{V}{v} - b\right) = RT, \quad (3.2)$$

или 
$$\left(p + \frac{v^2 a}{V^2}\right)(V - vb) = vRT. \quad (3.3)$$

*Критические параметры изотермы Ван-дер-Ваальса*

$$p_{\text{кр.}} = \frac{1}{27} \cdot \frac{a}{b^2}; V_{\text{кр.}} = 3b; T_{\text{кр.}} = \frac{8}{27} \cdot \frac{a}{bR}. \quad (3.4)$$

*Количество теплоты, необходимое для нагревания тела в твердом или жидком состоянии в пределах одного агрегатного состояния*

$$Q = cm(t_2 - t_1), \quad (3.5)$$

где  $c$  – удельная теплоемкость тела,  $m$  – масса тела,  $t_1$  – начальная температура,  $t_2$  – конечная температура.

*Количество теплоты, необходимое для плавления твёрдого тела*

$$Q = \lambda m, \quad (3.6)$$

где  $\lambda$  – удельная теплота плавления,  $m$  – масса тела.

*Количество теплоты, необходимое для испарения*

$$Q = rm, \quad (3.7)$$

где  $r$  – удельная теплота парообразования,  $m$  – масса тела.

*Коэффициент поверхностного натяжения жидкости*

$$\sigma = \frac{F}{l} = \frac{\Delta E}{\Delta S}, \quad (3.8)$$

где  $F$  – сила поверхностного натяжения, действующая на контур, ограничивающий поверхность жидкости;  $\Delta E$  – изменение свободной энергии поверхностной пленки жидкости, связанное с изменением площади  $\Delta S$  поверхности этой пленки.

*Формула Лапласа для сферической поверхности жидкости*

$$\Delta p = \frac{2\sigma}{R}, \quad (3.9)$$

где  $R$  – радиус сферической поверхности.

*Формула Лапласа для цилиндрической поверхности жидкости*

$$\Delta p = \frac{\sigma}{R}, \quad (3.10)$$

где  $R$  – радиус цилиндрической поверхности.

*Высота подъема жидкости в капиллярной трубке (формула Жюрена)*

$$h = \frac{2\sigma \cos \theta}{\rho g R}, \quad (3.11)$$

где  $\theta$  – краевой угол;  $R$  – радиус канала трубки;  $\rho$  – плотность жидкости;  $g$  – ускорение свободного падения.

*Высота подъема жидкости между двумя близкими и параллельными друг другу плоскостями*

$$h = \frac{2\alpha \cos \theta}{\rho g d}, \quad (3.12)$$

где  $d$  – расстояние между плоскостями.

#### 4. УКАЗАНИЯ К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ

При решении задач необходимо выполнять следующее:

1. Записать столбиком данные задачи. Все величины выразить в единицах системы СИ. Выполнить чертеж или рисунок, поясняющий содержание задачи. Записать основные формулы, на которых базируется решение, дать словесную формулировку этих законов, разъяснить буквенные обозначения формул. В случае, если формула не выражает какой-нибудь физической величины, ее надо вывести.
2. Решение задачи сопровождать краткими, но исчерпывающими пояснениями.
3. Решать задачу необходимо в общем виде, т.е. от начала и до конца решение выполняется в буквенном виде, числовые значения подставляются в окончательную рабочую формулу, выражающую искомую величину.

4. Подставить в рабочую формулу размерности величин и убедиться в правильности размерности искомой величины или ее единицы.
5. Произвести вычисление величин, подставленных в формулу, руководствуясь правилами приближения вычислений, записать в ответе числовое значение и сокращенное наименование единицы искомой величины по ГОСТу.
6. При подготовке в рабочую формулу, а также при записи ответа числовые значения величин записать как произведение десятичной дроби с одной значащей цифрой перед запятой на соответствующую степень десяти.

## 5. ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

### ВАРИАНТ 1

1. Пустой баллон заполнен газом при температуре  $278\text{ K}$ , создано давление  $8\text{ атм}$  и закачено  $10\text{ кг}$  газа. Затем баллон внесли в помещение, где температура равна  $20^\circ\text{C}$ . В результате использования газа его давление понизилось на  $300\text{ кПа}$  и при этом температура газа не изменилась. Сколько газа было взято?  
[Ответ  $3,56\text{ кг}$ ]
2. В закрытом сосуде емкостью  $2\text{ м}^3$  находятся  $1,4\text{ кг}$  азота и  $2\text{ кг}$  кислорода. Найти давление газовой смеси в сосуде, если температура смеси  $27^\circ\text{C}$ .  
[Ответ:  $140\text{ кПа}$ ]
3. Температура одноатомного газа равна  $37^\circ\text{C}$ , а объём  $3\text{ л}$ . Определить концентрацию молекул газа и его давление, если внутренняя энергия газа равна  $340\text{ Дж}$ .  
[Ответ:  $75,6\text{ кПа}$ ;  $1,77 \cdot 10^{25}\text{ м}^{-3}$ ]
4. Во сколько раз изменится средняя скорость движения молекул двухатомного идеального газа при адиабатном увеличении давления в два раза.  
[Ответ:  $0,82$ ]
5. Между двумя пластинами, находящимися на расстоянии  $1\text{ мм}$  друг от друга, находится воздух. Между пластинами поддерживается разность температур  $1^\circ\text{C}$ . Площадь каждой пластины  $100\text{ см}^2$ . Какое количество тепла передается за счет теплопроводности от одной пластины к другой за  $10\text{ мин}$ ? Считать, что воздух находится при нормальных условиях. Диаметр молекулы воздуха  $3 \cdot 10^{-10}\text{ м}$ .  
[Ответ:  $77,3\text{ Дж}$ ]
6. Некоторый газ при нормальных физических условиях имеет плотность  $0,0894\text{ кг/м}^3$ . Определить его удельные теплоемкости  $C_p$  и  $C_v$ , а также какой это газ.  
[Ответ:  $14,56 \cdot 10^3\text{ Дж/кг}\cdot\text{K}$ ;  $10^3\text{ Дж/кг}\cdot\text{K}$ ]

7. Воздух, находящийся под давлением  $1 \text{ атм}$ , был адиабатически сжат до давления  $10 \text{ атм}$ . Каково будет давление сжатого воздуха, если его охладить до первоначальных параметров, сохранив неизменным объём?

[Ответ:  $0,519 \text{ МПа}$ ]

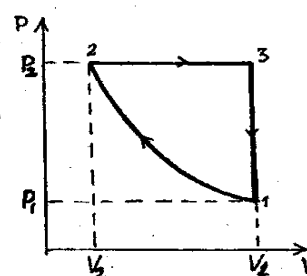
8. Работа изотермического расширения  $5 \text{ г}$  некоторого газа от объёма  $V$  до объёма  $3V$  равна  $800 \text{ Дж}$ . Найти среднюю квадратичную скорость молекул газа при этих условиях.

[Ответ:  $660 \text{ м/с}$ ]

9.  $2 \text{ кмоль}$  многоатомного газа нагреваются на  $80^\circ\text{C}$  в условиях свободного газа, изменение его внутренней энергии, работу расширения.

[Ответ:  $5,3 \text{ МДж}$ ;  $4 \text{ МДж}$ ;  $1,3 \text{ МДж}$ ]

10. Тепловая машина, работающая по циклу, диаграмма которого изображена на данном рисунке, включает изохорный, изобарный и изотермный процессы и имеет следующие параметры:  $P_1=2,5 \text{ атм}$ ,  $V_1=1,5 \text{ л}$ ,  $P_2=16,6 \text{ л}$ . Вычислить к.п.д. цикла, если в работе задействован двухатомный газ; кпд цикла Карно с данными температурами.



[Ответ:  $19\%85\%$ ]

11. Разность уровней жидкости в коленях U-образной трубки равна  $23 \text{ мм}$ . Диаметры каналов в коленях трубки равны  $2$  и  $0,4 \text{ мм}$ . Плотность жидкости  $800 \text{ кг/м}^3$ . Определить коэффициент поверхностного натяжения жидкости.

[Ответ:  $0,045 \text{ Н/м}$ ]

## ВАРИАНТ 2

1. Один баллон емкостью  $20 \text{ л}$  содержит газ при давлении  $25 \text{ атм}$ , другой баллон емкостью  $44 \text{ л}$  содержит тот же газ при давлении  $16 \text{ атм}$ . Оба баллона были соединены вместе, образовалась однородная смесь ( $T=\text{const}$ ). Найти парциальные давления обоих газов и полное давление.

[Ответ:  $7,8 \text{ атм}$ ;  $5 \text{ атм}$ ;  $12,8 \text{ атм}$ ]

2. Давление воздуха в автомобильной камере при температуре  $-13^\circ\text{C}$  было  $160 \text{ кПа}$  (избыточное над атмосферным). Каким стало давление, если в результате длительного движения воздух в камере нагрелся до  $37^\circ\text{C}$ ?

[Ответ:  $210 \text{ кПа}$  (сверх атмосферного)]

3. Средние квадратичные скорости и концентрация молекул идеального газа в двух сосудах одинаковы. Масса газа во втором сосуде в три раза меньше, чем в первом. Чему равно отношение давлений в сосудах?

[Ответ:  $3$ ]

4. Колба вместимостью  $4 \text{ л}$  содержит некоторый газ массой  $0,62 \text{ г}$  под давлением  $200 \text{ кПа}$ . Определить среднюю квадратичную скорость молекул газа.

[Ответ:  $1967 \text{ м/с}$ ]

5. Расстояние между стенками сосуда Дьюара равно  $10^{-2}$  м. При каком давлении теплопроводность воздуха, находящегося между стенками сосуда, начнет уменьшаться при откачке? Температура воздуха  $27^{\circ}\text{C}$ , диаметр молекулы принять равным  $3 \cdot 10^{-10}$  м. [Ответ: 1,05 Па]

6. Плотность газа при нормальных условиях равна  $1,25 \text{ кг/м}^3$ , отношение удельных теплоемкостей 1,4. Определить удельные теплоемкости при постоянном давлении и постоянном объеме.

[Ответ: 1025,6 Дж/кг·К; 732,6 Дж/кг·К]

7. Определить работу адиабатного расширения водорода, масса которого 4 г, если температура газа понизилась на  $10^{\circ}\text{C}$ . [Ответ: 416 Дж]

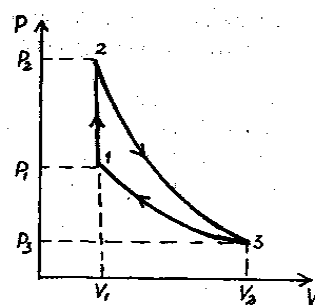
8. 8 г водорода, находящегося при температуре  $17^{\circ}\text{C}$ , расширяются вдвое при  $P=\text{const}$  за счет притока тепла извне. Найти работу расширения, изменение внутренней энергии газа, количества тепла, сообщенного газу.

[Ответ: 9,64 кДж; 24,1 кДж; 33,74 кДж]

9. Кислород был нагрет при неизменном объеме в 30 л. При этом давление газа изменилось на 2,5 атм. Найти теплоту, сообщенную газу.

[Ответ: 18750 Дж]

10. Определить КПД некоторой тепловой машины, имеющей в цикле изотермический, изохорный и адиабатный процессы, если рабочее тело – двухатомный газ и известны следующие параметры:  $V_1=10$  л,  $V_2=2,5$  л. Каков был бы КПД по циклу Карно, у которого температуры были такие же, как в состояниях 1 и 3 (с теми же параметрами давления и объема).



[Ответ: 25,4%; 42,5%]

11. Капиллярная трубка с диаметром  $d=0,5$  мм наполнена водой. Часть воды на нижнем конце трубки повисла в виде капли, которую можно принять за часть сферы радиусом  $R=3$  мм. Найти длину  $h$  столбика в капилляре.

[Ответ: 6.37 см]

### ВАРИАНТ 3

1. Какова концентрация и плотность смеси, состоящей из 20 г углекислого газа и 0,5 моля азота при температуре  $293 \text{ K}$  и давлении  $120 \text{ кПа}$ . Как изменится концентрация газа, если давление уменьшить в 1,5 раза, а температуру увеличить на 30%? [Ответ:  $2,96 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-3}$ ;  $1,75 \text{ кг/м}^3$ ;  $n_2/n_1=1,94$ ]

2. Шар-зонд заполнен газом при температуре  $27^{\circ}\text{C}$  до давления  $105 \text{ кПа}$ . После подъема шара на высоту, где давление равно  $80 \text{ кПа}$ , объем шара увеличился на 5% и давление в нем стало больше атмосферного на  $5 \text{ кПа}$ . Опреде-

лить температуру воздуха на этой высоте, предполагая, что газ в шаре принял эту температуру. [Ответ: 255 K]

3. Давление молекул газа на стенки сосуда равно 600 кПа. Масса газа 3,5 г, объем 0,7 л. Чему равна средняя квадратичная скорость молекул? Определить температуру газа при концентрации молекул  $1,5 \cdot 10^{26} \text{ м}^{-3}$ .

[Ответ: 600 м/с; 290 K]

4. Сколько столкновений за 1 с испытывает молекула неона при температуре 600 K и давлении 1 мм рт. ст., если эффективный диаметр молекулы неона равен  $2,04 \cdot 10^{-10} \text{ м}$ . [Ответ:  $2,2 \cdot 10^6$ ]

5. Как изменится вязкость двухатомного газа, состояние которого далеко от вакуума, при уменьшении объема в два раза, если процесс перехода изотермный? [Ответ: не изменится]

6. Некоторый газ при давлении 1 МПа и температуре 127°C имеет удельный объем 0,104 м<sup>3</sup>/кг. Определить отношение  $C_p/C_v$ , если удельная теплоемкость  $c_p = 910 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{град)}$ . Какой это газ? [Ответ: 1,4]

7. Определить показатель адиабаты для газовой смеси, состоящей из 4 г водорода и 22 г углекислого газа. [Ответ: 1,38]

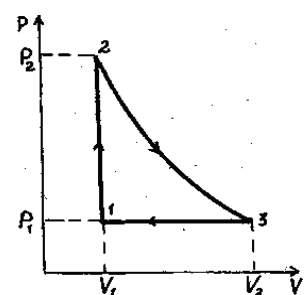
8. Водород занимает объем 8 м<sup>3</sup> при давлении 70 кПа. Газ нагрет при постоянном объеме до давления 250 кПа. Определить изменение внутренней энергии газа, работу, совершенную газом и теплоту, сообщенную газу.

Ответ: 3,6 МДж; 0 Дж; 3,6 МДж]

9. Водяной пар расширяется при постоянном давлении. Определить работу расширения, если пару передана теплота 6 кДж. [Ответ: 1,5 кДж]

10. Тепловая машина работает на идеальном двухатомном газе. Участок 2-3 - изотермный. Известны следующие параметры состояний:  $V_1 = 2,5 \text{ л}$ ,  $V_2 = 8 \text{ л}$ . Во сколько раз КПД цикла Карно с данными температурами больше КПД данной тепловой машины?

[Ответ:  $n = 4,16$ ]



11. Определить максимальную массу воды, которую можно налить в решето, ячейки которого пропитаны парафином с отверстиями диаметром  $d = 1 \text{ мм}$ , если диаметр дна  $D = 20 \text{ см}$ . Коэффициент поверхностного натяжения равен 0,07 Н/м. [Ответ: 900 г]

#### ВАРИАНТ 4

1. Найти плотность газовой смеси, состоящей из одной части

водорода и восьми частей азота при давлении 720 мм рт. ст. и температуре 288 К. [Ответ: 0,46 кг/м<sup>3</sup>]

2. В вертикально поставленном цилиндре под поршнем находится 300 см<sup>3</sup> газа. Масса поршня 6,75 кг, его площадь 25 см<sup>2</sup>. На поршень поставили гири и он опустился, сжав газ до объема 280 см<sup>3</sup>. Найти массу гирь. Температура постоянная, давление нормальное. [Ответ: 22,6 кг]

3. Концентрация молекул воздуха равна  $3,05 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-3}$ . Считая воздух газом, состоящим из одинаковых молекул, определить среднюю квадратичную скорость молекул воздуха и давление, если плотность равна 1,36 кг/м<sup>3</sup>, а температура равна 289 К. [Ответ: 122 кПа; 518 м/с]

4. Взвешенные в воздухе мельчайшие пылинки движутся в воздухе так, как если бы они были очень крупными молекулами. Определить среднюю квадратичную скорость пылинки массой  $10^{-10} \text{ г}$ , если температура воздуха 300 К. [Ответ:  $3,52 \cdot 10^4 \text{ м/с}$ ]

5. Коэффициент диффузии двухатомного газа равен  $2 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$ , а коэффициент теплопроводности газа равен  $1,4 \cdot 10^{-2} \text{ Вт/(м·К)}$ . Сколько молекул этого газа будет находится в сосуде объемом 2 л? [Ответ:  $4 \cdot 10^{22}$ ]

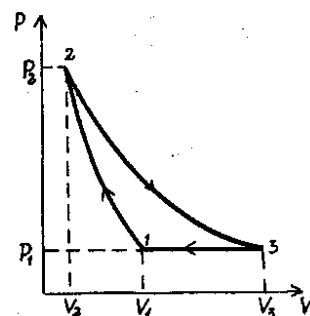
6. Отношение удельных теплоемкостей смеси нескольких киломолей азота и пяти киломолей аммиака (NH<sub>3</sub>) равна 1,35. Определить число киломолей азота в смеси. [Ответ: 2 кмоль]

7. Кислород, занимавший объем 1 л при давлении 12 атм, адиабатический расширился до объема 10 л. Определить работу расширения газа? [Ответ: 1820 Дж]

8. На нагревание кислорода массой 320 г на 24°C была затрачена теплота 5 кДж. Как протекал процесс: изобарически или изохорически? [Ответ: изохорически]

9. В цилиндре под поршнем находится азот массой 0,3 кг, занимающий объем 1 м<sup>3</sup> при температуре 600 К. В результате нагревания газ расширился и занял объем 4 м<sup>3</sup>, причем температура осталась неизменной. Найти изменение внутренней энергии, совершенную им работу и теплоту, сообщенную газу. [Ответ: 0; 74 кДж; 74 кДж]

10. Рассмотреть цикл работы некоторой тепловой машины, состоящего из адиабатного, изотермного и изобарного процессов. Известно, что  $V_1=4 \text{ л}$ ,  $V_3=18 \text{ л}$ ,  $P_1=2,5 \text{ атм}$  и машина использует 0,5 моля одноатомного газа. Определить КПД данного цикла и КПД цикла Карно с этими



же температурами. [Ответ: 48,3%; 77,7%]

11. На дне пруда глубиной 2 м выделяются пузырьки газа с диаметром 0,05 мм. Чему будут равны диаметры этих пузырьков у поверхности воды? Коэффициент поверхностного натяжения воды 0,073 Н/м. [Ответ: 0,0387 мм]

### ВАРИАНТ 5

1. Два баллона соединены вместе с помощью крана, который сначала был закрыт. В первом из них давление 15 кПа, температура 288 К и объем 9 л, во втором давлении 18 кПа, температура 298 К и объем 8 л. Газ в первом баллоне сжимают и при этом его объем уменьшается в 1,5 раза, а температура возрастает на 10°С. Каково станет давление в обоих баллонах, если после этого клапан открыть? [Ответ: 20,8 кПа]

2. Баллон, содержащий 1 кг азота, при испытаниях взорвался при температуре 350°С. Какое количество водорода можно хранить в этом баллоне при 20°С, имея пятикратный запас прочности? Считать прочность баллона не зависящей от температуры. [Ответ: 30,4 г]

3. В лабораторных условиях создан высокий вакуум, т.е. очень малое давление, равное  $1,39 \cdot 10^{-9}$  Па. Концентрация молекул равна  $3,4 \cdot 10^{11} \text{ м}^{-3}$ . Чему равны температура газа и средняя кинетическая энергия поступательного движения молекулы? [Ответ: 296 К;  $6,1 \cdot 10^{-21}$  Дж]

4. Во сколько раз средняя квадратичная скорость молекул кислорода больше средней квадратичной скорости пылинки массой  $10^{-8}$  г, находящейся среди молекул кислорода? [Ответ:  $1,37 \cdot 10^7$  раз]

5. На высоте 20 см над горизонтальной трансмиссионной лентой, движущейся со скоростью 70 м/с, параллельно ей подвешена пластинка площадью 4 см<sup>2</sup>. Какую силу надо приложить к ней, чтобы она оставалась неподвижной? В условиях опыта температура 27°С, давление нормальное атмосферное, а диаметр молекулы принять равной  $3 \cdot 10^{-10}$  м. [Ответ:  $2,64 \cdot 10^{-6}$  Н]

6. Найти удельные теплоемкости воздуха  $c_p$  и  $c_v$ , считая, что в его составе находится 76% азота, 23% кислорода и 1% аргона. [Ответ: 1000 Дж/(кг·К); 715 Дж/(кг·К)]

7. До какой температуры охладится водород, взятый при температуре -3°С, если объем его увеличился в результате адиабатного процесса в три раза? [Ответ: 174 К]

8. Азот массой 300 г расширяется изотермически при температуре 300 К, причем объем газа увеличивается в три раза. Найти изменение внутренней энергии газа, совершенную при расширении газа работу, теплоту, получен-

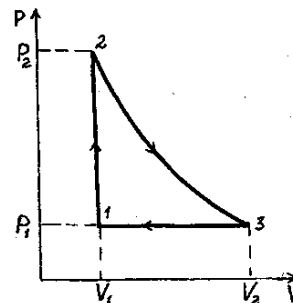


ную газом.

[Ответ: 0; 29,3 кДж; 29,3 кДж]

9. Какая доля теплоты, подводимой к многоатомному газу при изобарическом процессе, расходуется на увеличение внутренней энергии газа и какая доля - на работу расширения? [Ответ: 0,75; 0,25]

10. Тепловая машина должна работать циклично, используя при этом изохорный, адиабатный и изобарный процессы. Известно, что  $V_1=2$  л,  $V_2=8$  л. В работе применяется одноатомный газ. Найти КПД цикла данной тепловой машины и КПД цикла Карно при полученных значениях температур. [Ответ: 45%; 90%]



11. На сколько изменится разность уровней воды в двух сообщающихся капиллярах с диаметрами 0,1 и 0,3 мм при нагревании от 20 до 70°C, если коэффициенты поверхностного натяжения воды для этих температур соответственно равны 0,073 и 0,064 Н/м. [Ответ: 12,2 мм]

### ВАРИАНТ 6

1. В баллоне емкостью 11,2 л находится водород при нормальных условиях. После того как в баллон дополнительно было введено некоторое количество гелия, давление в баллоне возросло до 1,5 атм, а температура не изменилась. Определить массу гелия, введенного в баллон. [Ответ: 1 г]

2. Сколько гелия потребуется для наполнения воздушного шара диаметром 10 м, чтобы шар мог поднять груз 9,8 кН при нормальном атмосферном давлении и температуре 17°C? Объемом груза пренебречь. Молярная масса 0,029 кг/моль. [Ответ: 540 кг]

3. Плотность некоторого газа при нормальных условиях равна 0,9 г/л. Определить среднюю квадратичную скорость и концентрацию молекул газа. [Ответ: 577,6 м/с;  $2,66 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-3}$ ]

4. Определить среднюю арифметическую скорость молекул газа, если их средняя квадратичная скорость 1000 м/с. [Ответ: 920 м/с]

5. Углекислый газ и азот находятся при одинаковой температуре и давлении. Найти для этих газов отношение коэффициентов теплопроводности. Диаметры молекул газов считать одинаковыми. [Ответ: 0,96]

6. Чему равны удельные теплоемкости  $c_p$  и  $c_v$  некоторого двухатомного газа, если плотность этого газа при нормальных условиях равна 1,43 кг/м<sup>3</sup>? [Ответ: 641 Дж/(кг·K); 897,7 Дж/(кг·K)]

7. Сероводород ( $\text{H}_2\text{S}$ ) массой 6 кг, занимавший объем  $3 \text{ м}^3$  при температуре  $27^\circ\text{C}$ , сжали адиабатически так, что его давление увеличилось в два раза. Определить конечный объем, температуру, изменение внутренней энергии.

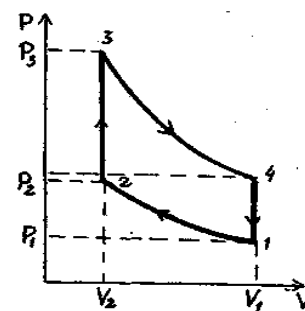
[Ответ:  $1,78 \text{ м}^3$ ;  $357 \text{ K}$ ;  $254 \text{ кДж}$ ]

8. Газ, занимавший объем 10 л под давлением 50 кПа, был изобарически нагрет от 200 до 300 К. Определить работу расширения газа.

[Ответ: 250 Дж]

9. При адиабатическом сжатии кислорода массой 2 кг совершена работа в 150 кДж. Какова будет конечная температура газа, если до сжатия кислород находился при температуре 290 К?

[Ответ: 405 К]



10. Грамм ртути помещен между двумя плоскими стеклянными пластинками. Какую силу надо приложить к верхней пластинке, чтобы ртуть приняла форму круглой лепешки однородной толщины и радиусом  $R=5 \text{ см}$ . Коэффициент поверхностного натяжения ртути равен  $0,487 \text{ Н/м}$ , краевой угол между ртутью и стеклом  $40^\circ$ .

[Ответ: 630 Н]

11. Цикл тепловой машины, работающей на 10 г метана ( $\text{CH}_4$ ) состоит из двух изохор и двух изотерм. Найти КПД данной машины; КПД цикла Карно с теми же значениями температур, если известно, что  $P_2=6 \text{ атм}$ ,  $P_3=12 \text{ атм}$ ,  $V_1=12 \text{ л}$ ,  $V_2=3 \text{ л}$ .

[Ответ: 23%; 45,7%]

### ВАРИАНТ 7

1. Имеются емкости, первая из которых в три раза больше второй. В первой из них давление 10 кПа и температура  $40^\circ\text{C}$ , во второй 25 кПа и  $25^\circ\text{C}$ . Газ в емкостях охладил до  $10^\circ\text{C}$  и соединили между собой. Какое давление установится в сосудах?

[Ответ: 12,72 кПа]

2. Закрытый горизонтальный цилиндр разделен на две части подвижным поршнем. По одну сторону в цилиндре находится некоторое количество молей газа при температуре  $73^\circ\text{C}$ , по другую сторону такое же количество молей этого газа при температуре  $27^\circ\text{C}$ . Поршень находится в равновесии. Определить объемы, занимаемые газом в левой и правой частях цилиндра, если общий объем равен  $500 \text{ см}^3$

[Ответ: 200 и  $300 \text{ см}^3$ ]

3. Сколько молекул газа находится в  $1 \text{ см}^3$  газа при  $20^\circ\text{C}$  и давлении  $10^{-6} \text{ мм рт. ст.}$ ? Чему равна средняя кинетическая энергия поступательного движения всех молекул?

[Ответ:  $3,3 \cdot 10^{10}$ ;  $2 \cdot 10^{-10} \text{ Дж}$ ]

4. Средняя квадратичная скорость молекул увеличилась в 1,5 раза. Во сколько раз изменилась температура газа?

[Ответ: 2,25 раза]

5. Два горизонтальных диска радиусом 20 см расположены друг над другом так, что их оси совпадают. Расстояние между дисками 0,5 см. Верхний диск неподвижен, нижний вращается с частотой 10 об/с. Найти вращающий момент, действующий на верхний диск. Воздух находится при нормальных условиях. Диаметр молекулы воздуха равен  $3 \cdot 10^{-10}$  м, молярная масса воздуха равна  $0,029 \text{ кг/м}^3$ . [Ответ:  $2,82 \cdot 10^{-4} \text{ Н} \cdot \text{м}$ ]

6. Найти удельные теплоемкости  $c_p$  и  $c_v$  некоторого газа, если известно, что масса одного моля газа  $0,03 \text{ кг/моль}$ , а отношение  $C_p/C_v = 1,4$ . [Ответ:  $693 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)}$ ;  $970 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)}$ ]

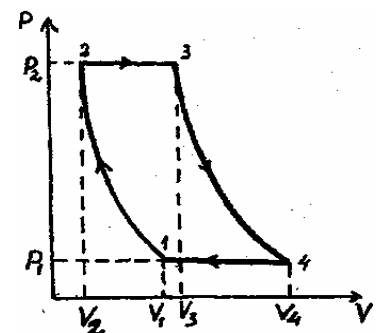
7. 12 г азота, адиабатно расширяясь, совершили работу, равную 480 Дж. Определить конечную температуру газа, если до расширения он имел температуру 362 К. Масса азота 12 кг. [Ответ: 308 К]

8. Расширяясь, водород совершил работу в 8 кДж. Сколько теплоты было подведено к газу, если газ расширялся: 1) изобарически; 2) изотермически. [Ответ: 28 кДж; 8 кДж]

9. В закрытом сосуде находится 10 г азота под давлением 10 кПа и при температуре 17°C. После нагревания давление в сосуде повысилось в три раза. Найти, до какой температуры был нагрет газ, каков объем сосуда, какое количество тепла сообщено газу? [Ответ: 870 К;  $8,6 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3$ ; 4,3 кДж]

10. Тепловой двигатель работает на одноатомном идеальном газе ( $m/M = 0,3$  моля). Цикл состоит из двух адиабатных и двух изобарных процессов. Известно, что  $P_1 = 2,5 \text{ атм}$ ,  $P_2 = 5 \text{ атм}$ ,  $V_1 = 3 \text{ л}$ ,  $V_3 = 5 \text{ л}$ . Вычислить КПД двигателя, а также КПД цикла Карно с температурами этого цикла.

[Ответ: 24%; 70%]



11. Стекло́нная трубка заполнена ртутью и погружена в широкий сосуд (верхний конец закрыт). Внутренний диаметр трубки равен 3 мм. Разность уровней ртути в сосудах 750 мм. Найти величину атмосферного давления, если краевой угол взять равным  $0^\circ$ , коэффициент поверхностного натяжения принять равным  $0,487 \text{ Н/м}$ . [Ответ: 757 мм]

### ВАРИАНТ 8

1. Два сосуда одинакового объема содержат кислород. В одном сосуде давление 2 МПа и температура 800 К, в другом 2,5 МПа и 200 К. Газ в сосудах охладил до 200 К и сосуды соединили трубкой. Определить установившееся в сосудах давление. [Ответ: 1,5 МПа]

2. Компрессор засасывает из атмосферы каждую секунду 3 л воздуха, которые подаются в баллон вместимостью 45 л. Через сколько времени давление в баллоне будет превышать атмосферное в 9 раз? Начальное давление равно 100 кПа, температура постоянная. [Ответ: 2 мин]

3. Во сколько раз изменится давление одноатомного газа в результате уменьшения его объема в три раза и увеличения средней кинетической энергии его молекул в два раза? [Ответ: в 6 раз]

4. При какой температуре наиболее вероятная скорость молекул кислорода меньше ее арифметической скорости на 30 м/с? [Ответ: 96,2 K]

5. Углекислый газ и азот находятся при одинаковых температурах и давлении. Найти для этих газов отношение коэффициентов диффузии. Диаметры молекул этих газов считать одинаковыми. [Ответ: 0,8]

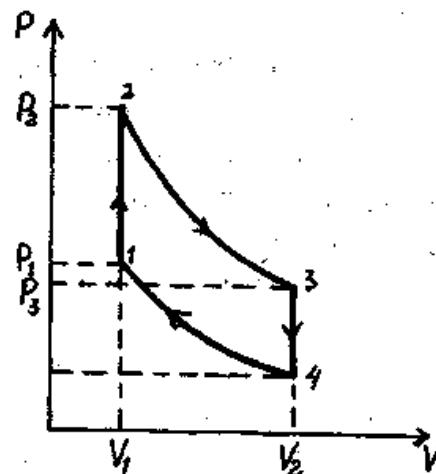
6. Найти удельную теплоемкость при постоянном давлении газовой смеси, состоящей из 3 кмоль аргона и 2 кмоль азота. [Ответ: 727 Дж/кг K]

7. Из баллона, содержащего водород под давлением 10 атм выпустили половину находившегося в нем количества газа. Считая процесс адиабатическим, определить конечное давление установившееся в баллоне. [Ответ: 3,8 атм]

8. 3 л азота находятся под давлением 50 кПа. Какое количество теплоты надо сообщить азоту, чтобы при постоянном давлении увеличить объем вдвое или при постоянном объеме увеличить его давление вдвое? [Ответ: 525 Дж; 375 Дж]

9. При изотермическом расширении одного моля углекислого газа, имевшего температуру 300 K, газ поглотил теплоту 4 кДж. Во сколько раз увеличился объем газа? [Ответ: 4,97 раза]

10. На рисунке изображена диаграмма цикла, состоящего из двух изохор и двух адиабат. Определить КПД цикла, если известно, что  $P_1=5 \text{ атм}$ ,  $P_2=10 \text{ атм}$ ,  $P_3=3 \text{ атм}$ ,  $V_1=2 \text{ л}$ . В работе задействован 1/3 моля одноатомного газа. Во сколько раз КПД цикла Карно больше КПД данного цикла? [Ответ: 38,16%; 1,82]



11. При определении величины коэффициента поверхностного натяжения капельным методом число капель воды, вытекающих из капилляра за время опыта, составило  $n=20$ . Общая масса воды  $m=9,37 \text{ г}$ , диаметр шейки капли в

момент отрыва равен 1,9 мм. Вычислить коэффициент поверхностного натяжения воды.  
[Ответ: 0,0785 Н/м]

### ВАРИАНТ 9

1. В баллоне находится 1,2 кг газа при давлении 100 кПа. В результате закачки газа масса баллона увеличилась на 9 кг. Какое давление стало в баллоне, если температура не изменилась?  
[Ответ: 850 кПа]

2. В сосуде при температуре 20°C и давлении 0,2 МПа содержится смесь газов: кислорода массой 16 г и азота массой 21 г. Определить плотность смеси.  
[Ответ: 2,43 кг/м³]

3. Концентрация молекул азота в сосуде равна  $10^{19} \text{ см}^{-3}$ , давление  $5,7 \cdot 10^4 \text{ Па}$ . Чему равны средняя квадратичная скорость и температура газа?  
[Ответ: 413 К; 606,4 м/с]

4. Найти число молекул водорода в  $1 \text{ см}^3$ , если давление равно 200 мм рт. ст., а средняя квадратичная скорость молекул при данных условиях равна 2400 м/с.  
[Ответ:  $4,2 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$ ]

5. Два горизонтальных диска радиусами 20 см расположены друг над другом так, что их оси совпадают. Расстояние между дисками равно 0,5 см. Верхний диск неподвижен, нижний вращается вокруг оси с частотой 10 об/с. Найти средний вращающий момент, действующий на верхний диск, если вязкость воздуха, в котором находятся диски  $17,2 \cdot 10^{-6} \text{ кг/м}\cdot\text{с}$ .  
[Ответ:  $0,58 \cdot 10^{-3} \text{ м}\cdot\text{Н}$ ]

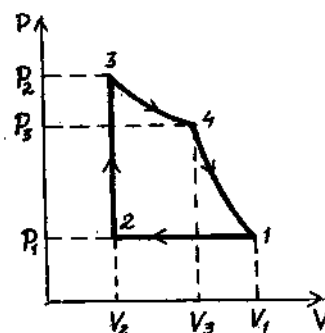
6. Найти отношение  $C_p/C_v$  для газовой смеси, состоящей из 8 г гелия и 16 г кислорода.  
[Ответ: 1,59]

7. Азот массой 2 кг при температуре 7°C занимает объем 830 л. При адиабатном сжатии температура возросла до 227°C, а давление увеличилось до 1,52 МПа. Определить отношение  $C_p/C_v$ .  
[Ответ: 1,4]

8. В закрытом сосуде объемом 2 л находится одинаковое количество аргона и азота при нормальных условиях. Какое количество тепла надо сообщить, чтобы нагреть эту газовую смесь на 100°C?  
[Ответ: 154,9 Дж]

9. Два кмоль углекислого газа нагревают при постоянном давлении на 50°C. Найти изменение внутренней энергии, работу расширения, количество тепла, сообщенного газу.  
[Ответ: 2,5 МДж; 830 кДж; 3330 кДж]

10. Рабочий цикл некоторой тепловой машины, работающей на двухатомном газе, состоит из изобарного, изохорного, изотермного и адиабатного процессов. Параметры цикла:  $P_1=1,5 \text{ атм}$ ,  $P_2=5 \text{ атм}$ ,  $V_2=1,5 \text{ л}$ ,  $V_3=3 \text{ л}$ ,  $T_2=273 \text{ К}$ . Определить кпд цикла. Во сколько раз кпд цикла Карно больше кпд данного цикла? [Ответ: 19,2%; 3,65]



11. Разность уровней керосина в двух сообщающихся капиллярах с диаметрами 0,2 и 0,3 мм изменилась вследствие нагревания на 20 мм. Определить на сколько изменился коэффициент поверхностного натяжения, если плотность керосина взять постоянной и равной  $820 \text{ кг/м}^3$

[Ответ:  $\Delta\sigma = 9,66 \cdot 10^{-3} \text{ Н/м}$ ]

### ВАРИАНТ 10

1. Один баллон объемом 10 л содержит кислород под давлением 1,5 МПа, другой объемом 22 л содержит азот под давлением 0,6 МПа. При соединении баллонов образовалась однородная смесь при постоянной температуре. Найти парциальные давления обоих газов в смеси и полное давление смеси. [Ответ: 0,47 МПа, 0,41 МПа, 0,88 МПа]

2. В лабораторных условиях создан высокий вакуум, т.е. очень малое давление равно  $1,33 \cdot 10^{-9} \text{ Па}$ . Сколько молекул остается при этом в  $1 \text{ см}^3$  газа? Температура равна  $20^\circ\text{C}$ . [Ответ:  $3,29 \cdot 10^5$ ]

3. Какова средняя квадратичная скорость молекул газа, если, имея массу 6 кг, он занимает объем  $5 \text{ м}^3$  при давлении 200 кПа? Чему равна средняя кинетическая энергия поступательного движения этих молекул [Ответ: 710 м/с; 1,5 МПа]

4. Плотность некоторого газа равна  $0,06 \text{ кг/м}^3$ , средняя квадратичная скорость молекул этого газа 500 м/с. Найти давление, которое оказывает газ на стенки сосуда. [Ответ: 5000 Па]

5. Пространство между двумя большими параллельными пластинами, расстояние между которыми 5 мм, заполнено гелием. Температура одной пластины поддерживается равной 290 К, другой 310 К. Вычислить плотность теплового потока, когда давление гелия равно 0,1 МПа. Диаметр молекулы  $2,2 \cdot 10^{-10} \text{ м}$ . [Ответ:  $196 \text{ Вт/м}^2$ ]

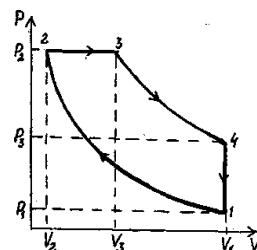
6. Удельная теплоемкость при постоянном объеме газовой смеси, в состав которой входит один киломоль кислорода и несколько киломолей аргона равна  $430 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{К)}$ . Какое количество аргона находится в газовой смеси? [Ответ: 59,3 кг]

7. При адиабатном расширении воздуха его объем изменился с 20 до 100 л. Найти работу расширения газа, если в конце расширения он имел давление 200 кПа. Считать  $c_p = 1006 \text{ Дж/(кг·град)}$ . [Ответ: 63,32 кДж]

8. В закрытом сосуде, находится 20 г азота и 32 г кислорода. Найти изменение внутренней энергии этой смеси при охлаждении ее на  $28^\circ\text{C}$ . [Ответ: 997,2 Дж]

9. При изотермическом расширении 10 г азота, находящегося при температуре  $17^\circ\text{C}$ , была совершена работа, равная 860 Дж. Во сколько раз изменилось давление азота при расширении? [Ответ: в 2,72 раза]

10. Тепловая машина работает на 0,5 молях одноатомного газа, используя изотермный (3-4), изобарный, изохорный и адиабатный (1-2) процессы. Известно, что  $P_2 = 8 \text{ атм}$ ,  $P_1 = 1,5 \text{ атм}$ ,  $P_3 = 5 \text{ атм}$ ,  $V_2 = 3 \text{ л}$ . Найти КПД цикла, а также КПД цикла Карно с полученными температурами холодильника и нагревателя.



11. Горизонтальный капилляр, внутренний диаметр которого равен 2 мм, наполнен водой так, что в нем образовался столбик длиной  $h = 10 \text{ см}$ . Какая масса воды вытечет из капилляра, если его поставить вертикально? Смачивание считать полным, а  $\sigma = 0,075 \text{ Н/м}$  и влиянием мениска на нижнем конце капилляра пренебречь. [Ответ: 0,266 г]

## ВАРИАНТ 11

1. Баллон емкостью 1200 л содержит газ при давлении 0,6 МПа и температуре 280 К. Днем емкость на солнце нагрелась до 300 К и произошла разгерметизация баллона, в результате чего температура упала до  $10^\circ\text{C}$  и давление снизилось на 0,14 МПа. Сколько молекул вышло из емкости? Каким стало давление после нагревания газа?

[Ответ:  $3,3 \cdot 10^{26}$ ; 0,64 МПа]

2. Найти плотность воздуха при давлении 100 кПа и температуре  $13^\circ\text{C}$ , считая, что воздух содержит 23,6 вес.% кислорода и 76,4 вес.% азота. Найти парциальные давления кислорода и азота при этих условиях.

[Ответ:  $1,21 \text{ кг/м}^3$ ; 21,3 кПа; 78,7 кПа]

3. Найти среднюю квадратичную скорость молекул газа, имеющего плотность  $1,8 \text{ кг/м}^3$  при давлении 1,5 атм. Чему равна концентрация молекул, если средняя кинетическая энергия поступательного движения молекул газа равна  $6,62 \cdot 10^{-21} \text{ Дж}$ ?

[Ответ: 500 м/с;  $3,4 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-3}$ ]

4. Во сколько раз средняя квадратичная скорость пылинки, взвешенной в воздухе, меньше средней квадратичной скорости молекул воздуха? Масса пы-

линки  $10^{-8}$  г. Воздух считать однородным газом, масса одного моля которого равна 0,029 кг/моль. [Ответ: в  $1,44 \cdot 10^7$  раза]

5. Найти зависимость коэффициента теплопроводности от давления при изотермическом процессе. Изобразить эту зависимость на графике.

6. Газовая смесь состоит из азота массой 3 кг и водяного пара массой 1 кг. Принимая эти газы за идеальные, определить удельные теплоемкости  $c_p$  и  $c_v$  газовой смеси.

[Ответ: 902 Дж/(кг·К); 1240 Дж/(кг·К)]

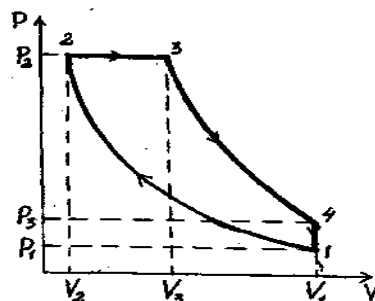
7. Углекислый газ, находящийся под давлением 1 атм при температуре 12°C, адиабатно сжимается до давления 2 атм. Какова температура газа после сжатия? [Ответ: 339 К]

8. 6,5 г водорода, находящегося при температуре 27°C, расширяется вдвое при постоянном давлении за счет притока тепла. Найти работу расширения, изменение внутренней энергии и количество тепла, сообщенное газу.

[Ответ: 8,1 кДж; 20,2 кДж; 28,3 кДж]

9. Баллон емкостью 20 л содержит водород при температуре 300 К под давлением 0,4 МПа. Каковы будут температура и давление, если газу сообщить 6 кДж? [Ответ: 520 кПа; 390 К]

10. Рабочий цикл некоторой тепловой машины состоит из двух адиабат, изохоры и изобары. Известно, что  $P_1=1,25$  атм,  $P_2=5$  атм,  $P_3=3$  атм,  $T_1=250$  К. В качестве рабочего тела используется 0,7 моля двухатомного газа. Определить КПД данного цикла и КПД цикла Карно с температурами холодильника и нагревателя цикла.



[Ответ: 22,6%; 64%]

11. Капля воды массой 0,1 г введена между двумя плоскими и параллельными между собой стеклянными пластинками, смачиваемыми водой, причем, краевой угол равен нулю. Как велика сила притяжения между пластинками, если они находятся друг от друга на расстоянии  $10^{-4}$  см? Коэффициент поверхностного натяжения воды равен 0,073 Н/м. [Ответ: 14617 Н]

## ВАРИАНТ 12

1. В сосуде объемом 40 л находится кислород при температуре 300 К. Когда часть газа израсходовали, давление в баллоне понизилось на 100 кПа. Определить массу израсходованного кислорода. Процесс считать изотермическим. [Ответ: 0,05 кг]



2. Азот массой 10 г смешали с аргоном массой 15г. Найти кажущуюся молярную массу.  
[Ответ: 0,034 кг/моль]

3. Плотность межзвездного газа Галактики в среднем равна  $10^{-24}$  г/см<sup>3</sup>, давление газа  $10^{-15}$  Па. Найти среднюю квадратичную скорость теплового движения атомов межзвездного газа.  
[Ответ: 1730 м/с]

4. Средняя кинетическая энергия молекулы водорода составляет  $2,4 \cdot 10^{-20}$  Дж. Чему равна их наиболее вероятная скорость?  
[Ответ: 2410 м/с]

5. Найти зависимость коэффициента теплопроводности газа от давления при изохорическом процессе (получить формулу) и затем изобразить эту зависимость на графике в виде некоторой кривой.

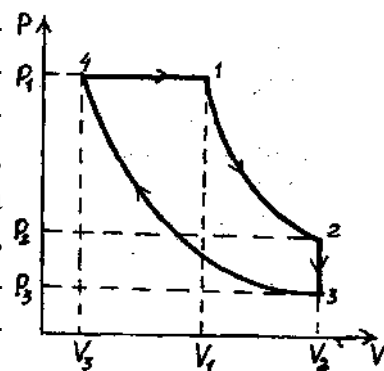
6. Определить молярные теплоемкости некоторого газа, если известны его удельные теплоемкости:  $c_v = 10,4$  кДж/(кг·К) и  $c_p = 14,6$  кДж/(кг·К).  
[Ответ: 30 Дж/(моль·К); 22 Дж/(моль·К)]

7. 1 кг кислорода сжимается адиабатически, вследствие чего температура газа возрастает от 20 до 500°C. Вычислить изменение внутренней энергии и во сколько раз уменьшился объем газа.  
[Ответ: 312 кДж; 10,3 раза]

8. Кислород при неизменном давлении составляющем 80 кПа нагревается и при этом его объем увеличивается от 1 до 3 м. Определить изменение внутренней энергии газа, работу, совершенную газом при расширении, теплоту, сообщенную газу.  
[Ответ: 0,4 МДж; 160 кПа; 560 кДж]

9. Один кг воздуха, находящегося при температуре 30°C и давлении 1,5 атм, расширяется адиабатически и давление падает до 1 атм. Найти степень расширения газа, его конечную температуру и работу, совершенную газом при расширении.  
[Ответ: 1,38; 275,5 К; 20,06 кДж]

10. Тепловая машина работает в соответствии с циклом, изображенным на рисунке, где 1-2 и 3-4 - адиабаты, 1-4 - изобара, 2-3 - изохора. Известны следующие параметры:  $P_1=6$  атм,  $P_2=3$  атм,  $P_3=2$  атм,  $V_3=2$  л. В качестве рабочего вещества использовано 0,3 одноатомного газа. Вычислить КПД данного цикла, а также КПД цикла Карно с максимальной и минимальными температурами по данному циклу.



11. В дне бака с маслом образовалось отверстие, через которое проникает воздух пузырьками диаметром 1,5 мм. Определить диаметр пузырьков на по-

верхности масла, если высота уровня масла над дном 5 м, а атмосферное давление равно 100 кПа, плотность масла 800 кг/м<sup>3</sup>, коэффициент поверхностного натяжения 0,04 Н/м. [Ответ: 1,67 мм]

### ВАРИАНТ 13

1. В сосуде при температуре 373 К и давлении 400 кПа находится 2000 л смеси кислорода и сернистого газа SO<sub>2</sub>. Определить парциальные давления компонентов, если масса сернистого газа 4 кг. [Ответ: 193 кПа; 207 кПа]

2. Некоторое количество водорода находится при температуре -73°C и давлении 3 мм рт. ст. Газ нагревают до температуры 10000 К, при которой молекулы водорода практически полностью распадаются на атомы. Определить давление газа, если его объем и масса остались без изменения. Чему равна концентрация молекул при температуре 73°C? [Ответ: 20 кПа;  $1,45 \cdot 10^{23} \text{ м}^{-3}$ ]

3. Определить давление водорода на стенки сосуда, если его плотность равна 1 кг/м<sup>3</sup>, а средняя квадратичная скорость молекул равна 1500 м/с. [Ответ: 750 кПа]

4. Найти энергию теплового движения NH<sub>3</sub>, находящихся в баллоне объемом 10 л под давлением 18,4 мм рт. ст. Какую часть этой энергии составляет энергия поступательного движения молекул? [Ответ: 74 Дж; 34 Дж]

5. Определить коэффициент теплопроводности воздуха при нормальных условиях, если коэффициент диффузии при этих условиях имеет значение  $1,41 \cdot 10^{-2} \text{ с}^{-1}$ . [Ответ:  $1,29 \cdot 10^{-2} \text{ Вт/(м·К)}$ ]

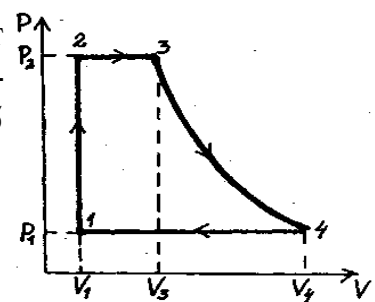
6. Вычислить удельные теплоемкости газа, зная, что его молярная масса 0,004 кг/моль и отношение  $C_p/C_v = 1,67$ . [Ответ: 3100 Дж/(кг·К); 5194 Дж/(кг·К)]

7. Азот, имевший температуру 27°C, был адиабатно сжат так, что его объем уменьшился в 10 раз. Определить конечную температуру и изменение давления. [Ответ: 753,6 К; 25,12]

8. 1 кмоль азота, находящегося при нормальных условиях, расширяется адиабатически от объема  $V_1$  до объема  $V_2 = 5V_1$ . Найти изменение внутренней энергии газа, работу расширения. [Ответ: - 2,69 МДж; 2,69 МДж]

9. 7 г углекислого газа было нагрето в условиях свободного расширения на 6,35°C. Найти работу расширения газа и изменение внутренней энергии, если температура газа изменилась на 20°C.

10. Цикл паросиловой установки Ренкина состоит из двух изобар, изохоры и адиабаты. Известны следующие параметры трехатомного газа:  $P_1 = 1,5$



$атм$ ,  $P_2=3,5 атм$ ,  $V_1= 2 л$ ,  $V_4=5 л$ . Определить кпд установки, а также кпд машины, работающей по циклу Карно с данными температурами нагревателя и холодильника. [Ответ: 14,48%; 67,5%]

11. Капля анилинового красителя находится между двумя плоскими стеклянными горизонтальными пластинами. Определить массу красителя, если для отрыва одной пластины от другой надо приложить усилие в  $10Н$ , толщина слоя красителя  $0,05 мм$ , коэффициент поверхностного натяжения равен  $0,05 Н/м$ , смачивание полное, плотность равна  $1000 кг/м^3$ .

[Ответ: 0,25 г]

#### ВАРИАНТ 14

1. Смесь водорода и азота общей массой  $290 г$  находится при температуре  $600 К$  и давлении  $2,46 МПа$  и занимает объем  $30 л$ . Определить массу водорода и азота. [Ответ: 90 г; 200 г]

2. В комнате объемом  $60 м^3$  температура поднялась с  $17$  до  $27^{\circ}C$ . Давление при этом изменилось от  $103$  до  $106 кПа$ . На какую величину изменилась масса воздуха в комнате? [Ответ: 384 г]

4. Одноатомный газ занимает объем  $4 л$  под давлением  $500 Па$ . Определить суммарную кинетическую энергию поступательного движения молекул.

[Ответ: 3 Дж]

4. Средняя квадратичная скорость молекул некоторого газа находящегося под давлением  $50 кПа$  равна  $1000 м/с$ . Найти плотность газа при этих условиях. [Ответ:  $0,15 кг/м^3$ ]

5. Давление двухатомного идеального газа вследствие сжатия увеличивается в  $10$  раз. Определить, как изменяется длина свободного пробега молекул в газе и коэффициент вязкости газа, если сжатие происходит изотермически.

[Ответ: уменьшится в  $10 раз$ ; останется неизвестным]

6. Определить молярные теплоемкости  $C_p$  и  $C_v$  смеси двух газов - одноатомного и двухатомного. Количество вещества одноатомного  $0,4 моля$ , двухатомного  $0,2 моля$ . [Ответ:  $15,23 Дж/(моль \cdot К)$ ;  $23,55 Дж/(моль \cdot К)$ ]

7. Сероводород ( $H_2S$ ) массой  $5 кг$ , занимавший объем  $2 м^3$  при температуре  $17^{\circ}C$  сжали адиабатически так, что давление увеличилось в три раза. Определить конечные объем и температуру газа. [Ответ:  $0,876 м^3$ ;  $381 К$ ]

8. При изотермическом расширении  $2 м^3$  газа его давление меняется от  $5$  до  $4 атм$ . Найти совершенную при этом работу. [Ответ:  $223 кДж$ ]

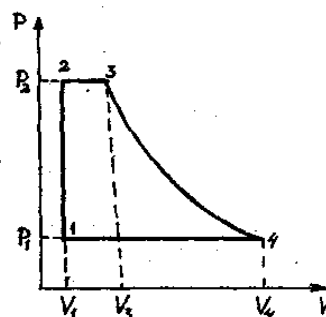
9.  $10 г$  кислорода находится под давлением  $300 кПа$  при температуре  $10^{\circ}C$ . После нагревания при постоянном давлении газ занял объем в  $10 л$ . Найти ко-

личество тепла, сообщенного газу, изменение его внутренней энергии и работу, совершенную газом. [Ответ: 7,9 кДж; 5,66 кДж; 2,26 кДж]

10. Капля ртути нанесена на плоскую стеклянную поверхность. На нее сверху положили другую стеклянную пластинку, так что капля расплющилась в лепешку радиуса  $R$ . Определить значение этого радиуса, если масса этой капли равна 2 г, а масса верхней пластинки 50 кг. Плотность ртути  $13,6 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ , коэффициент поверхностного натяжения равен  $0,48 \text{ Н/м}$ . [Ответ: 5,25 см]

11. Тепловая машина работает, используя изобарные, изохорный и изотермный процесс на двухатомном газе. Известно, что  $V_1=1,25 \text{ л}$ ,  $V_3=4 \text{ л}$ ,  $V_4=8 \text{ л}$ . Вычислить КПД данного цикла и КПД цикла Карно с максимальной и минимальной температурой из данного цикла.

[Ответ: 15,4%; 84,4%]



### ВАРИАНТ 15

1. Барометрическая трубка погружена в глубокий сосуд с ртутью так, что уровни в трубке и в сосуде совпадают. При этом воздух в трубке занимает столб высотой 100 см. Трубку поднимают на 30 см. Определить на сколько сантиметров поднимется ртуть в трубке? Атмосферное давление равно 750 мм рт. ст. [Ответ: 11,6 см]

2. Сухой атмосферный воздух содержит 23,1% кислорода (от общей массы), 75,6% азота и 1,3% аргона. Доля остальных газов пренебрежимо мала. Определить среднюю молярную массу сухого атмосферного воздуха.

[Ответ: 0,0289 кг/моль]

3. Предельно допустимая концентрация молекул паров ядовитого газа хлора ( $\text{Cl}_2$ ) в воздухе равна  $8,5 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-3}$ . Найти при какой массе хлора в одном кубическом метре воздуха появляется опасность отравления. Чему равно давление паров хлора, если средняя кинетическая энергия поступательного движения молекул равна  $5,4 \cdot 10^{-21} \text{ Дж}$ ? [Ответ:  $10^{-6} \text{ кг/м}^3$ ;  $3,06 \cdot 10^{-2} \text{ Па}$ ]

4. Найти среднюю квадратичную скорость некоторого газа, плотность которого при давлении 750 мм рт. ст. равна  $0,082 \text{ кг/м}^3$ . Чему равна масса одного моля этого газа, если значение плотности дано при температуре  $17^\circ\text{C}$ ?

(Ответ: 1913 м/с; 0,002 кг/моль)

5. Цилиндр радиусом 10 см и длиной 30 см расположен внутри цилиндра с радиусом 10,5 см так, что оси обоих цилиндров совпадают. Малый внутрен-

ний цилиндр неподвижен, большой вращается с частотой 15 об/с. Вязкость газа, в который погружены цилиндры  $8,5 \cdot 10^{-6} \text{ кг/(м} \cdot \text{с)}$ . Какая сила действует на единицу поверхности внутреннего цилиндра? Какой вращающий момент будет действовать на этот цилиндр? [Ответ:  $3,17 \cdot 10^{-3} \text{ Н}$ ;  $3,17 \cdot 10^{-4} \text{ Н/м}$ ]

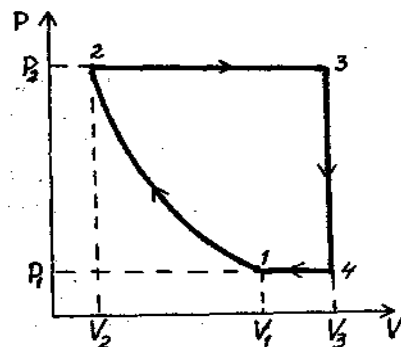
6. Определить удельные теплоемкости  $c_p$  и  $c_v$  водорода, в котором половина молекул распалась на атомы. [Ответ:  $11,43 \text{ кДж/(кг} \cdot \text{К)}$ ;  $17,66 \text{ кДж/(кг} \cdot \text{К)}$ ]

7. Для аргона  $C_p/C_v = 1,7$ . Определить давление, получившееся после адиабатического расширения этого газа от объема один литр до объема два литра, если начальное давление равно 1 атм. [Ответ: 0,308 атм.]

8. В сосуде под поршнем находится 1 г азота. Какое количество тепла надо затратить, чтобы нагреть азот на  $10^\circ \text{C}$ ? На сколько при этом поднимется поршень? Вес поршня 9,8 Н, площадь его поперечного сечения  $10 \text{ см}^2$ . Давление над поршнем 1 атм. [Ответ: 10,4 Дж; 2,8 см]

9. При адиабатическом сжатии одного киломоля двухатомного газа была совершена работа в 146 кДж. На сколько увеличилась температура газа при сжатии? [Ответ: на  $7^\circ \text{C}$ ]

10. Одноатомный газ используется в качестве рабочего тела при работе некоторой тепловой машины. Известны следующие параметры состояний цикла, изображенного на рисунке:  $V_1 = 2,5 \text{ л}$ ,  $V_2 = 1,5 \text{ л}$ ,  $V_3 = 6 \text{ л}$ . Участок 1-2 - адиабатный, 2-3 и 4-1 - изобарные, 3-4 - изохорный. Вычислить КПД цикла. Каков был бы КПД тепловой машины, работающей с температурами нагревателя и холодильника данного цикла? Ответ: 21%; 82,1%



11. Одна большая сферическая капля ртути массой 1 г упала на пол и разбилась на 10 одинаковых капелек. Как изменилась температура капли, если  $\sigma = 0,465 \text{ Н/м}$ , а  $c = 140 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)}$ ? [Ответ:  $7,83 \cdot 10^{-3} \text{ град}$ ]

### ВАРИАНТ 16

1. В баллоне емкостью 22,4 л находится водород при нормальных условиях. После того как в баллоне было дополнительно введено некоторое количество гелия, давление возросло до 0,25 МПа, а температура не изменилась. Определить массу гелия, введенного в баллон. [Ответ: 4 г]

3. Тонкий резиновый шар радиусом 2 см наполнен воздухом при температуре  $20^\circ \text{C}$  и нормальном давлении 100 кПа. Каков будет радиус шара, если его опустить в воду с температурой  $4^\circ \text{C}$  на глубину 20 м? [Ответ: 1,37 см]

4. Определить среднюю квадратичную скорость молекул азота, если давление газа равно  $180 \text{ кПа}$ , а концентрация молекул  $1,7 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-3}$ . [Ответ:  $826 \text{ м/с}$ ]

4. Средняя квадратичная скорость молекул некоторого газа равна  $450 \text{ м/с}$ , давление газа  $70 \text{ кПа}$ . Найти плотность газа при этих условиях. [Ответ:  $1,03 \text{ кг/м}^3$ ]

5. Коэффициент диффузии и внутреннего трения кислорода равны соответственно  $1,2 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$  и  $1,95 \cdot 10^{-5} \text{ кг/м} \cdot \text{с}$ . Найти при этих условиях плотность кислорода, среднюю длину свободного пробега его молекул, среднюю арифметическую скорость.

[Ответ:  $1,625 \text{ кг/м}^3$ ;  $1,53 \cdot 10^{-7} \text{ м}$ ;  $253,3 \text{ м/с}$ ]

6. В сосуде находится смесь газов: кислорода массой  $6 \text{ г}$  и азота массой  $3 \text{ г}$ . Определить удельные теплоемкости такой смеси.

[Ответ:  $680 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{K)}$ ;  $952 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{K)}$ ]

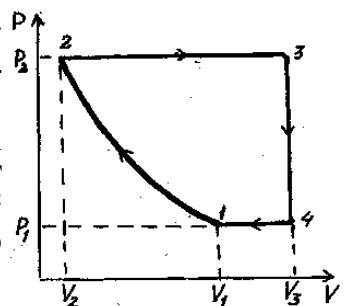
7. Кислород, находящийся при температуре  $300 \text{ К}$  и давлении  $2 \text{ МПа}$  сжимается адиабатически в два раза. Найти температуру и давление после сжатия. [Ответ:  $396 \text{ К}$ ;  $5,28 \text{ МПа}$ ]

8. Необходимо сжать  $10 \text{ л}$  воздуха до объема  $2 \text{ л}$ . Как выгоднее его сжимать: адиабатически или изотермически? [Ответ:  $A_{\text{ад}}/A_{\text{из}}=1,4$ ]

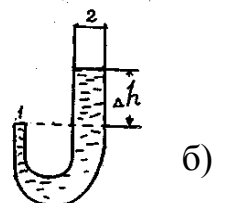
9.  $1 \text{ кмоль}$  одноатомного газа нагревается на  $100^\circ\text{C}$  в условиях свободного расширения. Найти количество тепла, сообщенного газу; изменение его внутренней энергии, работу расширения.

[Ответ:  $2,076 \text{ МДж}$ ;  $1,25 \text{ МДж}$ ;  $826 \text{ кДж}$ ]

10. Найти КПД цикла тепловой машины, если известно, что участок 1-2 -изотермный и параметры состояний следующие:  $P_1=2 \text{ атм}$ ,  $P_3=8 \text{ атм}$ ,  $V_1=6 \text{ л}$ ,  $V_3=8 \text{ л}$ . Рабочее тело - одноатомный газ. Каков КПД данного цикла? Вычислить также КПД цикла Карно с температурами холодильника и нагревателя данного цикла. [Ответ:  $24,2\%$ ;  $81,2\%$ ]



11. На рисунке изображена трубка с керосином и с диаметрами внутренних отверстий капилляров 1 и 2 по  $1 \text{ мм}$  и  $1,8 \text{ мм}$  соответственно. При какой разности уровней мениск на конце трубки 1 будет: а) вогнутым с радиусом кривизны  $R=0,5 \text{ мм}$ ; выпуклым с тем же радиусом. [Ответ: а)  $6,8 \text{ мм}$ ; б)  $3,8 \text{ мм}$ ]



**ВАРИАНТ17**

1. Определить плотность смеси газов, состоящей из 1 кг кислорода, 8 кг водорода и 3 кг углекислого газа при температуре 290 K и давлении 100 кПа. Определить также молярную массу смеси. [Ответ: 0,12 кг/м<sup>3</sup>, 0,0029 кг/моль]

2. В баллоне находился газ под давлением 200 кПа и температуре 27°C. В результате закачки его масса увеличилась по сравнению с первоначальной на 10 кг, давление возросло до 350 кПа, а температура до 320 K. Какова была начальная масса газа в баллоне? [Ответ: 15,61 кг]

3. Определить среднюю кинетическую энергию молекул одноатомного газа и концентрацию молекул при температуре 17°C и давлении 800 кПа. [Ответ:  $6 \cdot 10^{-21}$  Дж;  $2 \cdot 10^{26}$  м<sup>-3</sup>]

4. Найти среднюю арифметическую и наиболее вероятную скорости молекул газа, плотность которого при давлении 300 мм рт. ст. равна 0,3 кг/м<sup>3</sup>. [Ответ: 579 м/с; 513 м/с]

5. Коэффициент теплопроводности трехатомного газа  $1,45 \cdot 10^{-2}$  Вт/(м·К), а коэффициент диффузии при тех же условиях  $10^{-5}$  м<sup>2</sup>/с. Определить число молекул в 1 м<sup>3</sup> при этих условиях. [Ответ:  $1,05 \cdot 10^{26}$  м<sup>-3</sup>]

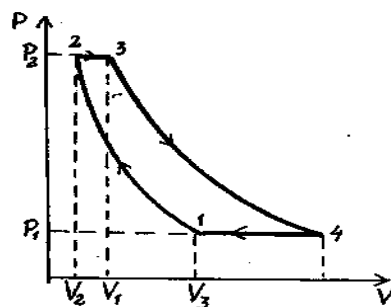
6. Смешан одноатомный газ, количество вещества которого 2 моля, с трехатомным газом, количество вещества которого 3 моля. Определить молярные теплоемкости  $C_p$  и  $C_v$  этой смеси. [Ответ: 20 Дж/(моль·К); 28,2 Дж/(моль·К)]

7. До какой температуры охладится воздух, находящийся при нормальных условиях, если он адиабатически расширяется в три раза? [Ответ: 176 K]

8. Газ, занимающий объем 3 л и находящийся под давлением 200 кПа и при температуре 17°C был нагрет и расширялся изобарически. Работа расширения газа при этом равна 196 Дж. На сколько нагрели газ? [Ответ: 57°C]

9. Работа изотермического расширения 10 г некоторого газа при его увеличении объема в два раза равна 575 Дж. Найти среднюю квадратичную скорость молекул газа при этой температуре. [Ответ: 500 м/с]

10. Для определения уровня жидкости в баках используют принцип сообщающихся сосудов. Определить диаметр водомерной трубки, если относительная погрешность при определении объема равна 1%. Смачивание водой стекла водомерной трубки полное, а высота уровня воды по водомеру равна 1 м. [Ответ: 1,5 мм]



11. Тепловая машина работает циклично, используя два изобарных процесса (на приведенной диаграмме участки 2-3 и 4-1, адиабатный участок 1-2 и изотермный участок 3-4. Определить КПД тепловой машины, при  $P_1=1,5 \text{ атм}$ ,  $P_2=8 \text{ атм}$ ,  $V_1=3 \text{ л}$ ,  $V_3=4,5 \text{ л}$ . При работе используется 0,2 моля двухатомного газа. Каков был бы КПД цикла Карно с максимальной и минимальной температурами, взятыми из цикла.

[Ответ: 40,8%; 7,5%]

### ВАРИАНТ 18

1. Смесь состоит из водорода с массовой долей  $n_1=1/9$  и кислорода с массовой долей  $n_2=8/9$ . Найти плотность такой смеси газов при температуре 300 К и давлении 0,2 МПа. [Ответ: 0,96 кг]

2. В сосуде объемом 1 л при температуре 183°С находится  $1,62 \cdot 10^{22}$  молекул газа. Каково будет давление газа, если объем сосуда изотермически увеличить в 5 раз? [Ответ: 20,4 кПа]

3. Средняя квадратичная скорость молекул газа, плотность которого  $1,6 \text{ кг/м}^3$ , равна 540 м/с. Чему равно давление газа? Найти среднюю кинетическую энергию поступательного движения молекул газа при концентрации  $7,5 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-3}$ . [Ответ: 155 кПа;  $3,1 \cdot 10^{-21} \text{ Дж}$ ]

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

5. Вычислить среднюю скорость теплового движения атомов аргона, среднюю длину свободного пробега атома, среднее число столкновений молекул, находящихся в  $1 \text{ см}^3$  в 1 с, если условия нормальные. [Ответ: 380 м/с;  $9,45 \cdot 10^{-8} \text{ м}$ ;  $5,32 \cdot 10^{28} \text{ см}^{-3} \text{ с}$ ]

6. Смесь двух газов состоит из гелия массой 5 г и водорода массой 2 г. Найти отношение теплоемкостей  $C_p/C_v$  этой смеси. [Ответ: 1,51]

7. Один литр кислорода адиабатически расширяется до 7,5 л, причем в конце расширения установилось давление 95 кПа. Под каким давлением находился газ до расширения? [Ответ: 1,6 МПа]

8. Один литр гелия, находящегося при нормальных условиях, изотермически расширяется за счет полученного извне тепла до объема 2 л. Найти работу, совершенную газом при расширении, количество сообщенного газу тепла. [Ответ: 70 Дж]

9. При изобарическом расширении двухатомного газа была совершена работа в 156,8 Дж. Какое количество тепла было сообщено газу? [Ответ: 550 Дж]



10. Тепловая машина работает циклично, используя изобарные, адиабатный и изотермный процессы. На диаграмме это участки 2-3, 4-1, 3-4, 1-2. Известно, что газ двухатомный и приводятся следующие параметры состояний:  $P_1=1,75 \text{ атм}$ ,  $P_2=6 \text{ атм}$ ,  $V_1=6,5 \text{ л}$ ,  $V_4=20 \text{ л}$ . Определить КПД данного цикла и КПД цикла Карно с максимальной и минимальной температурами из цикла.

[Ответ: 12,23%; 77%]

11. Алюминиевая проволока диаметром 0,5 мм висит вертикально над нагревателем, так что ее нижний конец плавится и каплями отрывается от проволоки. На сколько укоротится проволока после падения 10 капель, если диаметр шейки капли в момент отрыва принять равным диаметру проволоки? [Ответ: 1,57 м]

### ВАРИАНТ 19

1. В запаянной с одного конца узкой стеклянной трубке, расположенной горизонтально, находится столбик воздуха длиной  $\ell=110 \text{ см}$ , закрытый столбиком ртути длиной 10 см. Атмосферное давление равно 740 мм рт.ст. Какой будет длина воздушного столбика, если трубку расположить: а) вертикально отверстием вверх; б) вертикально отверстием вниз; в) под углом  $30^\circ$  к горизонту и отверстием вниз? [Ответ:  $\ell=1,28 \text{ м}$ ;  $\ell=0,97 \text{ м}$ ;  $\ell=1,25 \text{ м}$ ]

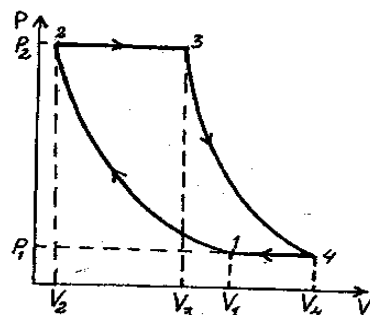
2. В закрытом сосуде емкостью  $2 \text{ м}^3$  находятся 1,4 кг азота и 2 кг кислорода. Найти давление газовой смеси в сосуде, если температура смеси  $27^\circ\text{C}$

[Ответ: 140 кПа]

3. Средняя кинетическая энергия всех молекул одноатомного газа при давлении 30 кПа равна 180 Дж. Чему равен объем газа? Найти температуру газа при концентрации молекул равной  $7,51 \cdot 10^{24} \text{ м}^{-3}$ . [Ответ: 4 л; 290 К]

4. Найти среднее число столкновений в 1 с молекул углекислого газа при температуре  $100^\circ\text{C}$ , если средняя длина свободного пробега при этих условиях равна  $8,7 \cdot 10^{-4} \text{ м}$ . [Ответ:  $4,9 \cdot 10^5 \text{ с}^{-1}$ ]

5. Коэффициенты диффузии и внутреннего трения гелия при некоторых условиях равны  $1,2 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$  и  $6,5 \cdot 10^{-6} \text{ кг}/(\text{м} \cdot \text{с})$ . Найти число молекул гелия в  $1 \text{ м}^3$  при этих условиях. [Ответ:  $8,1 \cdot 10^{24} \text{ м}^{-3}$ ]



6. Какая часть молекул двухатомного газа распалась на атомы, если показатель адиабаты образовавшейся смеси равен 1,5? [Ответ: 0,5]

7. Газовая смесь в цилиндрах дизельного мотора сжимается

адиабатически от 1 до 50 *атм*. Начальная температура смеси 40°C. Найти температуру смеси в конце сжатия. Считать  $C_p/C_v=1,7$ .

[Ответ: 1565 K]

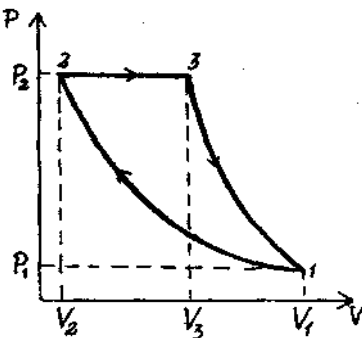
8. Водород занимает объем 10 м<sup>3</sup> при давлении 100 кПа. Газ нагрели при постоянном объеме до давления 300 кПа. Определить изменение внутренней энергии, работу и теплоту, сообщенную газу.



[Ответ: 5 МДж; 0; 5 МДж]

9. Двухатомному газу сообщено 2090 Дж тепла. При этом газ расширялся при постоянном давлении. Найти работу расширения газа.

10. На приведенной диаграмме изображен рабочий цикл некоторой тепловой машины, работающей на двухатомном идеальном газе. Участок 2-3- изобарный, 3-1 - адиабатный, 1-2 - изотермный. Определить КПД цикла, если известно, что  $P_1=130$  кПа,  $P_2=700$  кПа,  $V_1=10$  л. Каков был бы КПД, если с этими температурами работала машина Карно?



[Ответ: 22%; 38,1%]

11. Стекло́нная трубка заполнена ртутью. Закрыв один конец пальцем, ее опускают в сосуд с ртутью; при этом уровень ртути над уровнем сосуда стал равен 0,765 м. Определить истинное значение атмосферного давления по условиям опыта, если внутренний диаметр трубки равен 1 мм. Краевой угол принять равным 138°, а  $\sigma=0,5$  Н/м. [Ответ: 776,6 мм]

## ВАРИАНТ 20

1. Смесь кислорода и азота находится в сосуде под давлением 1,2 МПа. Определить парциальные давления газов, если массовая доля кислорода в смеси равна 0,2. [Ответ: 215 кПа и 985 кПа]

2. Концентрация молекул неизвестного газа при нормальных условиях равна  $2,7 \cdot 10^{25}$  м<sup>-3</sup>. Этот же газ при температуре 91°C и давлении 800 кПа имеет плотность 5,4 кг/м<sup>3</sup>. Найти массу одной молекулы этого газа.

[Ответ:  $3,33 \cdot 10^{-20}$  кг]

3. Найти энергию теплового движения молекул CO<sub>2</sub>, находящихся в баллоне объемом 6 л при давлении 3,5 кПа. Какую часть энергии составляет энергия вращательного движения? [Ответ: 63 Дж; 0,5]

4. Найти общее число столкновений в 1 с молекул азота при температуре 27°C и давлении 400 мм рт. ст., если его масса равна 28 г.

[Ответ:  $2,8 \cdot 10^{19}$  с<sup>-1</sup>]

5. Определить коэффициент теплопроводности азота, находящегося в некотором объеме при температуре  $280\text{ К}$ . Эффективный диаметр молекулы принять равным  $0,38\text{ нм}$ .  
[Ответ:  $8,25\text{ мВт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ ]

5. Определить показатель адиабаты идеального газа, который при температуре  $350\text{ К}$  и давлении  $400\text{ кПа}$  занимает объем  $300\text{ л}$  и имеет теплоемкость при постоянном объеме  $857\text{ Дж/К}$ .  
[Ответ:  $1,4$ ]

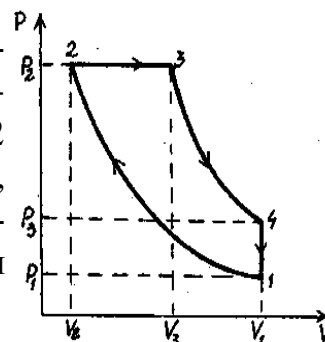
6. Газ сжимается адиабатически и при этом его объем уменьшается втрое, а температура увеличивается в  $1,44$  раза. Какое число степеней свободы имеют молекулы этого газа?  
[Ответ:  $6$ ]

8. Кислород был нагрет при неизменном объеме в  $50\text{ л}$ . При этом давление газа изменилось на  $500\text{ кПа}$ . Найти теплоту, сообщенную газу.  
[Ответ:  $62,5\text{ кДж}$ ]

9. Расширяясь, водород совершил работу в  $6\text{ кДж}$ . Сколько теплоты было подведено к газу, если газ расширился изобарически или изотермически?  
[Ответ:  $21\text{ кДж}$ ;  $6\text{ кДж}$ ]

10. Внутри некоторого сосуда объемом  $4\text{ м}^3$  находится воздух под небольшим избыточным давлением (по отношению к внешнему атмосферному давлению). Через отверстие в сосуде воздух начинает медленно выходить, выдувая мыльный пузырь, объем которого перестал увеличиваться по достижении радиуса  $10\text{ см}$ . Определить величину избыточного давления, если внешнее давление равно  $100\text{ кПа}$ , а коэффициент поверхностного натяжения принять равным  $0,05\text{ Н/м}$ .  
[Ответ:  $102\text{ Па}$ ]

11. Тепловая машина использует двухатомный газ и работает циклично. На приведенной диаграмме цикла 2-3 - изобарный участок, 3-4 - адиабатный, 4-1 - изохорный, 1-2 - изотермный. Известно, что  $P_1=150\text{ кПа}$ ,  $P_2=800\text{ кПа}$ ,  $V_1=12\text{ л}$ ,  $V_3=8\text{ л}$ . Определить, каков будет КПД данной машины и как сильно он будет отличаться от КПД машины Карно.  
[Ответ:  $25,2\%$ ;  $71,8\%$ ]



## ВАРИАНТ 21

1. Шар объемом  $1000\text{ м}^3$  наполняется гелием при температуре  $290\text{ К}$ . Поднимаясь вверх, газ нагрелся до иной температуры, и часть газа массой  $5\text{ кг}$  «стравила» через открытый клапан. Считая, что объем шара и давление атмосферы ( $760\text{ мм рт.ст.}$ ) не меняется, определить эту новую температуру.  
[Ответ:  $27^\circ\text{C}$ ]

2. Сухой атмосферный воздух находится под давлением  $100 \text{ кПа}$  и содержит  $23,2 \text{ г}$  кислорода,  $75,6 \text{ г}$  азота и  $1,3 \text{ г}$  аргона. Найти парциальные давления составляющих газов. [Ответ: кислород  $20,9 \text{ кПа}$ ; азот  $78,2 \text{ кПа}$ ; аргон  $9 \text{ кПа}$ ]

3. Давление кислорода при температуре  $25^\circ\text{C}$  равно  $200 \text{ кПа}$ . Чему равна концентрация молекул кислорода? Определить среднюю кинетическую энергию поступательного движения молекул газа, если объем сосуда равен  $3 \text{ л}$ . [Ответ:  $4,97 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-3}$ ;  $900 \text{ Дж}$ ]

4. В сосуде объемом  $0,5 \text{ л}$  находится кислород при нормальных условиях. Найти общее число столкновений между молекулами кислорода в этом объеме за  $1 \text{ с}$ . [Ответ:  $2,87 \cdot 10^{31}$ ]

5. Найти предельное значение давления, ниже которого теплопроводность воздуха, заключенного между стенками дьюаровского сосуда начинает зависеть от давления. Расстояние между стенками  $6 \text{ мм}$ . Диаметр молекулы воздуха принять равным  $3 \cdot 10^{-10} \text{ м}$ . Температура газа  $17^\circ\text{C}$ . [Ответ:  $1,67 \text{ Па}$ ]

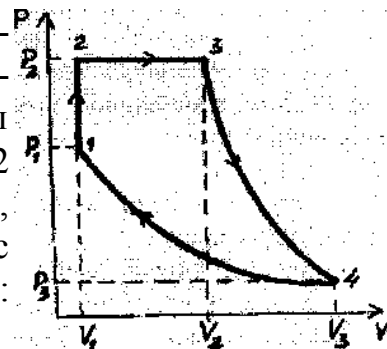
6. Молярная масса газа  $0,044 \text{ кг/моль}$ , показатель адиабаты  $1,33$ . Вычислить по этим данным удельные теплоемкости  $c_p$  и  $c_v$ . [Ответ:  $755 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{K})$ ;  $567 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{K})$ ]

7. Два литра азота при давлении  $1 \text{ атм}$  и температуре  $27^\circ\text{C}$  расширяются адиабатически до объема  $40 \text{ л}$ . Определить температуру и давление газа после расширения. [Ответ:  $90 \text{ K}$ ;  $1,5 \text{ кПа}$ ]

8. При адиабатическом расширении кислорода с начальной температурой  $320 \text{ K}$  внутренняя энергия уменьшилась на  $8,4 \text{ кДж}$ . Определить массу кислорода, если его объем увеличился в  $10$  раз? [Ответ:  $67 \text{ г}$ ]

9. В закрытый сосуд объемом  $2,5 \text{ л}$  закачан водород при температуре  $17^\circ\text{C}$  и давлении  $15 \text{ кПа}$ . Водород охлаждают до температуры  $0^\circ\text{C}$ . Вычислить количество отданного газом тепла, приращение внутренней энергии водорода. [Ответ:  $5,4 \text{ Дж}$ ;  $-5,4 \text{ Дж}$ ]

10. Тепловой двигатель работает циклично на двухатомном газе. Цикл состоит из изохорного, адиабатного, изотермного и изобарного процессов. Известны следующие параметры состояний:  $P_1=800 \text{ кПа}$ ,  $P_2=1,2 \text{ МПа}$ ,  $V_1=4 \text{ л}$ ,  $V_2=6 \text{ л}$ . Вычислить КПД тепловой машины, а также КПД машины, работающей по циклу Карно с данными температурами. [Ответ:  $33\%$ ;  $55,6\%$ ]



11. Колена вертикально расположенной U - образной трубки представляют собой капилляры, радиусы которых 3,6 и 0,5 мм. В трубку налита ртуть так, что высота столба ртути в широком колене 21,2 см. Вычислить разность уровней ртути в коленах трубки. Краевой угол равен  $138^\circ$ , коэффициент поверхностного натяжения равен 0,48 Н/м. [Ответ: 0,76 см]

## ВАРИАНТ 22

1. В сосуде объемом 10 л при температуре 450 К находится смесь азота массой 5 г и водорода массой 2 г. Определить давление смеси и парциальные давления газов. [Ответ: 440,2 кПа; 373,5 кПа; 66,7 кПа]

2. В цилиндре под поршнем находится газ при нормальных условиях. Сначала газ нагрели при постоянном давлении до температуры  $97^\circ\text{C}$ , а затем при постоянной температуре увеличили в 5 раз объем газа. Определить концентрацию молекул в конечном состоянии.

[Ответ:  $3,91 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-3}$ ]

3. В сосуде объемом 2 л при температуре  $167^\circ\text{C}$  находится газ под давлением 130 кПа. Определить число молекул газа и среднюю кинетическую энергию поступательного движения всех молекул газа.

[Ответ:  $4,28 \cdot 10^{23}$ ; 390 Дж]

4. При температуре  $0^\circ\text{C}$  и некотором давлении средняя длина свободного пробега молекул кислорода равна  $9,5 \cdot 10^{-8} \text{ м}$ . Чему равно среднее число столкновений в 1 с молекул кислорода, если сосуд откачать до 0,01 первоначального давления? Температура остается постоянной.

[Ответ:  $4,5 \cdot 10^7 \text{ с}^{-1}$ ]

5. Пространство между двумя большими параллельными пластинами, расстояние между которыми 5 мм, заполнено гелием. Температура одной пластины равна 290 К, другой 310 К. Вычислить плотность теплового потока, когда давление гелия равно 1 МПа. Диаметр молекулы  $2,2 \cdot 10^{-1} \text{ м}$ .

[Ответ:  $27 \text{ Вт/м}^2$ ]

6. Известны удельные теплоемкости газа: 649 Дж/(кг·К) и 912 Дж/(кг·К). Определить молярную массу газа и число степеней свободы его молекул.

[Ответ: 0,032 кг/моль,  $i=5$ ]

7. 28 г азота при давлении 1 атм и температуре  $27^\circ\text{C}$  расширяются адиабатически до объема 40 л. Найти его конечную температуру.

[Ответ: 248 К]

8. В цилиндре под поршнем находится азот массой 0,6 кг, занимающий объем  $1,2 \text{ м}^3$  при температуре 560 К. В результате нагревания газ расширился и занял объем  $4,2 \text{ м}^3$ , причем температура осталась неизменной. Найти изменение

внутренней энергии, совершенную им работу и теплоту, сообщенную газу.

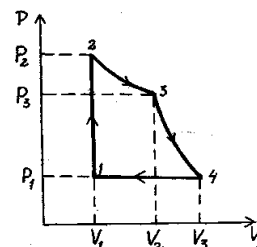
[Ответ: 0; 126 кДж; 126 кДж]

9. Кислород, занимавший объем 1 л при давлении 1,2 МПа, адиабатически расширился до объема 10 л. Определить работу расширения газа.

[Ответ: 1,81 кДж]

10. Рабочий цикл предполагаемой тепловой машины работающей на одноатомном газе, состоит из адиабатного, изохорного, изотермного и изобарного процессов. Известно, что  $P_1=1 \text{ атм}$ ,  $P_2=10 \text{ атм}$ ,  $P_3=2,5 \text{ атм}$ ,  $V_1=4 \text{ л}$ . Найти КПД машины по этим параметрам, а также КПД машины, работающей по циклу Карно, с максимальной и минимальными температурами, полученными ранее.

[Ответ: 45,8%; 60%]



11. Между двумя горизонтальными стеклянными пластинами помещена капля жидкости массой 5,17 г, принявшая форму „лепешки" радиусом 2,28 см и толщиной 3,8 мм. Какую дополнительную массу надо положить на верхнюю пластинку, чтобы толщина уменьшилась в 10 раз? Краевой угол принять равным  $138^\circ$ .

[Ответ: 36 г]

### ВАРИАНТ 23

1. Баллон газонаполненной неоновой лампы дневного света объемом  $500 \text{ см}^3$  находится под давлением 560 мм рт. ст. Когда баллон находился под водой, в нем образовалась трещина, через которую внутрь поступила вода. Сколько воды войдет внутрь баллона, если атмосферное давление 760 мм рт. ст.? Во сколько раз изменится концентрация газа в баллоне?

[Ответ: 132 г; 1,36]

2. В некотором сосуде содержится смесь, состоящая из азота массой 3 кг и водорода массой  $m_2$ . Давление в сосуде 250 кПа, его объем  $1,5 \text{ м}^3$  и температура  $57^\circ\text{C}$ . Определить парциальные давления компонентов.

[Ответ: 54 кПа; 196 кПа]

3. Некоторое количество кислорода находится при температуре  $53^\circ\text{C}$  и давлении 6 мм рт. ст. Газ нагревают до температуры  $5000^\circ\text{C}$ , при которой молекулы кислорода практически полностью распадаются на атомы. Определить давление газа, если его объем и масса постоянны. Чему равна концентрация молекул кислорода при температуре  $-53^\circ\text{C}$ ?

[Ответ: 36,2 кПа;  $2,63 \cdot 10^{23} \text{ м}^{-3}$ ]

4. При температуре 400 К средняя длина свободного пробега молекул водорода равна  $1,6 \cdot 10^{-7} \text{ м}$ . Чему равно среднее число столкновений молекулы  $Z_1$  при этом давлении? Чему будет равно число столкновений  $Z_2$ , если давление уменьшить в 1,27 раза?

[Ответ:  $1,29 \cdot 10^{10} \text{ с}^{-1}$ ;  $10^{-10} \text{ с}^{-1}$ ]

5. Определить коэффициент теплопроводности аргона при нормальных условиях. Эффективный диаметр молекулы аргона  $2,91 \cdot 10^{-10}$  м.

[Ответ:  $2 \cdot 10^{-2}$  Вт/(м·К)]

6. Идеальный газ состоит из смеси двух киломолей одноатомного газа и 0,5 киломолей двухатомного. Чему равен показатель адиабаты газа?

[Ответ: 1,59]

7. Азот, находившийся при температуре 400 К, подвергли адиабатическому расширению, в результате чего его объем увеличился в 5 раз, а внутренняя энергия уменьшилась на 4 кДж. Определить массу азота.

[Ответ: 28 г]

8. Масса 12 г гелия, находящегося при 0°C и давлении 2 атм изотермически расширяется за счет полученного извне тепла до объема 200 л. Найти работу расширения и количество сообщенного газу теплоты.

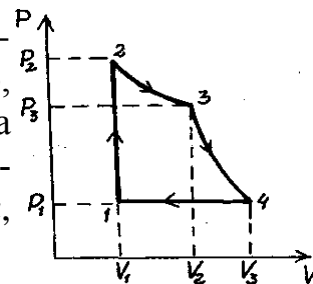
[Ответ: 27,73 кДж]

9. Водяной пар массой 50 г находится в закрытом сосуде под давлением 1 атм при температуре 300°C. После нагревания давление в сосуде стало равно 300 кПа. Какое количество теплоты было сообщено газу?

[Ответ: 79,36 кДж]

10. Некоторая тепловая машина работает по замкнутому циклу, состоящему из изохорного, изотермного, адиабатного и изобарного процессов. В течение цикла расходуется 0,2 моля одноатомного идеального газа. Известны следующие параметры состояний:  $P_1 = 2$  атм,  $P_2 = 10$  атм,  $V_2 = 6$  л,  $T_1 = 273$  К. Определить КПД цикла.

[Ответ: 55,3%; 80%]



11. На выдувание мыльного пузыря затрачена работа, равная  $2,5 \cdot 10^{-3}$  Дж. Определить диаметр пузыря и добавочное давление в нем. Коэффициент поверхностного натяжения равен 0,04 Н/м.

[Ответ: 14,1 см; 2,27 кПа]

кПа]

#### ВАРИАНТ 24

1. Смесь азота с массовой долей 87,5% и водорода с массовой долей 12,5% находится в сосуде объемом 20 л при температуре 560 К. Определить давление смеси, если масса смеси равна 8 г. Каковы парциальные давления?

[Ответ: 11,63 кПа; 58,17 кПа; 69,8 кПа]

2. Резиновая камера содержит воздух при температуре 300 К и нормальном атмосферном давлении. На какую глубину нужно опустить камеру в воду с температурой 4°C, чтобы ее объем уменьшился вдвое?

[Ответ: 8,65 м]

3. Масса одной молекулы неизвестного газа равна  $7,31 \cdot 10^{-26}$  кг, концентрация

молекул газа равна  $3,4 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-3}$ . Определить плотность газа и давление, если средняя квадратичная скорость молекул газа равна  $520 \text{ м/с}$ .

[Ответ:  $2,49 \text{ кг/м}^3$ ;  $224 \text{ кПа}$ ]

4. В колбе объемом  $100 \text{ см}^3$  находится  $0,5 \text{ г}$  азота. Найти среднюю длину свободного пробега молекул азота при этих условиях.

[Ответ:  $2,3 \cdot 10^{-8} \text{ м}$ ]

5. При давлении  $5 \cdot 10^4 \text{ Па}$  средняя квадратичная скорость некоторого газа равна  $600 \text{ м/с}$ . Определить отношение коэффициента внутреннего трения к коэффициенту диффузии этого газа.

[Ответ:  $0,42 \text{ кг/м}^3$ ]

6. Трехатомный газ при нормальных условиях имеет плотность  $1,5 \text{ кг/м}^3$ . Чему равны его удельные теплоемкости?

[Ответ:  $977 \text{ Дж/(кг К)}$ ;  $733 \text{ Дж/(кг К)}$ ]

7. Из баллона, содержащего водород под давлением  $10 \text{ атм}$  при температуре  $18^\circ\text{С}$ , выпустили половину находившегося в нем количества газа. Процесс считать адиабатическим. Определить конечную температуру и давление.

[Ответ:  $220 \text{ К}$ ;  $380 \text{ кПа}$ ]

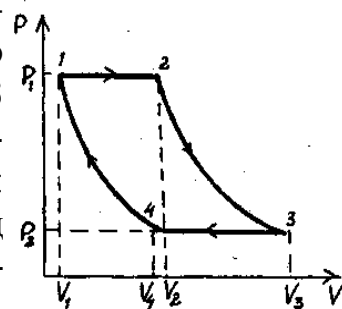
8. В закрытом сосуде объемом  $3 \text{ л}$  находится азот, плотность которого равна  $1,2 \text{ кг/м}^3$ . Какое количество тепла надо сообщить азоту, чтобы нагреть его на  $120^\circ\text{С}$ ?

[Ответ:  $320 \text{ Дж}$ ]

9.  $15 \text{ г}$  кислорода находится под давлением  $400 \text{ кПа}$  при температуре  $20^\circ\text{С}$ . После нагревания при постоянном давлении газ занял объем в  $15 \text{ л}$ . Найти количество тепла, полученного газом, изменение внутренней энергии, работу, совершенную газом при расширении.

[Ответ:  $17 \text{ кДж}$ ;  $12163 \text{ Дж}$ ;  $4860 \text{ Дж}$ ]

10. Работа некоторой тепловой машины осуществляется в соответствии с циклом, диаграмма которого приведена на рисунке, где участок 1-4 и участок 2-3 изотермы. За один цикл расходуется один моль трехатомного газа. Приводятся параметры состояний:  $V_3=24 \text{ л}$ ,  $V_4=6 \text{ л}$ ,  $V_2=10 \text{ л}$ ,  $P_2=4 \text{ атм}$ . Определить КПД данной машины; во сколько раз он меньше КПД машины, работающей по циклу Карно с данными температурами.



[Ответ:  $16,9\%$ ;  $4,4$ ]

11. Подобрать диаметр стеклянной трубки для указателя уровня жидкости таким образом, чтобы погрешность вследствие капиллярности, превысила  $0,5\%$  при измерении высоты до  $400 \text{ мм}$ . В качестве измеряемой жидкости взять серную кислоту (коэффициент поверхностного натяжения равен  $0,0574 \text{ Н/м}$ , плотность  $1830 \text{ кг/м}^3$ ), полностью смачивающей стекло.

[Ответ:  $6,4 \text{ мм}$ ]



## ВАРИАНТ 25

1. Резиновую камеру  $A$  с объемом 4 л, давлением 1,1 МПа и температурой  $T$  накачали, увеличив массу газа в ней в два раза, а затем охладили до начальной температуры и при этом объем стал равным 5 л. После этого камеру  $A$  соединили с жесткой камерой  $B$  объемом 8,5 л и давлением 1,5 МПа. Какое давление установится в камерах  $A$  и  $B$  после соединения?

[Ответ: 1,6 МПа]

2. Внутри закрытого с обоих концов горизонтального цилиндра имеется поршень, который может скользить в цилиндре без трения. С одной стороны поршня находится 3 г водорода, а с другой 17 г азота. Какую часть объема цилиндра занимает водород? Температура газа по обе стороны поршня одинакова.

[Ответ: 0,71]

3. Средняя квадратичная скорость теплового движения молекул азота равна 530 м/с. Определить температуру и давление газа, если плотность газа равна 2,3 кг/м<sup>3</sup>.

[Ответ: 315 К; 215 кПа]

4. В сосуде находится углекислый газ, плотность которого 1,7 кг/м<sup>3</sup>, средняя длина свободного пробега при этих условиях равна  $7,9 \cdot 10^{-8}$  м. Найти диаметр молекул углекислого газа.

[Ответ:  $3,5 \cdot 10^{-10}$  м]

5. Коэффициент диффузии гелия равен  $9,2 \cdot 10^{-5}$  м<sup>2</sup>/с. Каков коэффициент диффузии водорода при тех же условиях, если диаметры молекул гелия и водорода соответственно равны 0,23 и 0,2 нм?

[Ответ:  $17,15 \cdot 10^{-5}$  м<sup>2</sup>/с]

6. Определить молярные теплоемкости смеси одноатомного и двухатомного газов, если количество молей одноатомного 8, а двухатомного 0,5 моля.

[Ответ: 15,7 Дж/(моль·К); 23,9 Дж/(моль·К)]

7. Азот, адиабатически расширяясь, совершает работу, равную 480 кДж. Определить конечную температуру газа, если он до расширения имел температуру 362 К. Масса азота 12 кг. Удельную теплоемкость считать постоянной.

[Ответ: 308 К]

7. Гелий находится в закрытом сосуде объемом 3 л при температуре 27°C и давлении в 2 атм. Какое количество тепла надо сообщить гелию, чтобы повысить его температуру на 80°C? Какова будет средняя квадратичная скорость его молекул при новой температуре?

[Ответ: 225 Дж; 1539 м/с]

9. Водород при нормальных условиях имел объем 100 м<sup>3</sup>. На сколько изменилась внутренняя энергия газа при адиабатическом изменении его температуры до 150°C?

[Ответ: 3,8 МДж]

10. Тепловая машина, работающая на водяном паре, совершает замкнутый цикл, диаграмма которого приведена на рисунке и состоящего из двух изохор и двух адиабат; при этом известны следующие параметры:  $P_2=5 \text{ атм}$ ,  $P_3=10 \text{ атм}$ ,  $P_4=2 \text{ атм}$ ,  $V_1=5 \text{ л}$ . Найти кпд цикла, а также кпд установки по циклу Карно с теми же температурами холодильника и нагревателя, если в машине за цикл расходуется один моль пара. [Ответ: 33%; 66,5%]

11. Капля ртути массой  $2 \text{ г}$  введена между двумя параллельными стеклянными пластинками. Каков должен быть вес верхней пластинки, для того чтобы расплющить кашпо до толщины  $0.1 \text{ мм}$ ? Коэффициент поверхностного натяжения равен  $0,48 \text{ Н/м}$ , плотность ртути  $13,6 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ , краевой угол  $0^\circ\text{C}$ . [Ответ: 14,1 Н]

### ВАРИАНТ 26

1. Баллон объемом  $20 \text{ л}$  заполнен газом при температуре  $400 \text{ К}$ . Когда часть газа израсходовали, давление в баллоне понизилось на  $200 \text{ кПа}$ . Определить число молекул, которые „ушли“ из баллона, если температура не изменилась. [Ответ:  $7,25 \cdot 10^{25}$ ]

2. Два сосуда одинакового объема содержат водород. Давление и температура в одном сосуде равны  $5 \text{ МПа}$  и  $500 \text{ К}$ , во втором  $4 \text{ МПа}$  и  $400 \text{ К}$ . Газ в сосудах охладил до  $300 \text{ К}$  и затем соединили между собой. Определить установившееся в сосудах давление. [Ответ:  $3 \text{ МПа}$ ]

3. Найти отношение давления кислорода к давлению водорода при одинаковых концентрациях молекул и равных средних квадратичных скоростях их движения. [Ответ:  $P_1/P_2=16$ ]

4. Сосуд с воздухом откачан до давления  $10^{-6} \text{ мм рт. ст.}$ . Чему равны при этом плотность воздуха в сосуде, число молекул в  $1 \text{ см}^3$  сосуда и средняя длина свободного пробега? Диаметр молекул воздуха считать равным  $3 \cdot 10^{-10} \text{ м}$  и массу одного моля  $0,029 \text{ кг/моль}$ . Температура воздуха равна  $17^\circ\text{C}$ . [Ответ:  $1,6 \cdot 10^{-9} \text{ кг/м}^3$ ;  $3,3 \cdot 10^{10} \text{ м}^{-3}$ ;  $76 \text{ м}$ ]

5. Коэффициент диффузии кислорода при нормальных атмосферных условиях  $1,41 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$ . Определить, каким будет коэффициент диффузии при температуре  $50^\circ\text{C}$ , если нагревание происходило при постоянном давлении. [Ответ:  $1,7 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$ ]

6. Плотность некоторого газа при нормальных условиях равна  $1,2 \text{ кг/м}^3$ , отношение удельных теплоемкостей  $1,67$ . Определить удельные теплоемкости при постоянном объеме и постоянном давлении этого газа. [Ответ:  $773 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{K)}$ ;  $463 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{K)}$ ]

7. Сероводород ( $\text{H}_2\text{S}$ ) массой  $6 \text{ кг}$ , занимающий объем  $3 \text{ м}^3$  при температуре  $27^\circ\text{C}$ , сжали адиабатически так, что давление его увеличилось в два раза. Определить конечные объем, температуру и изменение внутренней энергии.

[Ответ:  $1,78 \text{ м}^3$ ;  $357 \text{ К}$ ;  $254 \text{ кДж}$ ]

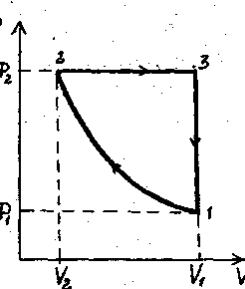
8.  $5 \text{ г}$  азота находятся в закрытом сосуде при температуре  $17^\circ\text{C}$ . Какое количество тепла надо сообщить азоту, чтобы увеличить среднюю квадратичную скорость его молекул вдвое? Во сколько раз при этом изменится давление газа на стенки сосуда?

[Ответ:  $3,2 \text{ кДж}$ ; в 4 раза]

9. Сколько теплоты выделится, если азот массой  $5 \text{ г}$ , взятый при температуре  $300 \text{ К}$  под давлением  $1 \text{ атм}$ , изотермически сжать до давления  $15 \text{ атм}$ ?

[Ответ:  $1,2 \text{ кДж}$ ]

10. На диаграмме представлен цикл тепловой машины, состоящий из адиабатного, изобарного и изохорного участков. Параметры точек 1, 2, равны:  $P_1 = 2 \text{ атм}$ ,  $P_2 = 10 \text{ атм}$ . Определить КПД цикла, если в работе задействован водяной пар. Во сколько раз работа этого цикла меньше работы по циклу Карно с температурами  $T_1$  и  $T_3$  и той же теплотой, полученной от нагревателя, что и в данной машине?



[Ответ:

$14,3\%$ ;  $5,25$ ]

11. Будет ли плавать на воде прямолинейный круглый медный проводник, длиной  $5 \text{ см}$ , диаметром  $0,5 \text{ мм}$ , смазанный жиром? Архимедовой „потерей веса“ пренебречь. Коэффициент поверхностного натяжения равен  $0,075 \text{ Н/м}$ .

[Ответ: да или нет? Почему? Доказать численно]

### ВАРИАНТ 27

1. Два баллона ( $50$  и  $80 \text{ л}$ ) с гелием соединили и при постоянной температуре  $300 \text{ К}$  в них установилась плотность  $15 \text{ кг/м}^3$ . Какое было давление в первом баллоне, если во втором перед соединением было  $12 \text{ МПа}$ ?

[Ответ:  $5,1 \text{ МПа}$ ]

2. В баллоне объемом  $50 \text{ л}$  находится азот при температуре  $27^\circ\text{C}$ . Когда из баллона взяли  $10 \text{ кг}$  газа, его давление понизилось до  $150 \text{ МПа}$ . Какова была первоначальная масса газа в баллоне, если температура оставалась постоянной?

[Ответ:  $9,2 \text{ кг}$ ]

3. В колбе объемом  $120 \text{ см}^3$  находится  $0,002 \text{ моля}$  некоторого газа. Чему равны давление и средняя кинетическая энергия поступательного движения всех молекул газа, если температура  $300 \text{ К}$ ?

[Ответ:  $41,4 \text{ кПа}$ ;  $7,45 \text{ Дж}$ ]

4 Какое давление надо создать внутри сферического сосуда, диаметр которого равен  $1\text{ см}$ , чтобы молекулы не сталкивались друг с другом? Диаметр молекулы  $3 \cdot 10^{-10}\text{ м}$ , а температура газа равна  $0^\circ\text{C}$ . [Ответ:  $7,1 \cdot 10^{-3}\text{ мм рт.ст.}$ ]

5. Как изменится вязкость двухатомного газа, состояние которого далеко от вакуума, при уменьшении объема в два раза, если процесс перехода изобарный? [Ответ: уменьшится в  $1,41$  раза]

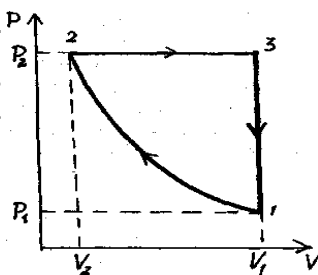
6. Определить отношение удельных теплоемкостей смеси из  $2\text{ кмоль}$  азота и  $5\text{ кмоль}$  аммиака ( $\text{NH}_3$ ). [Ответ:  $1,35$ ]

7. Во сколько раз уменьшится средняя квадратичная скорость молекул одноатомного газа при адиабатном увеличении объема в три раза? [Ответ: в  $1,44$  раза]

8. Кислород массой  $1\text{ кг}$  занимает объем  $0,5\text{ м}^3$  и находится под давлением  $1\text{ атм}$ . Газ был нагрет сначала при постоянном давлении до объема  $1,5\text{ м}^3$ , а затем при постоянном объеме до давления  $2,5\text{ атм}$ . Найти изменение внутренней энергии газа, совершенную работу и теплоту, переданную газу. [Ответ:  $475\text{ кДж}$ ;  $100\text{ кДж}$ ;  $575\text{ кДж}$ ]

9. Необходимо сжать  $2\text{ л}$  воздуха до объема  $0,5\text{ л}$ . Как выгоднее его сжимать: адиабатически или изотермически? [Ответ:  $A_{\text{ад}}/A_{\text{из}}=1,34$ ]

10. В тепловой машине использован одноатомный газ. Машина работает циклично в соответствии с диаграммой, изображенной на приведенном рисунке, где участок 1-2 - изотермный, причем  $P_2=6\text{ атм}$ ,  $V_1=6\text{ л}$ ,  $V_2=3\text{ л}$ . Найти: 1) КПД цикла; 2) КПД цикла Карно с данными температурами.



11. В дне сосуда имеется трещина шириной  $0,02\text{ мм}$ . До какой высоты  $h$  можно налить ртуть в сосуд, чтобы она не вытекала через трещину? Плотность ртути  $13,6 \cdot 10^3\text{ кг/м}^3$ , коэффициент поверхностного натяжения  $0,487\text{ Н/м}$ . [Ответ:  $36,5\text{ см}$ ]

### ВАРИАНТ 28

1. В баллоне объемом  $15\text{ л}$  находится аргон при температуре  $300\text{ К}$  и давлении  $600\text{ кПа}$ . Когда из баллона было взято некоторое количество газа, давление снизилось до  $400\text{ кПа}$ , а температура установилась  $260\text{ К}$ . Определить массу аргона, взятого из баллона. [Ответ:  $33,4\text{ г}$ ]

2. Два сосуда с объемами  $40$  и  $20\text{ л}$  содержат газ при одинаковой температуре, но разных давлениях. После соединения сосудов в них установилось давление  $1\text{ МПа}$ . Каково начальное давление  $P_1$  в большом сосуде, если в меньшем оно было  $600\text{ кПа}$ ? Температура не меняется. [Ответ:  $1,2\text{ МПа}$ ]

3. Каково давление идеального газа, находящегося в сосуде объемом 12 л при температуре  $30^{\circ}\text{C}$ , если число молекул равно  $1,6 \cdot 10^{24}$ ? Чему равна средняя кинетическая энергия поступательного движения всех молекул газа?

[Ответ: 557 кПа; 10,03 кДж]

4. Какое предельное число молекул газа должно находиться в  $1 \text{ см}^3$  сферического сосуда, диаметр которого равен 15 см, чтобы молекулы не сталкивались друг с другом? Диаметр  $3 \cdot 10^{-10} \text{ м}$ , а температуру газа равной  $0^{\circ}\text{C}$ . [Ответ:  $n < 1,7 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-3}$ ]

5. Определить, во сколько раз отличаются коэффициент диффузии азота и углекислого газа, если оба газа находятся при одинаковых температурах и давлении. Эффективные диаметры молекул этих газов считать одинаковыми.

[Ответ: 1,25]

6. Определить удельные теплоемкости  $c_p$  и  $c_v$  некоторого двухатомного газа, если плотность его при нормальных условиях  $1,43 \text{ кг/м}^3$ .

[Ответ: 640,4 Дж/(кг·K); 896 Дж/(кг·K)]

7. Во сколько раз увеличится средняя скорость молекул многоатомного газа при адиабатическом сжатии объема в два раза?

[Ответ: 1,59 раза]

8. При изобарическом расширении одноатомного газа была совершена работа в 167,2 Дж. Какое количество тепла было сообщено газу?

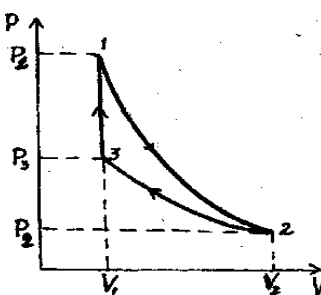
[Ответ: 418 Дж]

9. При адиабатическом расширении азота с начальной температурой 400 K, внутренняя энергия уменьшилась на 9 кДж. Определить массу азота, если его объем увеличился в 2 раза.

[Ответ: 48,8 г]

10. На приведенном рисунке изображен цикл некоторой тепловой машины, в которой рабочим телом является 0,5 моля водяного пара, участок 1-2 - адиабатный, 2-3 - изотермный, 3-1 - изохорный,  $P_3 = 5 \text{ атм}$ ,  $P_2 = 2 \text{ атм}$ ,  $V_1 = 5 \text{ л}$ . Найти КПД данной тепловой машины, а также КПД цикла Карно с данными температурами.

[Ответ: 2,6%; 26,3%]



11. Стеклопая трубка, закрытая с одного конца, наполнена ртутью и погружена открытым концом в сосуд со ртутью, сообщающийся с атмосферой. Какова будет разность уровней ртути в сосуде и трубке при атмосферном давлении 102 кПа?

[Ответ: 0,765 м]

## ВАРИАНТ 29

1. Запаянная с одного конца стеклопая трубка имеет столбик ртути длиной 20 см. Когда трубка расположена вертикально открытым концом вверх, то

расстояние от верхнего конца до столбика ртути 10 см, а когда ее переворачивают вниз, то часть ртути вытекает, так что столбик ртути становится равным 6 см, Определить всю длину трубки, если внешнее атмосферное давление равно 760 мм рт. ст. [Ответ: 0,94 м]

2. В закрытом сосуде при температуре 300 К и давлении 0,1 МПа находятся 10 г водорода и 16 г гелия. Считая газы идеальными, определить удельный объем смеси (объем, приходящийся на единицу массы смеси). [Ответ: 8,63 м<sup>3</sup>/кг]

3. Каково давление азота, если средняя квадратичная скорость его молекул равна 500 м/с, плотность газа 1,35 кг/м<sup>3</sup>? Чему равна температура газа? [Ответ: 112,5 кПа; 281 К]

4. Какое давление надо создать внутри сферического сосуда, диаметр которого равен 100 см, чтобы молекулы не сталкивались друг с другом? Диаметр молекулы газа принять равным  $3 \cdot 10^{-10}$  м, а температура газа равна 0°C. [Ответ:  $7,1 \cdot 10^{-5}$  мм рт. ст.]

5. В сосуде объемом 2 л находится  $4 \cdot 10^{22}$  молекул двухатомного газа. Коэффициент диффузии равен  $2 \cdot 10^{-5}$  м<sup>2</sup>/с. Найти коэффициент теплопроводности газа при этих условиях. [Ответ:  $1,38 \cdot 10^{-2}$  Вт/(м·К)]

6. Молекула состоит из трех атомов, разность удельных теплоемкостей газа при постоянном давлении и постоянном объеме равна 188,8 Дж/(г·К). Найти молярную массу газа и удельные теплоемкости  $c_p$  и  $c_v$ . [Ответ: 0,044 кг/моль; 756 Дж/(кг·К); 566,6 Дж/(кг·К)]

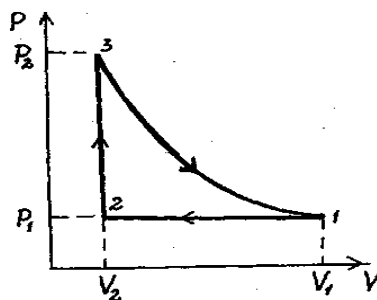
7. Два грамма водорода, находящегося при нормальных условиях, адиабатно сжимаются до объема 1 л. Найти давление, температуру и работу сжатия. [Ответ: 7,9 МПа; 952 К; -14,1 кДж]

8. Баллон емкостью 20 л содержит водород при температуре 300 К и давлении 0,4 МПа. Каковы будут температура и давление, если газу сообщить теплоту 6 кДж? [Ответ: 520 кПа; 390 К]

9. Азот, занимавший объем 20 л при давлении 200 кПа, расширяется втрое. Найти конечное давление и работу, совершенную газом при следующих процессах: 1) изобарном; 2) изотермическом. [Ответ: 200 кПа; 8 кДж; 67 кПа; 4,4 кДж]

10. Как изменится коэффициент поверхностного натяжения жидкости в двух сообщающихся капиллярах с диаметрами отверстий 0,1 и 0,3 мм, если вследствие нагревания разность уровней жидкости изменилась на 10 см. Плотность жидкости 780 кг/м<sup>3</sup>

11. На рисунке изображена диаграмма цикла некоторой тепловой машины, в которой имеется изотермический участок 3-1. В качестве рабочего вещества используется водород. Параметры состояний:  $P_2=15 \text{ атм}$ ,  $P_1=5 \text{ атм}$ ,  $V_2=4,5 \text{ л}$ . Найти КПД данной тепловой машины, КПД цикла Карно с температурами нагревателя и холодильника. [Ответ: 31%; 66,7%]



### ВАРИАНТ 30

1. В баллоне емкостью 15 л находится смесь, содержащая 10 г водорода, 54 г водяного пара и 60 г окиси углерода. Температура смеси 300 К. Определить парциальные давления газов и общее давление.

[Ответ: 83,1 кПа, 50 кПа, 33,2 кПа, 16,63 кПа]

2. При изобарном нагревании идеального газа от температуры 280 К плотность его уменьшилась вдвое. На сколько градусов увеличилась температура? [Ответ: 280°С]

3. Средняя квадратичная скорость молекул некоторого газа при давлении 120 кПа равна 560 м/с. Определить концентрацию молекул и плотность газа. [Ответ:  $3,07 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-3}$ ;  $1,15 \text{ кг/м}^3$ ]

4. В сферической колбе объемом 1 л находится азот. При какой плотности азота средняя длина свободного пробега молекул азота больше размеров сосуда? [Ответ:  $\rho < 9,4 \cdot 10^{-7} \text{ кг/м}^3$ ]

5. Найти коэффициент внутреннего трения водорода, если известно что коэффициент теплопроводности при этих условиях равен  $9 \cdot 10^{-2} \text{ Вт/(м·К)}$ . [Ответ:  $8,6 \cdot 10^{-6} \text{ кг/(м·с)}$ ]

6. Найти удельные теплоемкости при постоянном давлении и постоянном объеме для аргона и метана ( $\text{CH}_4$ ). [Ответ: 520 Дж/кг, 312 Дж/(кг·К); 2080 Дж/(кг·К), 1560 Дж/(кг·К)]

7. 32 г кислорода, находящегося при температуре 27°С и давлении 760 мм рт.ст., адиабатически сжимаются до объема 10 л. Найти температуру, давление и работу сжатия. [Ответ: 360 кПа; 433 К; 2784 Дж]

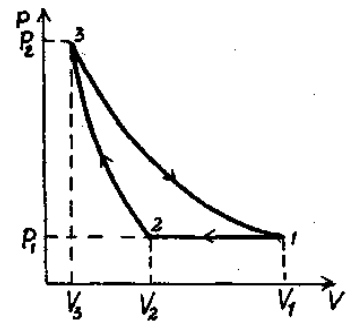
8. Азот, адиабатически расширяясь, совершает работу, равную 480 кДж. Определить температуру газа, если до расширения он имел температуру 362 К. Масса азота 12 кг. Теплоемкость считать постоянной. [Ответ: 308 К]

9. Кислород нагревают от 40 до 70°С. Масса кислорода 200 г. Найти количество поглощенной теплоты и изменение внутренней энергии при изохорном и

изобарном процессах.

[Ответ: 3895 кДж;  
3895 кДж; 5453 кДж; 3895 кДж]

10. На рисунке приведена диаграмма, состоящая из изотермы, адиабаты и изобары и соответствующая работе некоторой тепловой машины, в которой используется трехатомный газ. При этом известно, что  $P_2 = 15 \text{ атм}$ ,  $V_2 = 4 \text{ л}$ ,  $V_3 = 1,8 \text{ л}$ . Вычислить: КПД этой тепловой машины; КПД цикла Карно с данными температурами. [Ответ: 11,2%; 3,4%]



11. Имеется цилиндр с поршнем и мыльным пузырем радиусом 3 мм внутри цилиндра. В первый момент давление воздуха вне пузыря 10 Па. Медленно перемещая поршень влево, увеличиваем давление до нового значения  $P$ , в результате чего радиус пузырька уменьшился в три раза. Найти, во сколько раз увеличилось давление в цилиндре, если коэффициент поверхностного натяжения равен 0,04 Н/м. [Ответ: 91 раз]

### ВАРИАНТ 31

1. Стеклопая трубка запаяна с обеих сторон. В ней находится столбик ртути длиной 15 см. Когда трубка расположена горизонтально, то столбик ртути находится симметрично относительно краев. Когда ее ставят вертикально, то столбик смещается на 20 см. Какова длина трубки, если воздух в ней откачан до 500 Па? [Ответ: 0,56 м]

2. Два сосуда, наполненные воздухом под давлениями 800 и 600 кПа, имеют объемы 3 и 5 л соответственно. Сосуды соединяют трубкой, объемом которой можно пренебречь. Найти установившееся давление в сосудах, если температура воздуха в них была одинакова и после установления не изменилась. [Ответ: 675 кПа]

3. Определить давление газа, если при температуре  $17^\circ\text{C}$  в  $0,1 \text{ см}^3$  газа находится  $3,2 \cdot 10^{15}$  молекул. Чему равна средняя кинетическая энергия поступательного движения всех молекул? [Ответ: 128 Па;  $1,92 \cdot 10^{-5} \text{ Дж}$ ]

4. Найти среднее число столкновений в 1 с молекул некоторого газа, если средняя длина свободного пробега при этих условиях равна  $5 \cdot 10^{-6} \text{ м}$ , а средняя квадратичная скорость его молекул равна 500 м/с. [Ответ:  $9,26 \cdot 10^7 \text{ с}^{-1}$ ]

5. При какой температуре коэффициент диффузии воздуха имеет значение  $1,48 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$ , если давление воздуха при этом  $10^5 \text{ Па}$ , а диаметр молекулы воздуха  $3 \cdot 10^{-10} \text{ м}$ ? [Ответ:  $9,36^\circ\text{C}$ ]

6. Удельная теплоемкость при постоянном давлении некоторого газа равна



978 Дж/(кг·К), его молярная масса 0,034 кг/моль. Определить, каким числом степеней свободы обладают молекулы этого газа. [Ответ: 6]

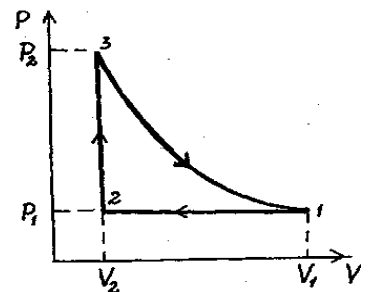
7. Во сколько раз уменьшится длина свободного пробега молекул двухатомного газа, если его давление при адиабатном процессе увеличится в два раза? [Ответ: 1,64]

8. В закрытом сосуде объемом 5 л находится водород при температуре 27°C и давлении 10 кПа. Водород охлаждают до температуры 0°C. Вычислить количество отданного газом тепла, изменение внутренней энергии. [Ответ: 11,25 Дж]

9. При адиабатическом расширении воздуха объем его изменился с 20 до 100 л. Найти работу расширения, если в конце процесса газ имел давление 200 кПа. Считать, что удельная теплоемкость  $c_p = 1006$  Дж/(кг·К). [Ответ: 63,32 кДж]

10. Найти КПД тепловой машины, работающей на водяном паре, если  $V_1 = 6$  л,  $V_2 = 3$  л,  $T_1 = 590$  К, а участок расширения 3-1 адиабатный. Во сколько раз КПД цикла Карно с данными температурами больше КПД приведенной тепловой машины?

[Ответ: 4,9 раз]



11. При дожде, выпавшем на площади 100 га, выделилось  $5,4 \cdot 10^5$  Дж тепла в результате слияния мелких капель диаметром 0,02 мм в крупные диаметром 4 мм. Определить толщину слоя воды, выпавшей на землю. Коэффициент поверхностного натяжения равен 0,072 Н/м. [Ответ:  $2 \cdot 10^{-2}$  мм]

### ВАРИАНТ 32

1. Электрическая газонаполненная лампочка накаливания наполнена азотом при давлении 600 мм рт. ст. Емкость лампы 500 см<sup>3</sup>. Сколько молекул воды войдет в лампу, если у нее отломить кончик под водой при нормальном атмосферном давлении? [Ответ:  $3,38 \cdot 10^{27}$ ]

2. В баллоне объемом 2 л находится газ при давлении 550 кПа; другой баллон объемом 5 л заполнен тем же газом при давлении 2 МПа. Баллоны соединяют трубкой с краном. Какое давление установится в баллонах, если открыть кран? Процесс изотермический. [Ответ: 1,6 МПа]

3. В баллоне объемом 0,001 м<sup>3</sup> находится азот под давлением 200 кПа, причем известно, что каждый 1 см<sup>3</sup> газа содержит  $4,3 \cdot 10^{13}$  молекул. Вычислить энергию поступательного движения одной молекулы и суммарную энергию всех молекул. Найти среднюю квадратичную скорость молекул и плотность газа. [Ответ:  $6,98 \cdot 10^{-21}$  Дж; 500 Дж; 2 кг/м<sup>3</sup>;  $1,7 \cdot 10^4$  м/с]

4. Найти число столкновений, которые происходят в течение одной секунды между всеми молекулами, находящимися в объеме  $1 \text{ мм}^3$  водорода при нормальных условиях. Эффективный диаметр молекулы водорода принять равным  $2,3 \cdot 10^{-10} \text{ м}$ .  
[Ответ:  $1,6 \cdot 10^{26} \text{ с}^{-1}$ ]

5. Найти коэффициент диффузии водорода при нормальных условиях, если средняя длина свободного пробега при этих условиях равна  $1,6 \cdot 10^{-7} \text{ м}$ .  
[Ответ:  $9,06 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$ ]

6. Молекула газа состоит из двух атомов; разность удельных теплоемкостей газа при постоянном давлении и постоянном объеме равна  $260 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$ . Найти молярную массу газа и удельные теплоемкости  $c_p$  и  $c_v$ .  
[Ответ:  $0,032 \text{ кг/моль}$ ;  $910 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$ ;  $650 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$ ]

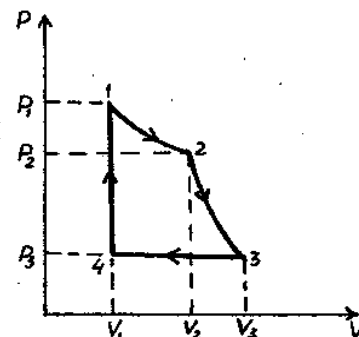
7. До какой температуры охладится воздух, находящийся при  $0^\circ\text{C}$ , если он расширяется адиабатически с увеличением объема в два раза.  
[Ответ:  $207 \text{ К}$ ]

8. Чему равна энергия теплового движения  $20 \text{ г}$  кислорода при температуре  $10^\circ\text{C}$ ? Какая часть этой энергии приходится на долю поступательного движения и какая часть на долю вращательного движения?  
[Ответ:  $3700 \text{ Дж}$ ;  $2200 \text{ Дж}$ ;  $1500 \text{ Дж}$ ]

9. Атомарный кислород, молекулярный кислород и озон отдельно друг от друга расширяются изобарно. При этом расходуется количество теплоты  $Q$ . Определить доли теплоты, расходуемые на работу расширения и изменение внутренней энергии для атомарного кислорода, молекулярного кислорода и озона.  
[Ответ: для  $O$ :  $A=0,4 Q$ ;  $\Delta U=0,6 Q$ ; для  $O_2$ :  $A=0,29 Q$ ;  $\Delta U=0,71 Q$ ; для  $O_3$ :  $\Delta U=0,25 Q$ ;  $\Delta U=0,75 Q$ ]

10. На рисунке изображен рабочий цикл воображаемой тепловой машины. Цикл состоит из изотермы 1-2, адиабаты 2-3, изобары 3-4, 4-1. Определить КПД такой машины, если в работе участвует двухатомный идеальный газ и соответствующие параметры газа равны:  $P_1=10 \text{ атм}$ ,  $P_3=1,5 \text{ атм}$ ,  $V_1=2,5 \text{ л}$ ,  $V_3=15 \text{ л}$ .

[Ответ: 28%; 85%]



11. Для определения поверхностного натяжения жидкостей взвешивают капли, отрывающиеся от капилляра. Считая, что в момент отрыва капли диаметр ее шейки равен диаметру капилляра ( $d=0,4 \text{ мм}$ ), найти коэффициент поверхностного натяжения, если вытекло  $540$  капель общей массой  $5 \text{ г}$ .

[Ответ:  $0,07 \text{ Н/м}$ ]

### ВАРИАНТ 33

1. Имеются две камеры, одна из которых (*A*) эластичная, а вторая (*B*) жесткая. Начальный объем камеры *A* равен  $5 \text{ дм}^3$ , давление  $1,2 \text{ МПа}$ , температура  $t_0$ . Камеру *A* быстро накачали тем же газом, увеличив массу газа в камере в три раза, а затем охладили до той же температуры  $t_0$ , объем камеры при этом стал  $6 \text{ дм}^3$ . Затем камеру *A* соединили с камерой *B*, имеющей объем  $10 \text{ л}$ , давлением газа в ней  $2 \text{ МПа}$  и той же температурой  $t_0$ . Какое давление установится в сосудах?  
[Ответ:  $2,375 \text{ МПа}$ ]

2. В баллоне вместимостью  $15 \text{ л}$  находится азот под давлением  $100 \text{ кПа}$  при температуре  $27^\circ\text{C}$ . Из баллона выпустили азот массой  $14 \text{ г}$ , температура газа стала равной  $17^\circ\text{C}$ . Определить давление азота, оставшегося в баллоне.  
[Ответ:  $163,5 \text{ кПа}$ ]

3. Средняя квадратичная скорость молекул ацетилена ( $\text{C}_2\text{H}_2$ ), находящегося в закрытом баллоне, равна  $500 \text{ м/с}$ . Плотность газа  $18 \text{ кг/м}^3$ . Вычислить энергию поступательного движения одной молекулы и суммарную энергию всех молекул. Найти давление газа, если его масса  $7,2 \text{ кг}$ .  
[Ответ:  $5,3 \cdot 10^{-21} \text{ Дж}$ ;  $900 \text{ кДж}$ ;  $1,5 \text{ МПа}$ ]

4. Расстояние между стенками дьюаровского сосуда  $0,8 \text{ см}$ . Между стенками находится водород при температуре  $27^\circ\text{C}$ . Считая эффективный диаметр молекул водорода  $2,3 \cdot 10^{-8} \text{ см}$ , определить, ниже какого значения должно быть давление водорода, чтобы его теплопроводность была меньше, чем при атмосферном давлении.  
[Ответ:  $P < 1,995 \text{ Па}$ ]

5. Найти коэффициент диффузии азота при нормальных условиях, если средняя длина свободного пробега молекул азота равна  $3 \cdot 10^{-7} \text{ м}$ .  
[Ответ:  $4,54 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$ ]

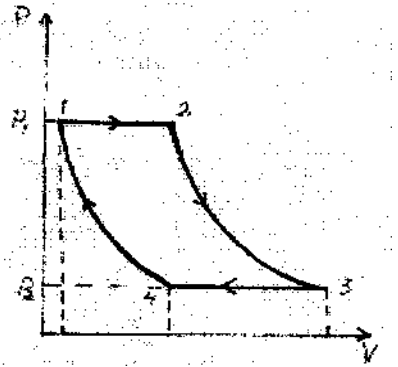
6. Определить удельные теплоемкости смеси, содержащей  $3 \text{ кг}$  азота и  $1 \text{ кг}$  водяного пара, принимая эти газы за идеальные.  
[Ответ:  $860 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{K})$ ;  $1240 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{K})$ ]

7. Кислород объемом  $7,5 \text{ л}$  адиабатически сжимается до объема  $1 \text{ л}$ , причем в конце сжатия устанавливается давление в  $1,6 \text{ МПа}$ . Под каким давлением находился газ до сжатия?  
[Ответ:  $95 \text{ кПа}$ ]

8. Найти кинетическую энергию теплового движения молекул, находящихся в  $1 \text{ г}$  воздуха при температуре  $15^\circ\text{C}$ . Воздух считать однородным газом, масса одного моля которого равна  $0,029 \text{ кг/моль}$ .  
[Ответ:  $208 \text{ Дж}$ ]

9. Один киломоль газа изобарически нагревается от  $17$  до  $75^\circ\text{C}$ , при этом газ поглощает  $1,2 \cdot 10^6 \text{ Дж}$  теплоты. Найти приращение внутренней энергии и работу газа.  
[Ответ:  $719 \text{ кДж}$ ;  $481 \text{ кДж}$ ]

10. Некоторая тепловая машина работает циклично. При этом ее цикл состоит из двух изотерм и двух изобар. Найти КПД цикла, если рабочим веществом является идеальный одноатомный газ. Параметры состояний следующие:  $P_1=4 \text{ атм}$ ,  $P_2=1 \text{ атм}$ ,  $T_1=300 \text{ К}$ ,  $T_2=400 \text{ К}$ . Во сколько раз работа этого цикла меньше работы по циклу Карно с теми же температурами и тем же количеством теплоты, полученной от нагревателя? [Ответ: 17,2%;  $n=1,45$ ]



11. Какова разность уровней жидкости в двух сообщающихся капиллярах с диаметрами  $d_1=1 \text{ мм}$  и  $d_2=2 \text{ мм}$ ? Коэффициент поверхностного натяжения равен  $0,07 \text{ Н/м}$ . Краевые углы равны нулю, плотность жидкости принять равной  $1000 \text{ кг/м}^3$ . [Ответ: 14 мм]

### ВАРИАНТ 34

1. Аэростат объемом  $V \text{ м}^3$  наполнен водородом при температуре  $15^\circ\text{С}$ . При неизменном давлении атмосферы под влиянием солнечной радиации его температура поднялась до  $37^\circ\text{С}$ , а излишек газа вышел через „аппендикс“, благодаря чему масса аэростата с газом уменьшилась на  $6,05 \text{ кг}$ . Плотность водорода при  $0^\circ\text{С}$  равна  $8,9 \cdot 10^{-5} \text{ г/см}^3$ . Определить объем аэростата.

[Ответ:  $1000 \text{ м}^3$ ]

2. В сосуде емкостью  $200 \text{ см}^3$ , разделенном пополам полупроницаемой перегородкой, создан высокий вакуум. В одну половину вводят  $2 \text{ мг}$  водорода и  $8 \text{ мг}$  гелия. Через перегородку может диффундировать только гелий. Во время процесса поддерживается постоянная температура  $270 \text{ К}$ . Какие давления установятся в обеих частях сосуда?

[Ответ:  $33,7 \text{ кПа}$ ;  $11,2 \text{ кПа}$ ]

3. Давление газа равно  $1 \text{ МПа}$ , концентрация его молекул равна  $10^{10} \text{ см}^{-3}$ . Определить температуру газа и среднюю кинетическую энергию поступательного движения молекул газа. [Ответ:  $7250 \text{ К}$ ;  $1,5 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$ ]

4. Найти отношение средней квадратичной скорости молекул газа к скорости распространения звука в идеальном газе при той же температуре, если газ состоит из одноатомных молекул. [Ответ: 1,34]

5. Найти коэффициент диффузии гелия при нормальных условиях. Эффективный диаметр молекулы гелия  $2 \cdot 10^{-10} \text{ м}$ . [Ответ:  $2,64 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2/\text{с}$ ]

6. Вычислить удельные и молярные теплоемкости при постоянном объеме и постоянном давлении водорода, принимая его за идеальный.

[Ответ:  $6,24 \text{ кДж/(кг} \cdot \text{К)}$ ;  $10,4 \text{ кДж/(кг} \cdot \text{К)}$ ;  $12,48 \text{ Дж/(моль} \cdot \text{К)}$ ;  $20,77 \text{ Дж/(моль} \cdot \text{К)}$ ]

7. Воздух в цилиндрах двигателя внутреннего сгорания сжимается адиабатически и его давление при этом меняется от 1 до 35 *атм*. Начальная температура воздуха 40°C. Найти температуру воздуха в конце сжатия.

[Ответ: 865 K]

8. Чему равна энергия вращательного движения молекул, содержащихся в 1 кг азота при температуре 7°C?

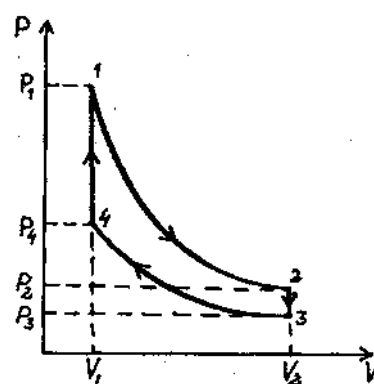
[Ответ: 83 кДж]

9. 12 г азота находятся в закрытом сосуде объемом 2 л при температуре 10°C. После нагревания давление в сосуде стало равно 10<sup>4</sup> мм рт. ст. Какое количество тепла сообщено газу при нагревании?

[Ответ: 4,15 кДж]

10. Найти КПД цикла, состоящего из двух изотерм и двух изохор, если известно, что параметры состояний газа следующие:  $P_4=664$  кПа,  $P_2=200$  кПа,  $P_3=175$  кПа. В работе принимает участие 1 моль идеального газа. Каков КПД цикла Карно с данными температурами нагревателя и холодильника?

[Ответ: 10%, 12,5%]



11. На сколько изменится разность уровней в двух сообщающихся капиллярах с диаметрами 0,1 и 0,3 мм, если вследствие нагревания поверхностное натяжение изменилось с 0,073 до 0,064 Н/м.

[Ответ: 24,2 мм]

### ВАРИАНТ 35

1. Найти плотность газа, которая установится в двух баллонах с аргоном после их соединения, если объем первого 100 л, второго 130 л и перед соединением давление в первом было 1,5 МПа, а во втором 1,75 МПа, а температура была равна 300 K и не менялась.

[Ответ: 0,026 кг/м<sup>3</sup>]

2. Во фляжке вместимостью 0,5 л находится 0,3 л воды. Турист пьет из нее воду, плотно прижав губы к горлышку так, что во фляжку не попадает наружный воздух. Сколько воды удастся выпить туристу, если он может понизить давление оставшегося во фляжке воздуха до 80 кПа? Процесс считать изотермическим и атмосферное давление при этом равно 100 кПа.

[Ответ: 50 см<sup>3</sup>]

3. Найти значение средней кинетической энергии одной молекулы гелия, имеющего при давлении 100 кПа плотность равна 0,12 кг/м<sup>3</sup>.

[Ответ: 10<sup>-21</sup> Дж]

4. Найти отношение средней квадратичной скорости молекул газа к скоро-

сти распространения звука в идеальном газе при той же температуре, если он состоит из двухатомных молекул. [Ответ: 1,46]

5. Построить график зависимости коэффициента диффузии водорода от температуры в интервале  $100\text{ K} < T < 500\text{ K}$  через каждые  $100\text{ K}$  при давлении  $100\text{ кПа}$ . Эффективный диаметр молекулы  $2,3 \cdot 10^{-10}\text{ м}$ .

6. Вычислить удельные теплоемкости некоторого газа зная, что его молярная масса  $0,017\text{ кг/моль}$  и отношение теплоемкостей  $C_p/C_v = 1,33$ .

[Ответ:  $1466,5\text{ Дж/(кг}\cdot\text{K)}$ ;  $1955,3\text{ Дж/(моль}\cdot\text{K)}$ ]

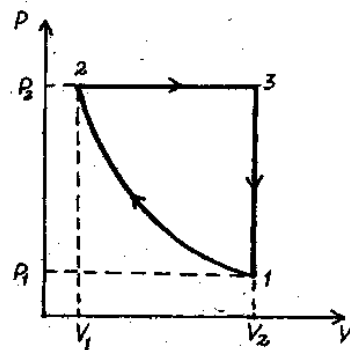
7. Газ расширяется адиабатически и при этом объем его увеличивается вдвое, а температура падает в 1,32 раза. Какое число степеней свободы имеют молекулы этого газа? [Ответ: 5]

8. Чему равна энергия теплового движения молекул двухатомного газа, заключенного в сосуде объемом  $2\text{ л}$  и находящегося под давлением  $150\text{ кПа}$ ? [Ответ:  $750\text{ Дж}$ ]

9. Какое количество тепла надо сообщить азоту, чтобы: а) при постоянном давлении увеличить объем вдвое; б) при постоянном объеме увеличить давление вдвое, если объем сосуда  $2\text{ л}$ , а давление  $100\text{ кПа}$ ?

[Ответ:  $700\text{ Дж}$ ;  $500\text{ Дж}$ ]

10. На рисунке приведен рабочий цикл некоторой тепловой машины, работающей на двухатомном газе. Участок 1-2 адиабатный, 2-3-изобарный, 1-3-изохорный. Параметры точек:  $P_2=10\text{ атм}$ ,  $V_1=5\text{ л}$ ,  $V_2=1\text{ л}$ ,  $T_3=900\text{ K}$ . Найти КПД цикла, остальные параметры точек 1,2,3. Во сколько раз КПД цикла Карно с температурами  $T_3$  и  $T_1$  больше КПД данного цикла? [Ответ:  $11,4\%$ ;  $n=5,5$ ]



11. В цилиндре с подвижным поршнем находится мыльный пузырь радиусом  $1\text{ см}$ , наполненный воздухом. Вначале давление воздуха вне пузыря равно  $100\text{ Па}$ . Медленным перемещением поршня пузырь сжимают так, что его радиус уменьшается вдвое. Определить давление наружного воздуха, оставшегося в цилиндре, в этот момент. Коэффициент поверхностного натяжения  $0,042\text{ Н/м}$ . [Ответ:  $900\text{ Па}$ ]

### ВАРИАНТ 36

1. Фабричная труба высотой  $50\text{ м}$  выносит дым при температуре  $60^\circ\text{C}$ . Определить статическое давление, производящее тягу в трубе. Температура воздуха равна  $-10^\circ\text{C}$ , плотность воздуха при  $0^\circ\text{C}$  равна  $1,29 \cdot 10^{-3}\text{ г/см}^3$ .

[Ответ:  $14\text{ мм вод. ст.}$ ]

2. Имеются два сосуда с газом: один емкостью 3 л другой емкостью 4л. В первом сосуде газ находится под давлением 2 атм, а во втором под давлением 1 атм. Температура в обоих сосудах одинакова. Под каким давлением будет находиться газ, если соединить эти сосуды между собой? Считать температуру постоянной. [Ответ: 144,4 кПа]

3. Считая водород в солнечной фотосфере (внешней видимой оболочке Солнца) идеальным газом, определить кинетическую энергию атомов водорода и температуру газов в фотосфере. Концентрация атомов водорода в фотосфере равна примерно  $1,6 \cdot 10^{21} \text{ м}^{-3}$ , давление равно примерно 125 кПа. [Ответ:  $1,172 \cdot 10^{-16} \text{ Дж}$ ;  $5,66 \cdot 10^6 \text{ К}$ ]

4. Вычислить среднюю длину свободного пробега и время между двумя последовательными столкновениями молекул кислорода при давлении 0,2 МПа и температуре 17°C. [Ответ:  $5 \cdot 10^{-8} \text{ м}$ ;  $2,6 \cdot 10^{-10} \text{ с}$ ]

5. Построить график зависимости коэффициента диффузии кислорода от температуры в интервале температур  $100 \text{ К} < T < 500 \text{ К}$  через каждые 100 К при давлении 100 кПа. Эффективный диаметр молекул  $3 \cdot 10^{-10} \text{ м}$ .

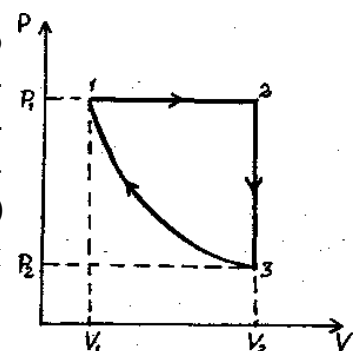
6. Относительная молярная масса некоторого газа равна 4. Отношение теплоемкостей  $C_p/C_v=1,67$ . Вычислить удельные теплоемкости газа. [Ответ:  $3116 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$ ;  $5194 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$ ]

7. Двухатомный газ находится при температуре 27°C и давлении 2 МПа и сжимается адиабатически так, что его объем уменьшается вдвое. Найти температуру и давление газа после сжатия. [Ответ: 123°C, 5,28 МПа]

8. Кинетическая энергия поступательного движения молекул азота, находящегося в баллоне объемом 20 л, равна 5 кДж, а средняя квадратичная скорость его молекул 2000 м/с. Найти количество азота в баллоне, давление, под которым находится азот. [Ответ:  $2,5 \cdot 10^{-3} \text{ кг}$ ;  $1,67 \cdot 10^5 \text{ Па}$ ]

9. Для нагревания некоторого количества газа на 50°C при постоянном давлении необходимо затратить 659 Дж. Если же это количество газа охладить на 100°C при постоянном объеме, то выделяется 1989 Дж. Какое число степеней свободы имеют молекулы этого газа? [Ответ: 6]

10. На рисунке изображена диаграмма обратимого цикла, выполняемого трехатомным газом в некоторой тепловой машине. Найти КПД цикла в соответствии тем, что участок 1-2-изобарический, 2-3 - изохорный, 1-3 - изотермный,  $P_1=600 \text{ кПа}$ ,  $P_2=200 \text{ кПа}$ ,  $T_2/T_1=3$ . Каков КПД цикла Карно с этими



пературами? [Ответ: 11,26%; 66,6%]

11. Из ила на дне озера глубиной 2 м выделяется пузырек метана диаметром 0,005 мм. Чему будет равен диаметр этого пузырька у поверхности воды? Коэффициент поверхностного натяжения равен 0,075 Н/м, атмосферное давление 100 кПа.

[Ответ: максимум 0,28 мм]

### ВАРИАНТ 37

1. Воздух в основном состоит из кислорода (23,6%) и азота (76,4%). Считая, что давление нормальное (760 мм рт. ст.) и температура воздуха 13°C, найти плотность воздуха, парциальные давления кислорода и азота.

[Ответ: 1,22 кг/м<sup>3</sup>; 21,36 кПа; 79,6 кПа]

2. Стеклянная открытая колба объемом 500 см<sup>3</sup> содержащая воздух, нагревается до 227°C. После этого ее горлышко опускается в воду. Какое количество воды будет затянута в колбу, когда ее температура понизится до 27°C? Считать давление в колбе постоянным.

[Ответ: 0,2 кг]

3. Определить концентрацию молекул ртути, содержащихся в воздухе помещения, зараженном ртутью, при температуре 17°C, если давление насыщенного пара ртути при этой температуре равно 0,13 Па. Определить число молекул в помещении объемом 45 м<sup>3</sup>. Чему равна средняя кинетическая энергия молекул ртути?

[Ответ:  $3,25 \cdot 10^{19} \text{ м}^{-3}$ ;  $1,46 \cdot 10^{21}$ ;  $6 \cdot 10^{-21} \text{ Дж}$ ]

4. Сколько столкновений между молекулами происходит за одну секунду в 1 см<sup>3</sup> водорода, если плотность водорода  $8,5 \cdot 10^{-2} \text{ кг/м}^3$  и температура 0°C.

[Ответ:  $1,3 \cdot 10^{29} \text{ с}^{-1} \text{ см}^{-3}$ ]

5. Найти количество азота, прошедшего вследствие диффузии через площадку 100 см<sup>2</sup> за 10 с, если градиент плотности в направлении, перпендикулярном к площадке, равен  $1,26 \text{ кг/м}^4$ . Температура азота 27°C, средняя длина свободного пробега азота  $10^{-7} \text{ м}$ .

[Ответ:  $2 \cdot 10^{-6} \text{ кг}$ ]

6. Разность удельных теплоемкостей некоторого газа равна 208 Дж/(кг·К). Определить молярную массу газа.

[Ответ: 0,004 кг/моль]

7. В сосуде под поршнем находится гремучий газ, занимающий при нормальных условиях объем 0,1 л. При быстром сжатии газ воспламеняется. Найти температуру воспламенения газа, если известно, что работа сжатия равна 197,7 Дж.

[Ответ: 780 К]

8. 1 кг двухатомного газа находится под давлением 80 кПа и имеет плотность 4 кг/м<sup>3</sup>. Найти энергию теплового движения молекул при этих условиях.

[Ответ: 50 кДж]

9. 10 г кислорода находятся под давлением 300 кПа при температуре 10°C. После нагревания при постоянном давлении газ занял объем в 10 л. Найти: количество тепла, полученного газом, изменение внутренней энергии, ра-

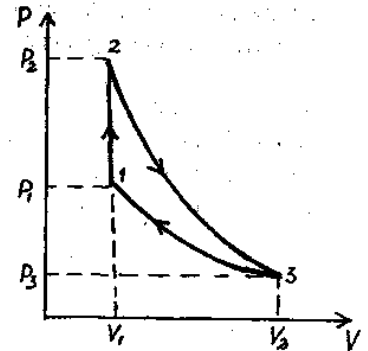


боту, совершенную газом.

[Ответ: 7,92 кДж; 5,66 кДж; 2,26 кДж]

10. Тепловая машина, работающая с одним молем трехатомного газа, совершает цикл, изображенный на рисунке, где участок 1-2 – изохорный, 2-3 – адиабатный, 3-1 – изотермный, а  $P_1=15 \text{ атм}$ ,  $V_1=3 \text{ л}$ ,  $V_2=12 \text{ л}$ . Каков КПД данного цикла КПД цикла Карно, если температуры нагревателя и холодильника оставить теми же.

[Ответ: 21,2%; 37%]



11. Капля воды массой 0,1 г введена между плоскими, горизонтально расположенными пластинами. Как велика сила притяжения между пластинами, если они находятся друг от друга на расстоянии  $10^4 \text{ см}$ ? Коэффициент поверхностного натяжения принять равным  $0,07 \text{ Н/м}$ . [Ответ: 28 кН]

### ВАРИАНТ 38

1. Баллон емкостью 15 л содержит смесь водорода и азота при температуре  $300 \text{ К}$  и давлении  $1,23 \text{ МПа}$ . Масса смеси 145 г. Определить массу водорода и азота. [Ответ: 4,8 г; 140,2 г]

2. Газ сжат изотермически от объема 8 л до объема 6 л. Давление при этом возросло на  $4 \text{ кПа}$ . Каким было первоначальное давление? [Ответ: 12 кПа]

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

4. Определить плотность газа в колбе газонаполненной электрической лампы накаливания, если молекулы газа производят на стенку колбы давление  $80 \text{ кПа}$ , а средняя квадратичная скорость поступательного движения молекул равна  $400 \text{ м/с}$ . [Ответ:  $1,5 \text{ кг/м}^3$ ]

5. Найти количество азота, прошедшего вследствие диффузии через площадку  $100 \text{ см}^2$  за  $10 \text{ с}$ , если градиент плотности в направлении, перпендикулярном к площадке, равен  $1,26 \text{ кг/м}^4$ . Температура азота  $27^\circ \text{C}$ , средняя длина свободного пробега азота  $10^{-7} \text{ м}$ . [Ответ:  $2 \cdot 10^{-6} \text{ кг}$ ]

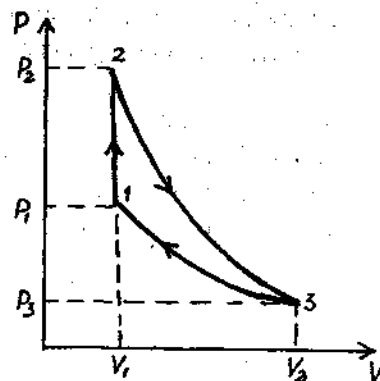
6. Разность удельных теплоемкостей некоторого газа равна  $2080 \text{ Дж/(кг·К)}$ . Определить молярную массу газа. [Ответ:  $0,004 \text{ кг/моль}$ ]

7. Углекислый газ, находящийся под давлением  $1 \text{ атм}$  при температуре  $12^\circ \text{C}$ , адиабатно сжимается и при этом его температура увеличивается до  $339 \text{ К}$ . Найти давление после сжатия. [Ответ:  $200 \text{ кПа}$ ]

8. 1 кг двухатомного газа находится под давлением 80 кПа и имеет плотность 4 кг/м<sup>3</sup>. Найти энергию теплового движения молекул при этих условиях. [Ответ: 50 кДж]

9. Кислород, находящийся под давлением 80 кПа, нагревают, так что его объем увеличивается от 1 м<sup>3</sup> до некоторого объема V. При этом работа, совершенная газом равна 160 кДж. Определить конечный объем и теплоту, сообщенную газу. [Ответ: 3 м<sup>3</sup>; 560 кДж]

10. Тепловая машина, работающая с одним молем трехатомного газа, совершает цикл, изображенный на рисунке, где участок 1-2 – изохорный, 2-3 – адиабатный, 3-1 – изотермный, а  $P_1=15$  атм,  $V_1=3$  л,  $V_2=12$  л. Каков КПД данного цикла КПД цикла Карно, если температуры нагревателя и холодильника оставить теми же. [Ответ: 21,2%; 37%]



11. Капля воды массой 0,1 г введена между плоскими, горизонтально расположенными пластинами. Как велика сила притяжения между пластинами, если они находятся друг от друга на расстоянии 10<sup>-4</sup> см? Коэффициент поверхностного натяжения принять равным 0,07 Н/м. [Ответ: 28 мН]

### ВАРИАНТ 39

1. Газ массой 10 г занимает объем 3 л при температуре 17°C. При постоянном давлении газ нагревают и его плотность становится равна 1,2 кг/м<sup>3</sup>. До какой температуры нагрели газ. [Ответ: 532,5°C]

2. В цилиндре под поршнем находится газ при нормальных условиях. Сначала объем газа увеличили в 10 раз при постоянной температуре, затем нагрели при постоянном давлении до температуры 127°C. Определить концентрацию молекул в конечном состоянии. [Ответ: 1,83·10<sup>24</sup> м<sup>-3</sup>]

3. Каково давление некоторого одноатомного газа, занимающего объем 2 л, если его внутренняя энергия равна 300 Дж? Чему равна температура газа, если концентрация его молекул равна 2,42·10<sup>19</sup> см<sup>-3</sup>? [Ответ: 100 кПа; 300 К]

4. Каково примерно давление, ниже которого между стенками сосуда Дьюара будет вакуум? Расстояние между стенками 10 мм, температура 20°C. [Ответ: примерно 1 Па]

5. При каком давлении отношение коэффициента внутреннего трения газа к коэффициенту его диффузии равно 0,3 кг/м<sup>3</sup>, а средняя квадратичная ско-

рость его молекул равна  $632 \text{ м/с}$ ?

[Ответ:  $4 \cdot 10^4 \text{ Па}$ ]

6. Вычислить теплоемкость газа при постоянном объеме, заключенного в сосуд емкостью  $20 \text{ л}$  при нормальных условиях. Газ одноатомный.

[Ответ:  $11 \text{ Дж/кг}$ ]

7. Двухатомный газ занимает объем  $0,5 \text{ л}$  при давлении  $0,5 \text{ атм}$ . Газ сжимается адиабатически до давления  $P_2$  объема  $V_2$ , затем при постоянном объеме охлаждается до первоначальной температуры и при этом его давление становится равным  $1 \text{ атм}$ . Найти объем  $V_2$  и давление  $P_2$ .

[Ответ:  $0,25 \text{ л}$ ;  $1,32 \text{ атм}$ ]

8. Чему равна энергия теплового движения  $10 \text{ г}$  гелия при температуре  $20^\circ \text{C}$ ? Чему равна энергия поступательного движения одной молекулы?

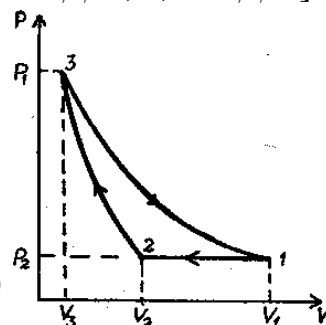
[Ответ:  $9,13 \text{ кДж}$ ;  $6,065 \cdot 10^{-21} \text{ Дж}$ ]

9.  $2 \text{ кмоль}$  углекислого газа нагревают при постоянном давлении на  $50^\circ \text{C}$ . Найти изменение его внутренней энергии, работу расширения и количество тепла, сообщенного газу.

[Ответ:  $2,5 \text{ МДж}$ ;  $830 \text{ кДж}$ ;  $3,33 \text{ МДж}$ ]

10. Тепловая машина работающая с одним молем двухатомного газа в качестве рабочего вещества, совершает обратимый цикл, где 2-3 - адиабата, 3-1 - изотерма, 2-1 - изобара. Найти КПД цикла и КПД цикла Карно с теми же температурами нагревателя и холодильника. Известны следующие параметры  $P_1 = 5,31 \text{ МПа}$ ,  $P_2 = 150 \text{ кПа}$ ,  $T_1 = 1000 \text{ К}$ .

[Ответ:  $37,3\%$ ;  $3,9\%$ ]



11. Две капли ртути радиусом  $1 \text{ мм}$  слились в одну большую каплю. На сколько изменилась температура ртути? Коэффициент поверхностного натяжения равен  $0,5 \text{ Н/м}$ , плотность  $13,6 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ , удельная теплоемкость ртути равна  $138 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)}$ .

[Ответ: на  $1,8 \cdot 10^{-4} \text{ градуса}$ ]

#### ВАРИАНТ 40

1. В запаянной с одного конца стеклянной трубке, длина которой  $70 \text{ см}$ , находится столбик воздуха, закрытый сверху столбиком ртути высотой  $20 \text{ см}$ , доходящим до верхнего открытого края трубки. Трубку осторожно перевёртывают и часть ртути выливается. Какова длина столбика ртути, если атмосферное давление  $750 \text{ мм рт. ст.}$ ?

[Ответ:  $1,4 \text{ см}$ ]

2. В закрытом сосуде при температуре  $300 \text{ К}$  и давлении  $0,1 \text{ МПа}$  находятся  $10 \text{ г}$  водорода и  $16 \text{ г}$  гелия. Считая газы идеальными, определить удельный объем ( $V/m$ ) смеси.

[Ответ:  $8,63 \text{ м}^3/\text{кг}$ ]

3. Концентрация молекул идеального газа и их средние квадратичные скорости в двух сосудах одинаковы. Масса газа во втором сосуде в два раза больше, чем в первом. Каково равно отношение давлений газов в сосудах?

[Ответ: 1:2]

4. Можно ли считать вакуум с давлением  $10^{-4}$  Па высоким, если он создан в колбе диаметром 20 см, содержащий азот при температуре 280 К. Диаметр молекулы азота  $3,0 \cdot 10^{-10}$  м. [Ответ: да, длина свободного пробега равна 98 м]

5. Найти среднюю длину свободного пробега молекул кислорода при температуре  $0^\circ\text{C}$  и давлении 100 кПа, если при этих условиях коэффициент внутреннего трения газа равен  $1,3 \cdot 10^{-5}$  кг/(м·с.) [Ответ:  $6,5 \cdot 10^{-8}$  м]

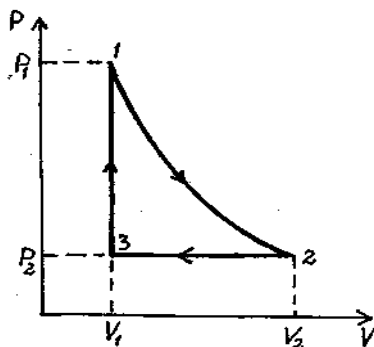
6. Газ находится при температуре 350 К в баллоне емкостью 100 л под давлением 200 кПа. Теплоемкость газа при постоянном объеме 140 Дж/К. Определить показатель адиабаты. [Ответ: 1,4]

7. Газ расширяется адиабатически так, что его давление падает от 2 до 1 атм. Затем он нагревается при постоянном объеме до первоначальной температуры, причем его давление возрастает до 1,22 атм. Определить отношение  $C_p/C_v$  для этого газа. [Ответ: 1,4]

8. Определить давление, оказываемое газом на стенки сосуда, если его плотность равна  $0,01$  кг/м<sup>3</sup>, а средняя квадратичная скорость молекул газа равна 480 м/с. [Ответ: 768 Па]

9. В закрытом сосуде объемом 2 л находятся  $m_1=1,23$  г азота и  $m_2$  грамм аргона при нормальных условиях. Какое количество тепла надо сообщить, чтобы нагреть эту газовую смесь на  $100^\circ\text{C}$ ? [Ответ: 146 Дж]

10. Найти кпд обратимого цикла тепловой машины, работающей на водяном паре, в соответствии с циклом, изображенным на рисунке, где участок 1-2-адиабатный, 1-3- изохорный, 2-3 изобарный. Известны следующие параметры:  $P_1/P_3=3$ ;  $V_2/V_1=2$ . Каков кпд данной машины и кпд машины, работающей по циклу Карно с теми же температурами нагревателя и холодильника? [Ответ: 33,3%, 66%]



11. Определить силу, прижимающую друг к другу две стеклянные пластинки размерами  $10 \times 10$  см<sup>2</sup>, расположенными параллельно друг другу, если расстояние между ними 0,02 мм, а пространство заполнено водой. Мениск вогнутый с диаметром 0,02 мм. Коэффициент поверхностного натяжения равен 0,075 Н/м. [Ответ: 75 Н]

### ВАРИАНТ 41

1. В сосуде находится азот массой 10 г и водород массой 7 г при температуре  $23^{\circ}\text{C}$  и давлении 150 кПа. Найти парциальные давления азота и водорода, молярную массу смеси и объем сосуда.

[Ответ: 13,9 кПа, 136 кПа,  $4,4 \cdot 10^{-3}$  кг/моль, 64 л]

3. В баллоне емкостью 30 л находится кислород под давлением 72 атм и температуре  $-9^{\circ}\text{C}$ . Затем часть газа из баллона выпустили, причем через некоторое время температура газа в нем повысилась до  $17^{\circ}\text{C}$ , а давление упало до 29 атм. Какое количество кислорода было выпущено? [Ответ: 2 кг]

3. Чему равна концентрация молекул воздуха в колбе радиолампы, если давление внутри колбы равно  $10^{-5}$  Па, а средняя кинетическая энергия поступательного движения молекул воздуха равна  $5 \cdot 10^{-21}$  Дж? Определите, температуру воздуха в колбе. [Ответ:  $3 \cdot 10^{15}$  м<sup>-3</sup>; 241 К]

4. Диаметр молекулы кислорода равен  $3 \cdot 10^{-10}$  м. Вычислить среднюю длину свободного пробега и среднее время между двумя столкновениями молекулы при нормальных условиях. Каковы эти величины для протонов космических лучей Галактики, полагая, что в межзвездном газе средние значения скоростей, концентрация протонов и их диаметры равны соответственно  $3 \cdot 10$  м/с,  $10^4$  м<sup>-3</sup>,  $2 \cdot 10^{-15}$  м. [Ответ:  $9,5 \cdot 10^{-8}$  м;  $2,2 \cdot 10^{-10}$  с;  $5,7 \cdot 10^{24}$  м;  $6,4 \cdot 10^9$  лет]

5. Найти коэффициент внутреннего трения азота при нормальных условиях, если коэффициент диффузии при этих условиях равен  $0,142 \cdot 10^{-4}$  м<sup>2</sup>/с. [Ответ:  $1,78 \cdot 10^{-5}$  кг/м·с]

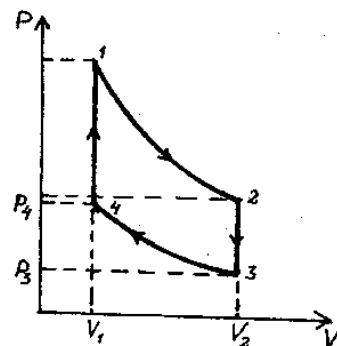
6. Найти отношение  $C_p/C_v$  для смеси газов, состоящей из гелия массой 10 г и водорода массой 4 г. [Ответ: 1,56]

7. Один киломоль газа, находящегося при нормальных условиях, расширяясь, увеличивает свой объем в пять раз. Найти изменение внутренней энергии и работу расширения газа. [Ответ: 269 кДж]

8. Чему равна энергия поступательного движения молекул, содержащихся в 2 кг водорода при температуре  $17^{\circ}\text{C}$ ? [Ответ:  $3,6 \cdot 10^6$  Дж]

9. 6,5 г водорода, находящегося при температуре  $27^{\circ}\text{C}$ , расширяются вдвое при постоянном давлении за счет притока тепла извне. Найти работу расширения, изменение внутренней энергии, количество тепла, сообщенного газу. [Ответ: 8,1 кДж; 20,2 кДж; 28,3 кДж]

10. Найти КПД цикла Клапейрона, состоящего из двух изотерм и двух изохор, использующего 1 моль идеального двухатомного газа, если известны следующие



параметры:  $P_3=300 \text{ кПа}$ ,  $V_1=4 \text{ л}$ ,  $V_2=10 \text{ л}$ ,  $T_1=1000 \text{ К}$ . Определить также кпд цикла Карно при тех же значениях температур нагревателя и холодильника.  
[Ответ: 23,3%; 63,9%]

11. Найти добавочное давление внутри мыльного пузыря диаметром 10 см. Какую работу нужно совершить, чтобы выдуть этот пузырь?  
[Ответ: 3,2 Па;  $2,5 \cdot 10^{-3} \text{ Дж}$ ]

#### ВАРИАНТ 42

1. Определить молярную массу газа, состоящего из 160 г кислорода и 120 г азота, парциальные давления, создаваемые молекулами кислорода и азота в сосуде, если температура  $10^\circ\text{C}$  и объем 10 л.

[Ответ:  $30,2 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$ , 1,175 МПа, 1,1 МПа, 2,175 МПа]

2. Закрытый с обеих сторон цилиндр разделен на две равные части (по 42 см) теплонепроницаемым поршнем. В обеих половинах находятся одинаковые массы газа при температуре  $27^\circ\text{C}$  и давлении в 1 атм. До какой температуры надо нагреть газ в одной части цилиндра, чтобы поршень сместился на 2 см? Найти давление газа после смещения.  
[Ответ: 330 К; 1,05 атм]

3. Какое давление на стенки сосуда производят молекулы газа, если масса газа 3 г, объем 0,5 л, а средняя квадратичная скорость молекул равна 500 м/с? Чему равна концентрация молекул при температуре  $27^\circ\text{C}$ ?

[Ответ: 500 кПа;  $1,21 \cdot 10^{26} \text{ м}^{-3}$ ]

4. В баллоне объемом  $2,53 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$  содержится углекислый газ при температуре 400 К и давлении 1,3 МПа. Сколько столкновений происходит между всеми молекулами за одну секунду?  
[Ответ:  $1,17 \cdot 10^{34}$ ]

5. Найти диаметр молекулы кислорода, если известно, что для кислорода коэффициент внутреннего трения при  $0^\circ\text{C}$  равен  $18,8 \cdot 10^{-6} \text{ кг/м}\cdot\text{с}$ .

[Ответ:  $3 \cdot 10^{-10} \text{ м}$ ]

6. Каковы удельные теплоемкости  $c_p$  и  $c_v$  смеси газов, содержащей кислород массой 10 г и азот массой 20 г.

[Ответ: 710 К и 995 Дж/(кг·К)]

7. Необходимо в 10 раз уменьшить объем газа. Как выгоднее его сжимать: адиабатически или изотермически?

[Ответ: изотермически выгоднее, но почему?]

8. Чему равна энергия теплового движения молекул одноатомного газа, заключенного в сосуде объемом 3 л и находящегося под давлением в 3 атм?

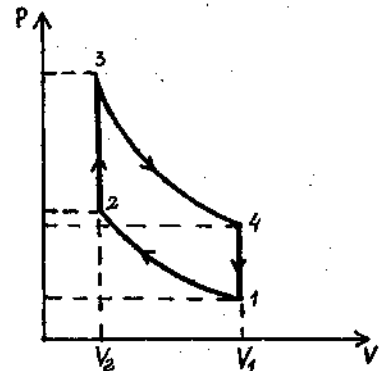
[Ответ: 1350 Дж]

9. Азот находится в закрытом сосуде объемом 3 л при температуре  $27^\circ\text{C}$  и

давлении 3 атм. После нагревания давление в сосуде повысилось до 25 атм. Определить температуру азота после нагревания и количество сообщенного азоту тепла. [Ответ: 2500 K; 16,5 кДж]

10. Идеальная газотурбинная установка работает по циклу с изобарическим подводом и отводом тепла (участки 1-2 и 3-4 - изобары), а участки 1-4 и 2-3 - адиабатные с показателем адиабаты 1,4 и отношением  $P_1/P_2=6$ ,  $V_2/V_1=1,5$ . Определить КПД данной тепловой машины. Определить также КПД цикла Карно, у которого температуры нагревателя и холодильника будут  $T_2$  и  $T_4$ .

[Ответ: 36,1% и 60%]



11. Какая абсолютная и относительная ошибка сделана при определении объема воды в прямоугольном баке (размером  $6 \times 4 \text{ м}^2$ ) с помощью указателя уровня, выполненного в виде стеклянной трубки, внутренний диаметр которой 4 мм. Высота уровня воды над днищем по указателю равна 505 мм. Считать, что вода полностью смачивает стекло. [Ответ:  $0,172 \text{ м}^3$ ; 1,5%]

#### ВАРИАНТ 43

1. Общеизвестен шуточный вопрос: „Что тяжелее: тонна свинца или тонна пробки?“. На сколько истинный вес пенопласта больше истинного веса ртути, если в воздухе они весят одинаково (19,6 Н). Считать давление воздуха равным  $10^5 \text{ Па}$ , температура  $17^\circ\text{C}$ , молярная масса воздуха:  $0,029 \text{ кг/моль}$ , плотность пенопласта  $0,6 \text{ г/см}^3$ . [Ответ:  $0,0374 \text{ Н}$ ]

2. Два сосуда соединены между собой тонкой трубкой с краном. Емкость первого сосуда 2 л, он содержит газ под давлением  $170 \text{ кПа}$ . Емкость второго сосуда 3,2 л и он содержит тот же газ под давлением  $55 \text{ кПа}$ . Какое давление установится в сосудах после того, как открыть кран? Температура постоянная. [Ответ:  $99 \text{ кПа}$ ]

3. Считая воздух газом, состоящим из одинаковых молекул, оцените среднюю квадратичную скорость теплового движения молекул газа при нормальных условиях. Чему равна концентрация молекул воздуха? [Ответ:  $484 \text{ м/с}$ ;  $2,66 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-3}$ ]

4. До какого давления нужно откачивать сосуд Дьюара, чтобы можно было пренебречь процессом теплопроводности? Расстояние между стенками равно 0,01 м, температура окружающей среды  $293 \text{ К}$ . [Ответ:  $1 \text{ Па}$ ]

5. Найти диаметр молекулы водорода, если известно, что для водорода коэффициент внутреннего трения при  $27^\circ\text{C}$  равен  $8,3 \cdot 10^{-6} \text{ кг/(м} \cdot \text{с)}$ . [Ответ:  $2,3 \cdot 10^{-10} \text{ м}$ ]

6. Смесь газов состоит из двух молей одноатомного и трех молей двухатомного газа. Определить удельные теплоемкости  $c_p$  и  $c_v$  смеси.

[Ответ:  $17,4 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{K)}$ ;  $25,7 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{K)}$ ]

7. При адиабатическом сжатии одного киломоля двухатомного газа была совершена работа в  $146 \text{ кДж}$ . На сколько увеличилась температура газа при его сжатии?

[Ответ: на  $7^\circ\text{C}$ ]

8. Кинетическая энергия вращательного движения молекул кислорода, находящегося в баллоне объемом  $3 \text{ л}$ , равна  $300 \text{ Дж}$ , а средняя квадратичная скорость его молекул равна  $1000 \text{ м/с}$ . Найти количество кислорода в баллоне; давление под которым находится газ.

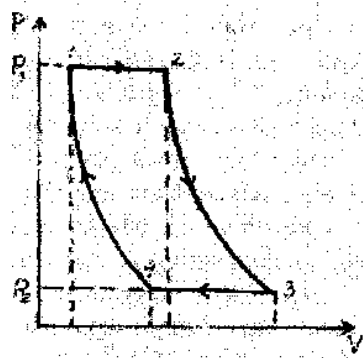
[Ответ:  $0,9 \text{ г}$ ;  $1 \text{ атм}$ ]

9. Двухатомному газу сообщено  $2060 \text{ Дж}$  тепла. При этом газ расширяется при постоянном давлении. Найти работу расширения газа.

[Ответ:  $589 \text{ Дж}$ ]

10. В цикле Отто газовых и карбюраторных двигателей внутреннего сгорания теплота подводится и отводится при постоянных объемах  $V_1$  и  $V_2$ , а участки 3-4 и 1-2 – адиабатические участки расширения и сжатия. Определить КПД цикла, если адиабатическое сжатие  $n=V_1/V_2=4$ ,  $P_3/P_2=1,2$ ,  $\gamma=1,4$ . Каков КПД цикла Карно с минимальными и максимальными значениями температур?

[Ответ:  $42\%$ ;  $75\%$ ]



11. Капля ртути введена между параллельными стеклянными пластинками. Для того чтобы расплющить каплю до толщины  $0,1 \text{ мм}$  приложена сила в  $15 \text{ Н}$ . Определить массу капли. Считать, что ртуть не смачивает стекло, а  $\sigma=0,5 \text{ Н/м}$ .

[Ответ:  $2 \text{ г}$ ]

#### ВАРИАНТ 44

1. Определить плотность смеси из  $4 \text{ г}$  водорода и  $32 \text{ г}$  кислорода при температуре  $7^\circ\text{C}$  и давлении  $700 \text{ мм рт. ст.}$ , парциальные давления водорода и кислорода.

[Ответ:  $0,48 \text{ кг/м}^3$ ,  $66,5 \text{ кПа}$ ,  $26,6 \text{ кПа}$ ]

2. Определить температуру газа, находящегося в закрытом баллоне, если его давление увеличилось на  $0,4\%$  первоначального при нагревании на  $\Delta T=1 \text{ К}$ .

[Ответ:  $250 \text{ К}$ ]

3. Найти концентрацию молекул кислорода, если давление равно  $150 \text{ кПа}$ , а средняя квадратичная скорость молекул равна  $700 \text{ м/с}$ .

[Ответ:  $1,74 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-3}$ ]



4. При какой температуре среднеквадратичная скорость молекулы азота равна второй космической скорости? [Ответ:  $1,45 \cdot 10^5 \text{ K}$ ]

5. Найти коэффициент диффузии и коэффициент внутреннего трения воздуха при давлении  $100 \text{ кПа}$  и температуре  $10^\circ\text{C}$ . Диаметр молекулы воздуха принять равным  $3 \cdot 10^{-10} \text{ м}$ . [Ответ:  $1,48 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$ ;  $1,83 \cdot 10^{-5} \text{ кг/м с}$ ]

6. При некоторых условиях 40% молекул водорода распалось на атомы. Найти удельные теплоемкости  $c_p$  и  $c_v$  такого водорода. [Ответ:  $11,3 \cdot 10^3 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{K)}$ ;  $17,1 \cdot 10^3 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{K)}$ ]

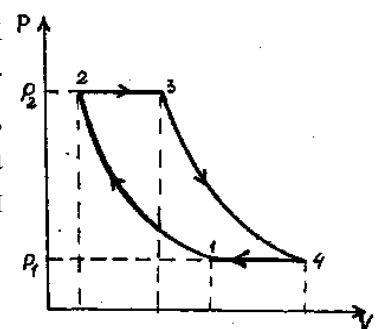
7. Во сколько раз уменьшится средняя квадратичная скорость молекул двухатомного газа при адиабатическом увеличении его объема в два раза? [Ответ: в 1,15 раза]

8. При какой температуре средняя кинетическая энергия теплового движения молекул водорода будет достаточна для того, чтобы молекулы преодолели земное тяготение и навсегда покинули земную атмосферу? [Ответ:  $10000 \text{ K}$ ]

9.  $10 \text{ г}$  азота находятся в закрытом сосуде при температуре  $7^\circ\text{C}$ . Какое количество тепла надо сообщить азоту, чтобы увеличить его среднюю квадратичную скорость вдвое? Во сколько раз при этом изменятся температура? Изменится и давление? [Ответ:  $6,25 \text{ кДж}$ ; в 4 раза; в 4 раза]

10. Две одинаковые плоскопараллельные стальные пластины имеют зазор  $0,3 \text{ мм}$ . На какую высоту поднимается жидкость в зазоре, если опустить пластины нижними краями в сосуд с глицерином? Смачивание считать полным. [Ответ:  $36,5 \text{ мм}$ ]

11. Цикл газотурбинной установки состоит из двух адиабат и двух изобар. Отношение  $\beta = P_2/P_1$  называется степенью повышения давления. Найти КПД цикла, если  $\beta=3$ ,  $\gamma=1,4$ ,  $V_3/V_2=2$ . Вычислить также КПД цикла Карно с данными температурами холодильника и нагревателя. [Ответ: 27%, 63,3%]



#### ВАРИАНТ 45

1. В запаянной с обоих концов стеклянной трубке находится столбик ртути длиной  $10 \text{ см}$ . Когда трубочка расположена горизонтально, то столбик находится посередине, а когда вертикально, то середина столбика смещается относительно своего начального положения на  $20 \text{ см}$ . До какого давления откачан воздух в трубке, если ее длина  $76 \text{ см}$ ? [Ответ:  $8664 \text{ Па}$ ]

2. Закрытый сосуд разделен на две части полупроницаемой перегородкой. В первую половину сосуда введена смесь аргона и водорода при давлении

1,5 атм, во второй половине вакуум. Через перегородку может диффундировать только водород. После окончания процесса диффузии давление в первой половине сосуда оказалось равно 1 атм. Во время процесса температура поддерживалась постоянной. Определить отношение масс аргона и водорода в смеси, которая была первоначально введена в первую половину сосуда. [Ответ: 10]

3. Считая водород идеальным газом, вычислить его давление на стенки сосуда при концентрации  $10^{19} \text{ см}^{-3}$  и средней квадратичной скорости теплового движения 700 м/с. [Ответ:  $5,43 \cdot 10^3 \text{ Па}$ ]

4. Средняя длина свободного пробега молекул водорода при некотором давлении и температуре  $21^\circ\text{C}$  равна  $9 \cdot 10^{-8} \text{ м}$ . В результате изотермического процесса давление газа увеличилось в три раза. Найти среднее число столкновений молекул водорода в 1 с в конце процесса. [Ответ:  $5,87 \cdot 10^{10} \text{ с}^{-1}$ ]

5. Во сколько раз коэффициент внутреннего трения кислорода больше коэффициента внутреннего трения азота? Температура газов одинакова. [Ответ: 1,07 раза]

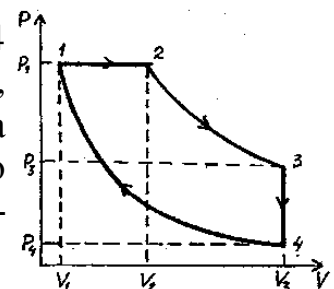
6. Вычислить молярные и удельные теплоемкости газа, если относительная молярная масса равна 30, а отношение теплоемкостей  $C_p/C_v=1,4$ .  
[Ответ:  $20,7 \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{K})$ ;  $29 \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{K})$ ;  
 $690 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{K})$ ;  $970 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{K})$ ]

7. 10 г кислорода, находящегося при нормальных условиях, адиабатически сжимается до объема 1,4 л. Найти давление и температуру газа после сжатия и работу сжатия. [Ответ: 9,69 атм; 522,4 К; 1619 Дж]

8. 0,6 кг одноатомного газа находятся под давлением 40 кПа и имеют плотность  $3 \text{ кг}/\text{м}^3$ . Найти энергию теплового движения молекул газа при этих условиях. [Ответ: 12 кДж]

9. При изобарическом расширении двухатомного газа была совершена работа в 157 Дж. Какое количество тепла было сообщено газу? [Ответ: 550 Дж]

10. На рисунке изображен цикл, в котором 2-3 и 1-4 изотермы. Известно, что  $P_1/P_4=4$ ,  $V_3/V_2=2$ ,  $T_1/T_2=0,5$ , газ идеальный двухатомный. Определить КПД цикла данной тепловой машины, а также КПД цикла Карно с данными температурами нагревателя и холодильника. [Ответ: 20,47 и 50%]



11. Стекло́нная трубка, закрытая с одного конца, наполнена ртутью и погружена открытым концом в сосуд с ртутью, сообщающейся с атмосферой. Какова будет разность уровней ртути в сосуде и в трубке при атмосферном давлении  $102 \text{ кПа}$ ? Давление насыщенных паров ртути над ее поверхностью в трубке не учитывать. [Ответ:  $0,765 \text{ м}$ ]

#### ВАРИАНТ 46

1. Баллон емкостью  $20 \text{ л}$  наполнен сжатым воздухом. При температуре  $20^\circ\text{C}$  манометр показывает давление  $120 \text{ атм}$ . Какой объем воды можно вытеснить из цистерны подводной лодки воздухом из этого баллона, если вытеснение производится на глубине  $30 \text{ м}$  и температура воды  $5^\circ\text{C}$ ? Давление атмосферы принять равным  $10^5 \text{ Па}$ . [Ответ:  $569 \text{ л}$ ]

2. В двух сосудах емкостями  $3 \text{ л}$  и  $5 \text{ л}$  находятся соответственно азот под давлением  $1 \text{ атм}$  и окись углерода под давлением  $5 \text{ атм}$ . Сосуды соединяют трубкой, объемом которой можно пренебречь. Найти установившееся давление смеси, если начальная температура обоих газов равна температуре окружающей среды. [Ответ:  $350 \text{ кПа}$ ]

3. Концентрация молекул межзвездного газа в среднем равна  $1 \text{ см}^{-3}$ , средняя кинетическая энергия поступательного движения молекул  $1,5 \cdot 10^{-21} \text{ Дж}$ . Определить давление и температуру газа. [Ответ:  $10^{-15} \text{ Па}$ ;  $72,5 \text{ К}$ ]

4. При температуре  $47^\circ\text{C}$  и некотором давлении средняя длина свободного пробега молекул кислорода  $4 \cdot 10^{-8} \text{ м}$ . В результате изотермического сжатия объем газа уменьшился в два раза. Определить среднее число столкновений молекул кислорода в одну секунду в конце сжатия. [Ответ:  $2,3 \cdot 10^{10} \text{ с}^{-1}$ ]

5. Коэффициенты внутреннего трения и диффузии водорода при некоторых условиях равны соответственно  $8,5 \cdot 10^{-6} \text{ кг/м}\cdot\text{с}$  и  $1,42 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$ . Найти число молекул водорода в  $1 \text{ м}^3$  при этих условиях. [Ответ:  $1,810^{25} \text{ м}^{-3}$ ]

6. Вычислить удельные теплоемкости при постоянном давлении и постоянном объеме смеси неона и водорода, если масса неона составляет  $80\%$  от массы смеси. [Ответ:  $2,57 \cdot 10^3 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{К)}$ ;  $3640 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{К)}$ ]

7.  $28 \text{ г}$  азота, находящегося при температуре  $40^\circ\text{C}$  и давлении  $750 \text{ мм рт. ст.}$ , адиабатически сжимают до объема в  $13 \text{ л}$ . Найти температуру и давление азота после сжатия, а также работу сжатия. [Ответ:  $413 \text{ К}$ ;  $260 \text{ кПа}$ ;  $2080 \text{ Дж}$ ]

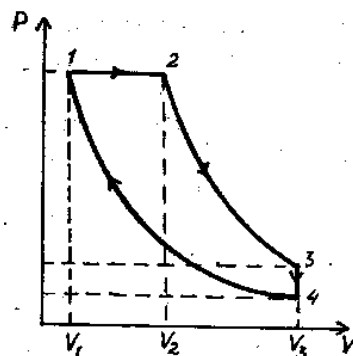
8.  $10 \text{ г}$  кислорода находятся под давлением  $300 \text{ кПа}$  и при температуре  $10^\circ\text{C}$ . После нагревания при постоянном давлении газ занял объем в  $10 \text{ л}$ . Найти энергию теплового движения молекул газа до и после нагревания, количество тепла, полученного газом.

[Ответ: 1,832 кДж; 7,49 кДж; 7,9 кДж]

9. Гелий находится в закрытом сосуде объемом 2 л при температуре 20°C и давлении 100 кПа. Какое количество тепла надо сообщить гелию, чтобы повысить его температуру на 100°C? Какова будет средняя квадратичная скорость его молекул при новой температуре? [Ответ: 102 Дж; 1,57 км/с]

10. На рисунке изображен цикл, в котором участки 2-3 и 4-1 - адиабаты. Известны следующие параметры:  $V_1=2$  л,  $V_2=5$  л,  $V_3=8$  л. Число степеней свободы газа, участвующего в работе, равно шести. Определить КПД цикла, а также КПД цикла Карно с максимальной и минимальными температурами.

[Ответ: 29%; 84%]



11. В городе, площадью 400 км<sup>2</sup> за 10 минут во время ливневого дождя выпало 20 мм воды. Подсчитать энергию и мощность тепловыделений от слияния капель во время дождя, если капли, достигшие поверхности Земли, имели диаметр 3 мм, а образовывались от слияния капель диаметром 0,003 мм. [Ответ: 1,168 10<sup>12</sup> Дж; 1,95 10<sup>6</sup> Вт]

#### ВАРИАНТ 47

1. Найти парциальные давления газов, входящих в смесь, если она состоит из одной части водорода и восьми частей кислорода при давлении 0,1 МПа и температуре 290 К. [Ответ: 66 и 34 кПа]

2. В воде всплывает пузырек воздуха. На какой глубине его объем в два раза меньше, чем вблизи поверхности воды? Каков будет объем пузырька вблизи поверхности воды, если на глубине 3 м он равен 5 мм<sup>3</sup>? Атмосферное давление нормальное, изменением температуры воды с глубиной пренебречь. [Ответ: 10,3 м; 6,48 мм<sup>3</sup>]

3. Найти энергию теплового движения молекул NH<sub>3</sub>, находящихся в объеме 10 л при давлении 2,45 кПа. Какую часть энергии составляет энергия поступательного движения молекул? [Ответ: 73,5 Дж; 36,75 Дж]

4. В сосуде объемом 1 л находится азот при температуре 7°C и давлении 200 кПа. Определить число столкновений молекул азота в этом сосуде за 1 с. [Ответ: 2,45·10<sup>32</sup> с<sup>-1</sup>]

5. Коэффициенты диффузии и внутреннего трения кислорода соответственно равны 1,22·10<sup>5</sup> м<sup>2</sup>/с и 1,95·10<sup>-5</sup> кг/(м·с). Найти при этих условиях: плотность кислорода, среднюю длину свободного пробега его молекул, среднюю арифметическую скорость его молекул. [Ответ: 1,6 кг/м<sup>3</sup>; 8,35·10<sup>-8</sup> м; 440 м/с]

6. Определить удельные теплоемкости  $c_p$  и  $c_v$  газа, состоящего по массе из 85% кислорода и 15% озона ( $O_3$ ).  
[Ответ: 629 Дж/(кг·К); 877 Дж/(кг·К)]

7. Во сколько раз возрастет длина свободного пробега молекул двухатомного газа, если его давление при адиабатическом процессе падает в два раза?

[Ответ: в 1,64 раза]

8. Некоторое число молекул трехатомного газа занимают объем  $20 \text{ см}^3$  при давлении  $30 \text{ мм рт. ст.}$ . Какой энергией теплового движения обладают эти молекулы?

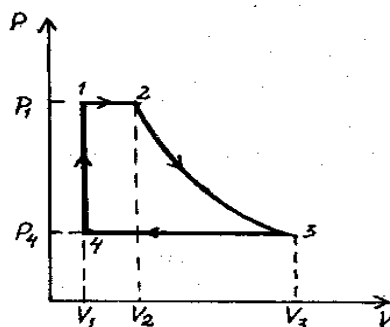
[Ответ: 0,239 Дж]

9. Газ, занимающий объем  $5 \text{ л}$  и находящийся под давлением  $200 \text{ кПа}$  и при температуре  $17^\circ\text{C}$  был нагрет и расширился изобарически. Работа расширения газа при этом равна  $196 \text{ Дж}$ . На сколько нагрели газ?

10. Спирт по каплям вытекает из сосуда через вертикальную трубку с внутренним диаметром  $2 \text{ мм}$ . Капли отрываются через  $1 \text{ с}$  одна за другой. Через какое время вытечет  $10 \text{ г}$  спирта? Диаметр шейки капли принять равным внутреннему диаметру трубки.

[Ответ: 11,3 мин]

11. Цикл паросиловой установки Ренкина изображен на приведенном рисунке, где участок 2-3 - адиабата. В процессе работы задействован один моль трехатомного газа. Известны следующие параметры паросиловой установки:  $P_1=15 \text{ атм}$ ,  $V_1=2 \text{ л}$ ,  $V_2=5 \text{ л}$ ,  $V_3=6 \text{ л}$ . Найти КПД цикла, а также КПД цикла Карно с данными температурами.



[Ответ: 5,8%; 86%]

#### ВАРИАНТ 48

1. Из баллона емкостью  $10 \text{ л}$  со сжатым водородом вследствие его неисправности вытекает газ. При температуре  $7^\circ\text{C}$  манометр показывал  $50 \text{ атм}$ . Через некоторое время при температуре  $17^\circ\text{C}$  манометр показал то же давление. Сколько газа вытекло из баллона?

[Ответ: 1,48 г]

2. Два сосуда с объемами  $40$  и  $20 \text{ л}$  содержат газ при одинаковой температуре, но разных давлениях. После соединения сосудов в них установилось давление в  $1 \text{ МПа}$ . Каково было начальное давление в большем сосуде. Если в меньшем оно было равно  $600 \text{ кПа}$ ? Температуру считать постоянной.

[Ответ: 1,2 МПа]

3. Определите температуру и среднюю кинетическую энергию поступательного и вращательного движения молекул азота с концентрацией  $3 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-3}$  при давлении  $100 \text{ кПа}$ .

[Ответ: 242 К;  $5 \cdot 10^{-21} \text{ Дж}$ ;  $3,33 \cdot 10^{-21} \text{ Дж}$ ]

4. Средняя квадратичная скорость молекул газа равна  $900 \text{ м/с}$ , а средняя длина свободного пробега при этих условиях  $4 \cdot 10^{-6} \text{ м}$ . Определить среднее число столкновений молекул этого газа в  $1 \text{ с}$ .  
[Ответ:  $2,07 \cdot 10^8 \text{ с}^{-1}$ ]

5. Самолет летит со скоростью  $360 \text{ м/с}$ . Считая, что слой воздуха у крыла самолета, увлекаемый вследствие вязкости, равен  $4 \text{ см}$ , найти касательную силу, действующую на каждый квадратный метр поверхности крыла. Диаметр молекулы воздуха принять равным  $3 \cdot 10^{-10} \text{ м}$ . Температура воздуха  $0^\circ \text{C}$ .  
[Ответ:  $0,162 \text{ Н/м}^2$ ]

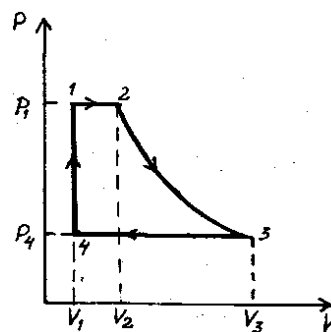
6. Определить удельные теплоемкости  $c_p$  и  $c_v$  газообразного оксида углерода (CO).  
[Ответ:  $742 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{K)}$ ;  $1039 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{K)}$ ]

7. Два различных газа, один из которых одноатомный, а другой двухатомный, находятся при одинаковой температуре и занимают одинаковый объем. Газы сжимаются *адиабатически* так, что объем их уменьшается вдвое. Какой из газов нагреется больше и во сколько раз?  
[Ответ: одноатомный газ нагреется больше в  $1,2 \text{ раза}$ ]

8.  $0,4 \text{ кг}$  двухатомного газа находятся под давлением  $2 \text{ атм}$  и имеют плотность  $4 \text{ кг/м}^3$ . Найти энергию поступательного и вращательного движения молекул газа при этих условиях.  
[Ответ:  $30 \text{ кДж}$ ;  $20 \text{ кДж}$ ]

9. На нагревание  $40 \text{ г}$  кислорода от  $16$  до  $40^\circ \text{C}$  затрачено  $623 \text{ Дж}$  тепла. При каких условиях нагревался газ? (При постоянном объеме или при постоянном давлении?)

10. Паросиловая установка работает по циклу, изображенному на рисунке, на котором участок 2-3 - изотермический. Рабочее вещество участвующее в процессах цикла трехатомный газ. Известны параметры цикла:  $V_1=2 \text{ л}$ ,  $V_2=6 \text{ л}$ ,  $V_3=8 \text{ л}$ . Вычислить КПД этой установки, а также КПД установки, работающей по циклу Карно с данными температурами.  
[Ответ:  $6,9\%$ ;  $75\%$ ]



11. Нижний конец вертикально подвешенной свинцовой проволоки плавится, так что вниз падают капли свинца. На сколько укоротилась проволока после падения  $20 \text{ капель}$ , если диаметр шейки капли равен в момент отрыва диаметру проволоки ( $1 \text{ мм}$ ), а коэффициент поверхностного натяжения равен  $0,43 \text{ Н/м}$  и плотность свинца  $11,342 \text{ г/см}^3$ . Вычислить также диаметр одной капли.  
[Ответ:  $31 \text{ см}$ ;  $2,84 \text{ мм}$ ]

### ВАРИАНТ 49

1. Три сосуда емкостями 3, 5 и 8 л, в которых находится одинаковый газ при давлениях 5, 3 и 4 атм соединяются между собой. Определить, какое давление установится в сосудах? [Ответ: 3,875 атм]

2. В баллоне находится газ при температуре 15°C. Во сколько раз уменьшится давление газа, если 40 его выйдет из баллона, а температура понизится на 8°C  
[Ответ: 1,7]

3. Предельно допустимая концентрация молекул ртути в окружающем воздухе равна  $3 \cdot 10^{16} \text{ м}^{-3}$ . Найти, при какой массе ртути в одном кубическом метре воздуха появляется опасность отравления. Чему равно давление паров ртути, если средняя кинетическая энергия молекул ртути равна  $6 \cdot 10^{-21} \text{ Дж}$ ?  
[Ответ:  $2,5 \cdot 10^{-7} \text{ кг}$ ;  $1,2 \cdot 10^{-4} \text{ Па}$ ]

4. Средняя длина свободного пробега молекул воздуха при нормальных условиях равна  $6,21 \cdot 10^{-8} \text{ м}$ . Определить среднюю длину свободного пробега молекул воздуха при сверхвысоком вакууме ( $10^{-1} \text{ мм рт. ст.}$ ). Температуру считать постоянной.  
[Ответ:  $4,7 \cdot 10^4$ ]

5. Пространство между двумя коаксиальными цилиндрами заполнено газом. Радиусы цилиндров 5 и 5,2 см. Высота внутреннего цилиндра 25 см. Внешний цилиндр вращается со скоростью 360 об/мин. Для того чтобы внутренний цилиндр оставался неподвижным, к нему надо приложить касательную силу  $1,38 \cdot 10^{-3} \text{ Н}$ . Рассматривая в первом приближении случай как плоский, определить коэффициент вязкости газа, находящегося между цилиндрами.  
[Ответ:  $1,8 \cdot 10^{-5} \text{ кг/м} \cdot \text{с}$ ]

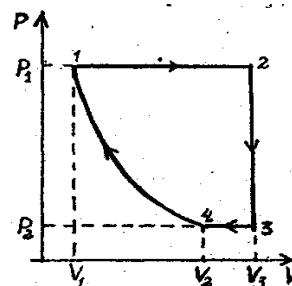
6. Трехатомный газ, находящийся под давлением 240 кПа и при температуре 20°C, занимает объем 10 л. Определить теплоемкость этого газа при постоянном давлении.  
[Ответ: 32,8 Дж/К]

7. Один килограмм воздуха, находящегося при температуре 30°C и давлении 1,5 атм, расширяется адиабатически и давление при этом падает до 1 атм. Найти степень расширения, конечную температуру, работу, совершенную газом при расширении.  
[Ответ:  $V_2/V_1=1,33$ ; 270 К; 23 кДж]

8. Чему равна энергия теплового движения 15 г азота при температуре 27°C? Какая часть этой энергии приходится на долю поступательного движения и какая часть на долю вращательного?  
[Ответ: 3339 Дж; 2003 Дж; 1336 Дж]

9. В закрытом сосуде объемом 10 л находится воздух при давлении 100 кПа. Какое количество тепла надо сообщить воздуху, чтобы повысить давление в сосуде в 5 раз?  
[Ответ: 10 кДж]

10. Один моль трехатомного газа совершает некоторый цикл, в котором участок 4-1 -изотерма. Определить КПД данного цикла и КПД цикла Карно с данными температурами, если известны следующие параметры точек цикла:  $P_1=10 \text{ атм}$ ,  $P_2=5 \text{ атм}$ ;  $V_3=12 \text{ л}$ ,  $T_1=290 \text{ К}$ .



11. На поверхность воды положили натертую жиром (и, следовательно, полностью не смачиваемую водой) стальную иглу диаметром  $d$  и длиной  $\ell$ , причем  $d \ll \ell$ . Каков может быть наибольший диаметр проволоки, чтобы иголочка не утонула? [Ответ: 1,6 мм]

### ВАРИАНТ 50

1. Плотность воздуха при температуре  $0^\circ\text{C}$  и давлении 760 мм рт. ст. равна  $0,001293 \text{ г/см}^3$ . Сколько весит литр воздуха при температуре  $27^\circ\text{C}$  и давлении 750 мм рт. ст.? [Ответ:  $11,3 \cdot 10^{-3} \text{ Н}$ ]

2. Три сосуда одинакового объема соединены между собой кранами. Первый сосуд содержит газ с массой  $m_1=10 \text{ г}$ , третий с тем же газом массой  $m_2=8 \text{ г}$ , второй сосуд пустой. Сначала соединили второй и третий сосуды, а когда давление в них выровнялось, второй сосуд отсоединили от третьего и соединили с первым. Давление в первом и втором сосудах установилось равным  $P_1=15 \text{ кПа}$ . Определить начальное давление  $P$  в первом сосуде. [Ответ: 21,43 кПа]

3. Средняя кинетическая энергия поступательного движения молекул газа равна  $3 \cdot 10^{-20} \text{ Дж}$ . Чему равны температура и давление газа если концентрация его молекул равна  $1,2 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-3}$ ? [Ответ: 1450 К;  $2,4 \cdot 10^{-2} \text{ Па}$ ]

4. В баллоне объемом 10 л находится 2 г гелия. Определить среднюю длину свободного пробега. [Ответ:  $1,87 \cdot 10^{-7} \text{ м}$ ]

5. Пространство между двумя коаксиальными цилиндрами заполнено гелием. Радиусы цилиндров 6 и 6,3 см. Высота внутреннего цилиндра 30 см. Внешний вращается со скоростью 300 об/мин. Коэффициент вязкости газа, находящегося между цилиндрами  $1,95 \cdot 10^{-5} \text{ кг/м}\cdot\text{с}$ . Какую касательную силу надо приложить к внутреннему цилиндру, чтобы он оставался неподвижным, рассматривая приближенно случай как плоский. [Ответ:  $1,48 \cdot 10^{-3} \text{ Н}$ ]

6. Одноатомный газ при нормальных условиях занимает объем 5 л. Вычислить теплоемкость этого газа при постоянном объеме. [Ответ: 2,75 Дж/К]

7. Автомобильная шина была накачана до давления 2,2 атм при температуре  $15^\circ\text{C}$ . Во время движения она нагрелась до температуры  $55^\circ\text{C}$  и лопнула. На



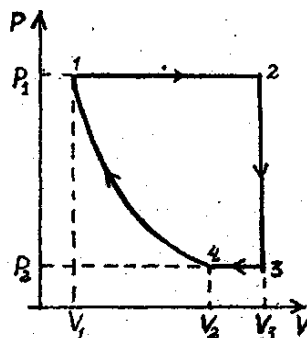
сколько градусов охладился воздух, вышедший из шины ? [Ответ:  $76^{\circ}\text{C}$ ]

8. Чему равны энергии поступательного и вращательного движения молекул, содержащихся в  $0,5\text{ кг}$  кислорода при температуре  $0^{\circ}\text{C}$ .

[Ответ:  $53,2\text{ кДж}$ ;  $35,4\text{ кДж}$ ]

9. Какое количество углекислого газа можно нагреть от  $20$  до  $100^{\circ}\text{C}$  количеством тепла в  $0,22\text{ Дж}$ ? На сколько при этом изменилась кинетическая энергия одной молекулы? Процесс изобарический. [Ответ:  $3,64 \cdot 10^{-3}\text{ г}$ ;  $3,3 \cdot 10^{-21}\text{ Дж}$ ]

10. Один моль трехатомного газа совершает некоторый цикл, в котором участок 4-1 -изотерма. Определить КПД данного цикла и КПД цикла Карно с данными температурами, если известны следующие параметры точек цикла:  $P_1=10\text{ атм}$ ,  $P_2=5\text{ атм}$ ;  $V_3=12\text{ л}$ ,  $T_1=290\text{ К}$ .



11. В дне стеклянного сосуда площадью  $30\text{ см}^2$  имеется круглое отверстие диаметром  $0,5\text{ мм}$ . В сосуд налита ртуть. Какая масса ртути останется в сосуде? [Ответ:  $1,22\text{ кг}$ ]

#### ВАРИАНТ 51

1. В сосуде находится  $10^{-2}$  моля водорода и  $2\text{ г}$  азота при температуре  $50^{\circ}\text{C}$  и давлении  $15\text{ кПа}$ . Найти парциальные давления газов, объем сосуда и концентрации водорода и азота. [Ответ:  $1,85\text{ кПа}$ ;  $13,15\text{ кПа}$ ;  $14,5\text{ л}$ ]

2. В баллоне находилось некоторое количество газа при нормальных условиях. При открытом вентиле баллон был нагрет, после чего вентиль закрыли и газ остыл до температуры  $10^{\circ}\text{C}$ . При этом давление упало до  $0,7\text{ атм}$ . На сколько градусов нагрели баллон? Во сколько раз уменьшилась масса газа? [Ответ:  $131^{\circ}\text{C}$ ]

3. В закрытом сосуде находится ацетилен ( $\text{C}_2\text{H}_2$ ) массой  $3,6\text{ кг}$ . Плотность газа равна  $15\text{ кг/м}^3$ , давление  $1,25\text{ МПа}$ . Чему равны средняя квадратичная скорость молекул ацетилена и суммарная кинетическая энергия поступательного движения всех молекул? [Ответ:  $500\text{ м/с}$ ;  $450\text{ кДж}$ ]

4. При адиабатном сжатии некоторой массы двухатомного газа его температура увеличилась в два раза. Определить среднюю длину свободного пробега молекул в конце процесса, если вначале его она была равна  $10^{-7}\text{ м}$ . [Ответ:  $1,77 \cdot 10^{-8}\text{ м}$ ]

5. Найти коэффициент теплопроводности водорода, если известно, что коэффициент внутреннего трения в этих условиях равен  $8,6 \cdot 10^{-6}\text{ кг/м}\cdot\text{с}$ . [Ответ:  $0,09\text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ ]

6. В сосуде вместимостью 6 л находится при нормальных условиях двухатомный газ. Определить теплоемкость этого газа при постоянном объеме.

[Ответ: 5,5 Дж/(К·моль)]

7. При адиабатическом сжатии кислорода массой 1 кг совершена работа 100 кДж. Какова будет конечная температура газа, если до сжатия газ находился при температуре 27°C?

[Ответ: 454 K]

8. Кинетическая энергия вращательного движения молекул водорода, находящегося в баллоне объемом 2 л, равна 200 Дж, а средняя квадратичная скорость его молекул 600 м/с. Найти: количество газа в баллоне, давление, под которым находится газ.

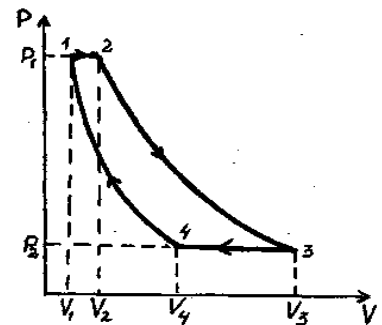
[Ответ: 1,66 г; 1 атм]

9. В закрытом сосуде объемом 2 л находится азот, плотность которого равна 1,4 кг/м<sup>3</sup>. Какое количество тепла надо сообщить азоту, чтобы нагреть его в этих условиях на 100°C?

[Ответ: 208 Дж]

10. На рисунке изображен цикл некоторой паросиловой установки, в которой участок 2-3 - изотерма, 4-1 - адиабата. Определить возможный КПД установки, если известно, что  $P_1=1$  МПа,  $P_2=0,2$  МПа,  $V_1=2,5$  л,  $T_2=1000$  К,  $\gamma=1,33$  и в процессе работы участвует один моль газа. Определить также возможный КПД цикла Карно.

[Ответ: 27,5%; 80%]



11. В дне стеклянного сосуда площадью 30 см<sup>2</sup> имеется круглое отверстие диаметром 0,5 мм. В сосуд налита ртуть, Какая масса останется в сосуде?

[Ответ: 1,22 кг]

## ВАРИАНТ 52

1. Баллон емкостью 50 л заполнен кислородом. Температура кислорода 20°C. Когда часть кислорода израсходовали, давление в баллоне упало на 2 атм. Определить массу израсходованного кислорода, если температура газа не меняется.

[Ответ: 0,132 кг]

2. Два сосуда, наполненные воздухом под давлением 800 и 600 кПа имеют объемы 3 и 4 л соответственно. Сосуды соединены трубкой, объемом которой можно пренебречь. Найти установившееся давление в сосудах, если температура воздуха в них была одинакова и после установления равновесия не изменилась.

[Ответ: 686 кПа]

3. При некоторых условиях средняя квадратичная скорость молекул кис-

лорода равна  $460 \text{ м/с}$ . Какова средняя кинетическая энергия поступательного движения молекулы? Вычислить среднюю кинетическую энергию поступательного движения всех молекул, содержащихся в  $1 \text{ г}$  газа.

[Ответ:  $1,12 \cdot 10^{-20} \text{ Дж}$ ;  $106 \text{ кДж}$ ]

4. Можно ли считать вакуум  $10^{-6} \text{ мм рт. ст.}$  высоким, если он создан в колбе диаметром  $50 \text{ см}$ , содержащей кислород при  $0^\circ\text{C}$ ?

[Ответ: вакуум высокий при  $\lambda \gg \ell$ ]

5. Найти коэффициент теплопроводности воздуха при температуре  $10^\circ\text{C}$  и давлении  $10^9 \text{ Па}$ . Диаметр молекулы воздуха принять равным  $3 \cdot 10^{-10} \text{ м}$ .

[Ответ:  $13,07 \cdot 10^{-3} \text{ Вт/(м·К)}$ ]

6. Определить удельную теплоемкость  $c_p$  смеси кислорода и азота, если количество вещества первого газа равно  $2 \text{ моля}$ , а количество вещества второго равно  $4 \text{ молям}$ .

[Ответ:  $990 \text{ Дж/(кг·К)}$ ]

7. При адиабатическом расширении кислорода с начальной температурой  $47^\circ\text{C}$  внутренняя энергия уменьшилась на  $8400 \text{ Дж}$ . Определить массу кислорода, если его объем при этом увеличился в  $10 \text{ раз}$ .

[Ответ:  $0,8 \text{ кг}$ ]

8. В закрытом сосуде находятся  $100 \text{ г}$  азота и  $200 \text{ г}$  кислорода при температуре  $27^\circ\text{C}$ . Найти изменение внутренней энергии смеси газов при ее охлаждении до  $-23^\circ\text{C}$ .

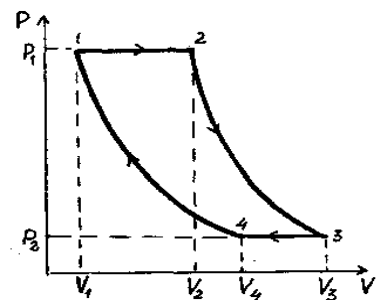
[Ответ:  $10,2 \text{ кДж}$ ]

9.  $7 \text{ г}$  углекислого газа было нагрето в условиях свободного расширения. Найти работу расширения газа и изменение его внутренней энергии.

[Ответ:  $13,2 \text{ Дж}$ ;  $39,6 \text{ Дж}$ ]

10. На рисунке изображен рабочий цикл некоторой условной тепловой машины, в которой участок 2-3 - адиабата, 4-1 - изотерма. Определить КПД цикла, если известно, что работает  $1 \text{ моль}$  одноатомного газа, а параметры точек цикла следующие:  $P_1=1 \text{ МПа}$ ,  $P_2=200 \text{ кПа}$ ,  $V_1=2,5 \text{ л}$ ,  $T_2=1000 \text{ К}$ . Определить также КПД цикла Карно с данными температурами.

[Ответ:  $40,2\%$ ;  $69\%$ ]



11. Между двумя горизонтальными плоскопараллельными стеклянными пластинами помещена ртуть массой  $5 \text{ г}$ . Когда на верхнюю пластину положили груз массой  $5 \text{ кг}$ , ртуть „сплюснулась“ до толщины  $0,087 \text{ мм}$ . Найти коэффициент поверхностного натяжения ртути. Смачивание не полное.

[Ответ:  $0,516 \text{ Н/м}$ ]

1. В одном баллоне объемом 100 л давление газа равно 9 МПа, температура 15°C, в другом объемом 80 л создано давление 7 МПа и температура 25°C. В обоих баллонах температуру довели до 10°C и их соединили. Какое давление установилось в баллонах? [Ответ: 7,87 МПа]

2. Температура в комнате была 10°C, а после того как комнату протопили, температура в ней поднялась до 20°C. Объем комнаты 50 м<sup>3</sup>, давление в ней постоянное и равно 730 мм рт. ст. На сколько изменилась масса воздуха, находящегося в комнате? Молярная масса воздуха равна 29·10<sup>-3</sup> кг/моль. [Ответ: 2,045 кг]

3. Какова температура идеального газа, находящегося под давлением 0,5 МПа, если в сосуде объемом 15 л содержится 1,8 · 10<sup>24</sup> молекул? Чему равна средняя кинетическая энергия поступательного движения всех молекул газа? [Ответ: 302 К; 11,25 кДж]

4. В сферическом сосуде объемом 2 л находится водород. При какой плотности водорода молекулы его не будут сталкиваться друг с другом? [Ответ 9,1 · 10<sup>-8</sup> кг/м<sup>3</sup>]

5. Построить график зависимости коэффициента теплопроводности водорода от температуры в интервале 100 К < T < 500 К через каждые 100 К.

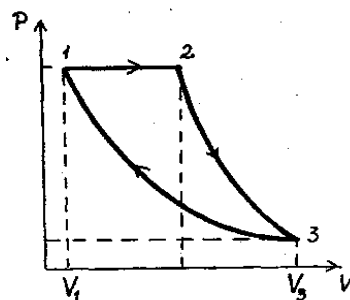
6. В баллоне находятся аргон и азот. Определить удельную теплоемкость смеси этих газов при постоянном объеме, если массовые доли аргона и азота одинаковы и равны 0,5. [Ответ: 526 Дж/(кг·К)]

7. Водород при нормальных условиях имел объем 100 м<sup>3</sup>. На сколько изменилась внутренняя энергия газа при адиабатическом процессе изменения его объема до 150 м<sup>3</sup>? [Ответ: -3,8 МДж]

8. При нормальных физических условиях 1,25 кг азота подвергается изотермическому сжатию. Вычислить работу, необходимую для сжатия азота, если в результате сжатия объем его уменьшился в три раза. [Ответ: 111 кДж]

9. В закрытом сосуде находится 14 г азота при давлении 100 кПа и температуре 27°C. После нагревания давление в сосуде повысилось в 5 раз. Найти до какой температуры нагрели газ, какой объем сосуда, какое количество тепла сообщено газу? [Ответ: 1500 К; 12,4 л; 12,45 кДж]

10. Рабочий цикл некоторой условной тепловой машины состоит из изобары 1-2, адиабаты 2-3 и изотермы 3-1. Определить КПД цикла, если число степеней свободы газа равно шести и в процессе работы участвует один моль газа. При этом известны следующие параметры:



$P_1=800 \text{ кПа}$ ,  $V_1=3 \text{ л}$ ,  $T_2=500 \text{ К}$ . Каков был бы КПД цикла Карно с этими же температурами?

[Ответ: 24,8%; 42,2%]

10. На какой глубине образуются пузырьки газа в воде, если при всплытии на поверхность их радиус увеличивается в 1,1 *раза*? На поверхности воды радиус пузырьков  $1,53 \cdot 10^{-3} \text{ мм}$ , атмосферное давление  $751 \text{ мм рт. ст.}$

[Ответ: 7,4]

#### ВАРИАНТ 54

1. Два сосуда одинаковой емкости содержат кислород. В первом из них давление  $10 \text{ атм}$ , во втором  $15 \text{ атм}$  и температуры  $393 \text{ К}$  и  $343 \text{ К}$  соответственно. Газ охладили в сосудах до температуры  $20^\circ\text{С}$  и соединили их между собой. Определить установившееся давление. [Ответ:  $10,137 \text{ атм}$ ]

2. Барометрическая трубка опущена открытым концом в сосуд с ртутью и при этом уровень ртути в трубке выше уровня ртути в сосуде на  $20 \text{ см}$ . На сколько нужно опустить вниз трубку, чтобы уровни ртути в сосуде и трубке сравнялись, если в начальном положении не погруженная часть трубки равна  $100 \text{ см}$ , а атмосферное давление  $100 \text{ кПа}$ . [Ответ:  $41 \text{ см}$ ]

3. Какова средняя квадратичная скорость молекул газа, имеющего плотность  $1,4 \text{ кг/м}^3$  при давлении  $200 \text{ кПа}$ ? Чему равна концентрация молекул газа при температуре  $27^\circ\text{С}$ ? [Ответ:  $654,6 \text{ м/с}$ ;  $4,83 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-3}$ ]

4. В сферическом сосуде диаметром  $0,4 \text{ м}$  находится азот при температуре  $20^\circ\text{С}$ . Под каким давлением должен находиться азот в сосуде, чтобы молекулы его не сталкивались друг с другом? [Ответ: меньше, чем  $2,535 \cdot 10^{-2} \text{ Па}$ ]

5. Построить график зависимости коэффициента теплопроводности азота от температуры в интервале  $100 \text{ К} < T < 500 \text{ К}$  через каждые  $100 \text{ К}$ .

6. Найти показатель адиабаты для смеси газов, содержащей гелий массой  $10 \text{ г}$  и водород массой  $4 \text{ г}$ . [Ответ: 1,51]

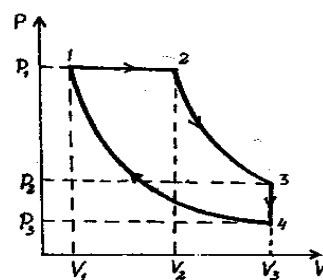
7. В баллоне объемом  $100 \text{ л}$  находится водород массой  $0,02 \text{ кг}$  при температуре  $27^\circ\text{С}$  и давлении  $250 \text{ кПа}$ . Водород, расширяясь адиабатически, увеличил свой объем в пять раз. Найти температуру в конце расширения. [Ответ:  $158 \text{ К}$ ]

8. В закрытом сосуде находятся  $200 \text{ г}$  азота и  $300 \text{ г}$  кислорода при температуре  $20^\circ\text{С}$ . Найти изменение внутренней энергии смеси газов при ее охлаждении до  $-30^\circ\text{С}$ . [Ответ:  $17160 \text{ Дж}$ ]

9.1 *кмоль* многоатомного газа нагревают на  $100^{\circ}\text{C}$  в условиях свободного расширения. Найти работу расширения, количество тепла, сообщенного газу и изменение внутренней энергии.

[Ответ: 832,5 кДж; 2,91 МДж; 2,08 МДж]

10. Определить КПД некоторой тепловой установки, работающей на идеальном трехатомном газе по диаграмме, состоящей из изобары 1-2, адиабаты 2-3, изохоры 3-4, изотермы 4-1, если известны следующие параметры состояний:  $P_1=12 \text{ атм}$ ,  $P_2=4,7 \text{ атм}$ ,  $V_3=15 \text{ л}$ ,  $V_1=3 \text{ л}$  и в рабочем процессе задействован один моль газа. Какой стал бы коэффициент цикла Карно с теми же температурами?



[Ответ: 23,4%; 59,6%]

11. Между двумя горизонтальными стеклянными пластинками лежит большая капля ртути. Под действием силы тяжести капля принимает форму лепешки радиусом 2,28 см и толщиной 0,38 см. Во сколько раз нужно увеличить нагрузку сверху, чтобы расстояние между пластинками уменьшилось в 10 раз? Краевой угол равен  $138^{\circ}\text{C}$ .

[Ответ: 1000]

### ВАРИАНТ 55

1. Полый эластичный спасательный буй диаметром 40 см находился в объекте на глубине 15 м, где температура равна  $10^{\circ}\text{C}$ . Выпущенный из объекта, он поднялся на поверхность моря, где температура воздуха  $25^{\circ}\text{C}$ . Каков станет диаметр буя и как изменится концентрация газа в нем? Давление атмосферы нормальное.

[Ответ: 42,1 см,  $n_1/n_2=22$ ]

2. Под каким давлением нужно наполнить воздухом баллон емкостью 10 л, чтобы при соединении его с баллоном емкостью 30 л, содержащий воздух при давлении 100 кПа, установилось общее давление 200 кПа?

[Ответ: 500 кПа]

3. В баллоне объемом  $0,001 \text{ м}^3$  находится азот под давлением 180 кПа. Температура в баллоне  $37^{\circ}\text{C}$ . Найти: 1) концентрацию молекул; 2) среднюю квадратичную скорость; 3) среднюю кинетическую энергию поступательного движения молекулы.

[Ответ:  $4,21 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-3}$ ; 526 м/с;  $6,4 \cdot 10^{-21} \text{ Дж}$ ]

4. Сколько столкновений в 1 с испытывают молекулы углекислого газа, находящегося при нормальных условиях, если диаметр молекулы равен  $3 \cdot 10^{-10} \text{ м}$ ?

[Ответ:  $3,83 \cdot 10^9 \text{ с}^{-1}$ ]

5. Построить график зависимости коэффициента теплопроводности гелия от температуры в интервале  $100 \text{ К} < T < 500 \text{ К}$ .

6. Смесь газов состоит из аргона и азота взятых при одинаковых условиях и одинаковых объемах. Определить показатель адиабаты такой смеси.

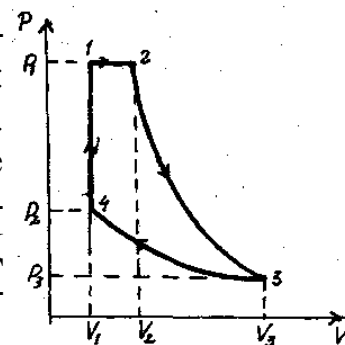
[Ответ: 1,5]

7. При адиабатическом сжатии кислорода массой 20 г его внутренняя энергия увеличилась на 8360 Дж, а температура повысилась до 643°С. Найти начальную температуру, конечное давление, если начальное давление равнялось 2 атм. [Ответ: 272 К; 138,4 атм]

8. 12 г азота находятся в закрытом сосуде объемом 2 л при температуре 10°С. После нагревания давление в сосуде стало равно  $10^4$  мм рт. ст. Какое количество тепла было сообщено газу при нагревании. [Ответ: 4,15 кДж]

9. В сосуде под поршнем находится 1 г азота. Какое количество тепла надо затратить, чтобы нагреть азот на 10°С? Насколько при этом поднимется поршень? Вес поршня 9,8 Н, площадь его поперечного сечения 10 см<sup>2</sup> и давление над поршнем равно 1 атм. [Ответ: 10,4 Дж; 2,8 см]

10. Тепловой двигатель работает циклично на одноатомном газе. Цикл состоит из следующих процессов: изохорного, изобарного, изотермного и адиабатного. Соответствующий цикл изображен на рисунке, где  $P_2=800$  кПа,  $P_1=1,2$  МПа,  $V_1=3$  л,  $P_3=100$  кПа. Вычислить КПД данной тепловой машины, а также КПД машины, работающей по циклу Карно с данными температурами. [Ответ: 44,663%]



11. Капиллярная стеклянная трубка с диаметром внутреннего канала 0,05 мм, длиной 20 см опускается в горизонтальном положении в ртуть так, что имевшийся в ней воздух полностью остается. Какова будет длина столбика воздуха в трубке, когда она будет опущена на глубину 10 см? Атмосферное давление равно 100 кПа, коэффициент поверхностного натяжения 0,5 Н/м, краевой угол 140°. [Ответ: 21,47 см]

## ВАРИАНТ 56

1. В баллоне емкостью 20 л находится аргон под давлением 8 атм и температуре 50°С. Когда из баллона было взято некоторое количество газа, давление в баллоне понизилось до 6 атм, а температура стала равна 30°С. Определить массу аргона, взятого из баллона. [Ответ: 47 г]

2. Сосуд емкостью 200 см<sup>3</sup> разделен пополам полупроницаемой перегородкой. В одну половину введено 2 мг водорода и 4 мг гелия. Через перегородку может диффундировать только гелий. Во время процесса поддерживается температура 27°С, Какие давления установятся в обеих частях сосуда? [Ответ: 0,25 атм; 0,25 атм]

3. Найти среднюю кинетическую энергию молекулы одноатомного газа при

давлении  $20 \text{ кПа}$ . Концентрация молекул при этом давлении равна  $3 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$ . Чему равна средняя кинетическая энергия всех молекул газа, если его объем равен  $5 \text{ л}$ ? [Ответ:  $10^{-21} \text{ Дж}$ ;  $150 \text{ Дж}$ ]

4. Средняя длина свободного пробега молекул гелия при нормальных условиях  $2,3 \cdot 10^{-7} \text{ м}$ . Найти среднюю продолжительность свободного пробега молекул гелия при давлении  $10^{-3} \text{ Па}$  и температуре  $17^\circ\text{C}$ . [Ответ:  $0,02 \text{ с}$ ]

5. В сосуде объемом  $2 \text{ л}$  находится  $4 \cdot 10^{22}$  молекул двухатомного газа. Коэффициент теплопроводности газа равен  $0,014 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ . Найти коэффициент диффузии газа при этих условиях. [Ответ:  $2 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$ ]

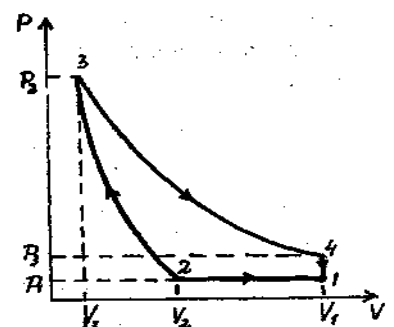
6. Найти показатель адиабаты смеси газов, содержащей кислород и аргон, если количество вещества того и другого газа в смеси одинаковы. [Ответ:  $1,5$ ]

7. Воздух, занимавший объем  $10 \text{ л}$  при давлении  $1 \text{ атм}$ , адиабатически сжимается до объема  $1 \text{ л}$ . Под каким давлением находится газ после сжатия? [Ответ:  $25,12 \text{ атм}$ ]

8.  $15 \text{ г}$  азота находятся в закрытом сосуде объемом  $3 \text{ л}$  при температуре  $17^\circ\text{C}$ . После нагревания давление в сосуде стало равно  $1,5 \cdot 10^4 \text{ мм рт. ст.}$ . Какое количество теплоты было сообщено газу при нагревании? [Ответ:  $11,73 \text{ кДж}$ ]

9.  $2 \text{ моля}$  газа изобарически нагревают от  $15$  до  $80^\circ\text{C}$  и при этом газ поглощает  $2,7 \text{ кДж}$  тепла. Найти приращение внутренней энергии и работу газа. [Ответ:  $1,62 \text{ кДж}$ ;  $1,08 \text{ кДж}$ ]

10. Тепловой двигатель работает по замкнутому циклу, состоящему из изобарного, изотермного, изохорного и адиабатного процессов, как это изображено на приведенном рисунке. Рабочее тело - трехатомный идеальный газ. Известны следующие параметры состояний:  $V_1=8 \text{ л}$ ,  $V_2=4 \text{ л}$ ,  $V_3=1,6 \text{ л}$ . Вычислить КПД данного двигателя, а также максимальное его значение по циклу Карно, взяв за температуры нагревателя и холодильника данные температуры. [Ответ:  $4,7\%$ ;  $26,3\%$ ]



11. Стеклокапиллярная трубка с внутренним диаметром  $0,2 \text{ мм}$  и длиной  $20 \text{ см}$  опускается в вертикальном положении в воду. Верхний конец трубки запаян; Какой отрезок должен находиться под водой, чтобы уровень воды в капилляре и вне его был одинаков? Давление атмосферы равно  $750 \text{ мм рт. ст.}$ . [Ответ:  $2,8 \text{ мм}$ ]



### ВАРИАНТ 57

1. В сосуде находится смесь, состоящая из гелия и кислорода под давлением  $9 \text{ МПа}$ . Каковы парциальные давления газов, если массовая доля гелия равна 20%. [Ответ:  $6 \text{ МПа}$ ;  $3 \text{ МПа}$ ]

2. Из баллона со сжатым водородом емкостью  $10 \text{ л}$  вследствие неисправности вентиля вытекает газ. При температуре  $7^\circ\text{C}$  манометр показывает давление  $50 \text{ атм}$ . Через некоторое время при температуре  $17^\circ\text{C}$  манометр показывает такое же давление. Какая масса газа вытекла из баллона? [Ответ:  $1,5 \text{ г}$ ]

3. Плотность гелия равна  $0,15 \text{ кг/м}^3$ , средняя кинетическая энергия одной молекулы равна  $6,65 \cdot 10^{-21} \text{ Дж}$ . Чему равно давление газа? [Ответ:  $1 \text{ МПа}$ ]

4. Во сколько раз наиболее вероятная скорость молекул кислорода больше наиболее вероятной скорости пылинки массой  $10^{-8} \text{ г}$ , находящейся среди молекул кислорода? [Ответ:  $1,37 \cdot 10^7$ ]

5. Расстояние между стенками дьюаровского сосуда равно  $8 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ . При каком давлении теплопроводность воздуха, находящегося между стенками, начнет уменьшаться при откачке? Температура воздуха равна  $17^\circ\text{C}$ , эффективный диаметр молекулы  $3 \cdot 10^{-10} \text{ м}$ . [Ответ:  $1,26 \text{ Па}$ ]

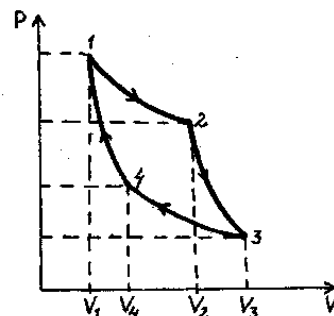
6. Степень диссоциации газообразного водорода равна 0,6. (Степенью диссоциации называют отношение числа молекул, распавшихся на атомы, к общему числу молекул газа.) Найти удельную теплоемкость такого частично диссоциировавшего водорода. [Ответ:  $11,26 \cdot 10^3 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{K)}$ ]

7. Горючая смесь в цилиндре двигателя дизеля воспламеняется при температуре  $800^\circ\text{C}$ . Начальная температура смеси  $70^\circ\text{C}$ . Во сколько раз нужно уменьшить объем смеси при сжатии, чтобы она воспламенилась? Считать процесс адиабатным. Принять для смеси отношение  $C_p/C_v=1,4$ . [Ответ:  $17,3 \text{ раза}$ ]

8. 4 моля углекислого газа нагреваются при постоянном давлении на  $0^\circ\text{C}$ . Найти изменение его внутренней энергии, работу расширения, количество тепла, сообщенного газу. [Ответ:  $7,88 \text{ кДж}$ ;  $2,66 \text{ кДж}$ ;  $10,64 \text{ кДж}$ ]

9. При изотермическом расширении  $3 \text{ м}^3$  газа давление его меняется от 4 до 2 атм. Найти совершенную при этом работу. [Ответ:  $830 \text{ кДж}$ ]

10. Один моль одноатомного газа в тепловой машине Карно совершает цикл; температура нагревателя  $27^\circ\text{C}$ , холодильника  $27^\circ\text{C}$ . Наименьший объем газа в ходе цикла 5 л, наибольший - 20 л. Какую совершает эта машина за один цикл? Сколько тепла она получает от нагревателя и сколько тепла она отдает холодильнику?



Каков КПД цикла?

[Ответ: 1000 Дж; 4000 Дж; 3000 Дж; 25 %]

11. На участок земли площадью  $10 \text{ км}^2$  за 30 мин выпало 20 мм осадков. Диаметр упавших на землю капель 4 мм, диаметр капель в туче 0,005 мм. Какова общая энергия, выделившаяся при слиянии капель?  
[Ответ:  $4,75 \cdot 10^{10} \text{ Дж}$ ]

### ВАРИАНТ 58

1. Сосуд емкостью 10 л содержит азот массой 7 г и водород массой 1 г при температуре  $7^\circ\text{C}$ . Определить давление смеси газов. [Ответ: 174 кПа]

2. Какое давление установится в резервуаре пневматического тормоза после 250 качаний насоса? Объем резервуара равен 30 л, а насос за одно качание подает  $600 \text{ см}^3$  воздуха при нормальном атмосферном давлении. Изменением температуры пренебречь. [Ответ: 606 кПа]

3. Средняя кинетическая энергия поступательного движения молекул водорода в солнечной фотосфере (внешней оболочке Солнца) равна  $1,2 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$ , давление равно примерно 125 Па. Чему равны концентрация и температура атомов водорода в фотосфере? [Ответ: 5800 К;  $1,610^{21} \text{ м}^{-3}$ ]

4. Определить среднюю арифметическую скорость молекул газа, если их средняя квадратичная скорость равна 1000 м/с. [Ответ: 920 м/с]

5. Углекислый газ и азот находятся при одинаковой температуре и давлении. Найти для этих газов отношение коэффициентов внутреннего трения. Диаметры молекул считать одинаковыми. [Ответ: 1,25]

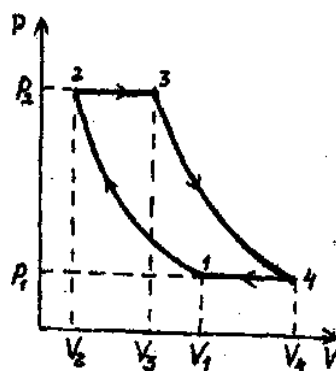
6. Вычислить отношение  $C_p/C_v$  для смеси из трех молей аргона и пяти молей кислорода. [Ответ: 1,486]

7. 2 кмоль азота, находящегося при нормальных условиях, расширяются адиабатно от объема  $V$  до объема  $3V$ . Найти изменение внутренней энергии и работу. Совершенную газом при расширении. [Ответ: - 4 МДж; 4 МДж]

8. 15 г кислорода находятся под давлением 4,5 атм и при температуре  $20^\circ\text{C}$ . После нагревания при постоянном давлении газ занял объем в 15 л. Найти энергию теплового движения молекул газа до и после нагревания и количество тепла, полученного газом. [Ответ: 2,85 кДж; 16,875 кДж; 19,63 кДж]

9. Газ, занимающий объем 7 л и находящийся под давлением 3 атм и при температуре  $20^\circ\text{C}$  был нагрет и расширялся изобарически. Работа расширения газа при этом равна 104,5 Дж. Насколько нагрели газ?  
[Ответ:  $34,4^\circ\text{C}$ ]

10. На рисунке изображена диаграмма рабочего цикла некоторой тепловой машины, в котором участки 2-1 и 4-3 - изотермные. Вычислить КПД цикла данной тепловой машины если рабочим веществом является двухатомный идеальный газ. Известны следующие параметры цикла:  $P_1=3 \text{ атм}$ ,  $P_2=5 \text{ атм}$ ,  $V_2=8 \text{ л}$ ,  $V_4=30 \text{ л}$ . Во сколько раз работа цикла Карно с температурами



[Ответ: 4,8]

11. Будет ли плавать на поверхности воды натертая жиром платиновая проволочка диаметром 1 мм?

[Ответ: *нет*, т.к. диаметр должен быть не более 0,914 мм]

### ВАРИАНТ 59

1. Имеются два баллона емкостями 7,5 и 12 л, в которых находится углекислый газ. В первом баллоне температура  $12^\circ\text{C}$ , во втором  $30^\circ\text{C}$  и при этом плотности газа равны  $2,5 \text{ кг/м}^3$  и  $1,2 \text{ кг/м}^3$  соответственно. После того как первый баллон нагрели до  $303 \text{ К}$ , их соединили вместе. Какое давление установится в баллонах?

[Ответ:  $97,28 \text{ кПа}$ ]

2. В комнате объемом  $50 \text{ м}^3$  затопили печь и температура поднялась с  $11$  до  $23^\circ\text{C}$ . Давление воздуха не изменилось и осталось равным  $1 \text{ атм}$ . Какая масса воздуха ушла при этом из комнаты? Какую работу совершил при расширении воздух, оставшийся в комнате?

[Ответ:  $3,277 \text{ кг}$ ;  $281,5 \text{ кДж}$ ]

3. Определить давление паров ртути, содержащихся в воздухе помещения, зараженном ртутью, при температуре  $20^\circ\text{C}$  и концентрации молекул ртути  $3,3 \cdot 10^{24} \text{ м}^{-3}$ . Чему равна кинетическая энергия молекул ртути? Найти объем помещения, если общее число молекул ртути равно  $1,55 \cdot 10^{26}$ .

[Ответ:  $13,34 \text{ кПа}$ ;  $940 \text{ кДж}$ ;  $47 \text{ м}^3$ ]

4. Найти среднюю арифметическую и наиболее вероятную скорости молекул газа, плотность которого при давлении  $300 \text{ мм рт. ст.}$  равна  $0,3 \text{ г/л}$ .

[Ответ:  $582 \text{ м/с}$ ;  $515 \text{ м/с}$ ]

5. Какое количество тепла теряется ежедневно через окно за счет теплопроводности воздуха заключенного между рамами? Площадь каждой рамы  $4 \text{ м}^2$ , расстояние между рамами  $30 \text{ см}$ , температура помещения  $18^\circ\text{C}$ , температура наружного воздуха  $-20^\circ\text{C}$ . Диаметр молекулы воздуха  $3 \cdot 10^{-10} \text{ м}$ . Температура между рамами равна среднему арифметическому температур помещения и наружного воздуха.

[Ответ:  $23,46 \text{ кДж}$ ]

6. При температуре  $207^{\circ}\text{C}$   $2,5 \text{ кг}$  некоторого газа занимают объем  $0,8 \text{ м}^3$ . Определить давление газа, если удельная теплоемкость газа при постоянном давлении равна  $519 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{K})$  и показатель адиабаты  $1,67$ . [Ответ:  $3,13 \cdot 10^5 \text{ Па}$ ]

7. При адиабатном сжатии газа его объем уменьшился в  $10 \text{ раз}$ , а давление увеличилось в  $21,4 \text{ раза}$ . Найти отношение  $C_p/C_v$  для данного газа.

[Ответ:  $1,33$ ]

8. При изотермическом расширении  $8 \text{ г}$  азота, находящегося при температуре  $27^{\circ}\text{C}$ , была совершена работа, равная  $900 \text{ Дж}$ . Во сколько раз изменилось давление азота при расширении? [Ответ:  $0,28$ ]

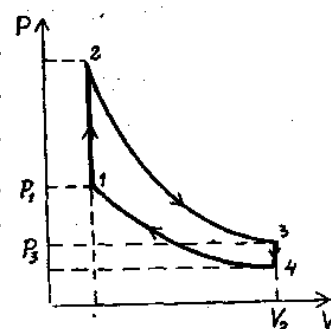
9.  $10 \text{ г}$  углекислого газа было нагрето в условиях свободного расширения на  $17^{\circ}\text{C}$ . Найти работу расширения газа и изменение его внутренней энергии.

[Ответ:  $32,2 \text{ Дж}$ ;  $96,2 \text{ Дж}$ ]

10. Какую силу надо приложить, чтобы оторвать (без сдвига) две смоченные пластинки размером  $9 \times 12 \text{ см}^2$ ? Толщина водяной прослойки  $0,05 \text{ мм}$ . Смачивание полное, коэффициент поверхностного натяжения равен  $0,075 \text{ Н/м}$ . [Ответ:  $31,5 \text{ Н}$ ]

11. Найти КПД цикла тепловой машины, в которой имеются два изотермных и два изохорных процесса и в работе задействован один моль одноатомного газа. Известны следующие параметры:  $P_1=6 \text{ атм}$ ,  $P_3=4 \text{ атм}$ ,  $P_4=2 \text{ атм}$ ,  $V_2=12 \text{ л}$ . Вычислить КПД цикла и КПД цикла Карно с данными температурами.

[Ответ:  $29,6\%$ ,  $50\%$ ]



### ВАРИАНТ 60

1. Баллон емкостью  $15 \text{ л}$  содержит смесь водорода и азота при температуре  $300 \text{ К}$  и давлении  $12,3 \text{ атм}$ . Масса смеси  $145 \text{ г}$ . Определить массу водорода и массу азота. [Ответ:  $4 \text{ г}$ ;  $141 \text{ г}$ ]

2. Бутылка, наполненная газом, плотно закрыта пробкой площадью  $2,5 \text{ см}^2$ . До какой температуры надо нагреть газ, чтобы пробка вылетела из бутылки если сила трения, удерживающая пробку  $12 \text{ Н}$ ? Первоначальное давление воздуха в бутылке и наружное давления одинаковы и равны  $100 \text{ кПа}$ , а начальная температура равна  $-3^{\circ}\text{C}$ . [Ответ:  $127^{\circ}\text{C}$ ]

3. Концентрация молекул воздуха в колбе радиолампы равна  $3,2 \cdot 10^{15} \text{ м}^{-3}$ , а средняя кинетическая энергия поступательного движения молекулы воздуха соответственно равна  $5,79 \cdot 10^{-21} \text{ Дж}$ . Чему равны давление и температура газа внутри колбы радиолампы? [Ответ:  $1,24 \cdot 10^{-5} \text{ Па}$ ;  $280 \text{ К}$ ]

4. При какой температуре средняя квадратичная скорость молекул азота больше ее наиболее вероятной скорости на  $50 \text{ м/с}$ ? [Ответ:  $84,3 \text{ К}$ ]

5. Найти зависимость коэффициента теплопроводности от давления при изохорном процессе. Изобразить эту зависимость на графике.

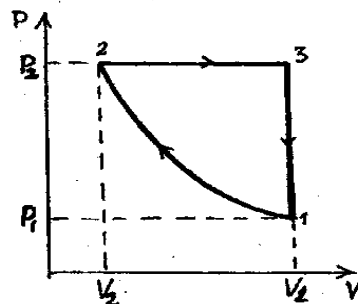
6. Некоторый газ при давлении  $1 \text{ МПа}$  и температуре  $127^\circ\text{С}$  имеет удельный объем  $0,104 \text{ м}^3/\text{кг}$ . Определить отношение  $C_p/C_v$  газа, если удельная теплоемкость при постоянном давлении равна  $910 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$ . Какой это газ? [Ответ:  $1,4$ ]

7. Из баллона, содержащего водород под давлением  $10 \text{ атм}$  при температуре  $18^\circ\text{С}$ , выпустили половину находящегося в нем газа. Определить конечную температуру и давление, считая процесс адиабатным. [Ответ:  $238,7 \text{ К}$ ;  $5 \text{ МПа}$ ]

8. В сосуде под поршнем находятся  $2 \text{ г}$  азота. Какое количество тепла надо затратить, чтобы нагреть газ на  $15^\circ\text{С}$ ? На сколько при этом поднимется поршень? Вес поршня  $9,8 \text{ Н}$ , площадь его поперечного сечения  $10,5 \text{ см}^2$ . Давление над поршнем равно  $1,5 \text{ атм}$ . [Ответ:  $31 \text{ Дж}$ ;  $5,3 \text{ см}$ ]

9.  $2 \text{ г}$  гелия, находящегося при нормальных условиях, изотермически расширяются до объема  $12,8 \text{ л}$ . Найти работу, совершенную газом при расширении, количество сообщенного газу тепла. [Ответ:  $141 \text{ Дж}$ ;  $141 \text{ Дж}$ ]

10. На рисунке изображена диаграмма работы некоторой тепловой машины, работающей на двухатомном газе. Участок 1-2 - адиабатный. Известно, что  $P_2=10 \text{ атм}$ ,  $V_2=5 \text{ л}$ ,  $V_1=10 \text{ л}$ ,  $T_3=900 \text{ К}$ . Найти КПД данной тепловой машины. Во сколько раз КПД цикла Карно с температурами  $T_3$  и  $T_1$  будет больше КПД цикла данной тепловой машины? [Ответ:  $39,5\%$ ,  $n=1,57$ ]



11. Какую работу необходимо совершить, чтобы разбить сферическую каплю ртути радиусом  $1 \text{ мм}$  на две одинаковые капельки? [Ответ:  $1,52 \cdot 10^{-6} \text{ Дж}$ ]

**Составители:**

С.В. Викулов,  
И.М. Дзю,  
А.П. Минаев

**МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА И  
ТЕРМОДИНАМИКА**

**СБОРНИК  
ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ЗАДАНИЙ ПО ФИЗИКЕ**

Редактор Т.К. Коробкова  
Компьютерная верстка Н.С. Пияр

Подписано к печати 4 мая 2016 г. Формат 60х84/16.  
Объем 3,6 уч.-изд.л., 5,6. Тираж 100экз.  
155. Заказ № 1020

---

Отпечатано в Издательстве  
Новосибирского государственного университета  
630039, Новосибирск, ул. Добролюбова, 160, каб.106.  
Тел. (383) 267-09-10. E-mail: 2134539@mail.ru