

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
«Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники»

Факультет доуниверситетской подготовки
и профессиональной ориентации

Г. Ф. Смирнова

МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА И ТЕРМОДИНАМИКА

Методическое пособие по физике
для абитуриентов

Минск БГУИР 2011

УДК 539.1(076)+536.7(076)
ББК 22я729+22.317я729
С50

Рецензент:
кандидат физико-математических наук, доцент
Т. И. Стрелкова

Смирнова, Г. Ф.
С50 Молекулярная физика и термодинамика : метод. пособие по физике
для абитуриентов / Г. Ф. Смирнова. – Минск : БГУИР, 2011. – 30 с. : ил.
ISBN 978-985-488-633-6.

Рассмотрены основные понятия и законы молекулярной физики и термодинамики. Даны методические указания к решению задач. Предложены задачи для самостоятельного решения.

УДК 539.1(076)+536.7(076)
ББК 22я729+22.317я729

ISBN 978-985-488-633-6

© Смирнова Г. Ф., 2011
© УО «Белорусский государственный
университет информатики
и радиоэлектроники», 2011

ВВЕДЕНИЕ

Молекулярная физика изучает с помощью статистических методов свойства макроскопических тел на основе их молекулярного строения, т. е. истолковывая их как суммарный усредненный результат действия отдельных молекул.

Термодинамика изучает свойства макроскопических тел и протекающих в них процессы, не затрагивая микроскопическую природу тел.

1. МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА

1.1. Молекулярно-кинетическая теория (МКТ) строения вещества

Основные положения МКТ

- все вещества состоят из молекул;
- молекулы взаимодействуют между собой с силами притяжения и отталкивания;
- молекулы находятся в непрерывном хаотическом тепловом движении.

В зависимости от взаимодействия между молекулами вещества могут находиться в твердом, жидком или газообразном состоянии.

В твердом состоянии вещества сохраняют свою форму и объем в результате сильного взаимодействия между молекулами. В жидком состоянии вещества сохраняют объем, но не сохраняют форму. В газообразном состоянии вещества заполняют весь предоставленный им объем. Газообразное состояние самое простое, так как молекулы вещества практически не взаимодействуют между собой. Силы отталкивания проявляются только при приближении молекул друг к другу, в результате изменяется направление движения молекул, что рассматривается как соударение молекул между собой.

Основные понятия МКТ

Молекула – наименьшая частица вещества, сохраняющая все его химические свойства (молекулы состоят из атомов).

Относительная атомная масса (A) – безразмерная величина, равная отношению массы атома (m_0) к $1/12$ массы углерода C^{12} (m_c).

$$A = \frac{m_0}{1/12 m_c}. \quad (1)$$

Количество вещества системы (ν) – физическая величина, определяемая числом структурных элементов (молекул, атомов, ионов и др.) N . Единицей измерения количества вещества является моль.

Один моль любого вещества содержит одно и то же количество структурных элементов, равное числу Авогадро N_A .

$$\nu = \frac{N}{N_A}. \quad (2)$$

Число Авогадро – число атомов, содержащихся в 12 г углерода C_{12}

$$N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}.$$

Молярная масса (M) – масса моля вещества

$$M = m_0 N_A = \frac{m}{\nu}, \quad (\nu = \frac{m}{M}), \quad (3)$$

где m – масса вещества .

Среднеквадратичная скорость молекулы ($\langle v_{\text{кв}} \rangle$)

$$\langle v_{\text{кв}} \rangle = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}} = \sqrt{\frac{3RT}{M}}, \quad (4)$$

где $k = 1,38 \cdot 10^{-12} \frac{\text{Дж}}{\text{К}}$ (постоянная Больцмана), $R = 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{К} \cdot \text{моль}}$ (универсальная газовая постоянная), T – абсолютная температура (шкала Кельвина),

$T = t + 273,15$, где t – температура по шкале Цельсия.

Основное уравнение МКТ идеального газа

Идеальный газ – модель, в которой молекулы газа рассматриваются как материальные точки, взаимодействием между которыми можно пренебречь.

$$p = \frac{2}{3} n \frac{m_0 \langle v_{\text{кв}} \rangle^2}{2}, \quad (5)$$

где p – давление (импульс, передаваемый единице площади поверхности за единицу времени), n – концентрация молекул (число молекул в единице объема).

$$p = \frac{1}{3} \rho \cdot \langle v_{\text{кв}} \rangle^2, \quad (6)$$

где $\rho = m_0 n$ – плотность вещества.

$$p = \frac{2}{3} n \langle \varepsilon \rangle, \quad (7)$$

где $\langle \varepsilon \rangle = \frac{m_0 \langle v_{\text{кв}} \rangle^2}{2}$ – средняя кинетическая энергия молекулы.

В соответствии с законом равнораспределения энергии $\langle \varepsilon \rangle = \frac{3}{2} kT$, следовательно,

$$p = nkT. \quad (8)$$

1.2. Основные газовые законы. Уравнение состояния идеального газа (уравнение Менделеева – Клапейрона)

Газовые законы описывают процессы, происходящие в термодинамической системе. Термодинамической системой называется совокупность макроскопических тел, которые могут обмениваться энергией между собой и внешней средой.

Состояние термодинамической системы описывается физическими величинами p (давление), V (объем), T (температура). Эти величины называются параметрами состояния. Переход системы из одного состояния в другое называется процессом. Процесс, состоящий из последовательности равновесных состояний называется, равновесным. Все равновесные процессы обратимы.

Уравнение Менделеева – Клапейрона связывает параметры состояния термодинамической системы

$$pV = \frac{m}{M}RT \quad (9)$$

или

$$pV = \nu RT. \quad (10)$$

Для данной массы вещества ($m = \text{const}$)

$$\frac{pV}{T} = \text{const}. \quad (11)$$

1.2.1. Изотермический процесс

Изотермический процесс – процесс, протекающий при постоянной температуре ($T = \text{const}$). Если масса идеального газа в процессе не меняется ($m = \text{const}$), то выполняется закон Бойля – Мариотта:

$$pV = \text{const}. \quad (12)$$

Графическое представление изотермического процесса в различных координатах дано на рис.1.

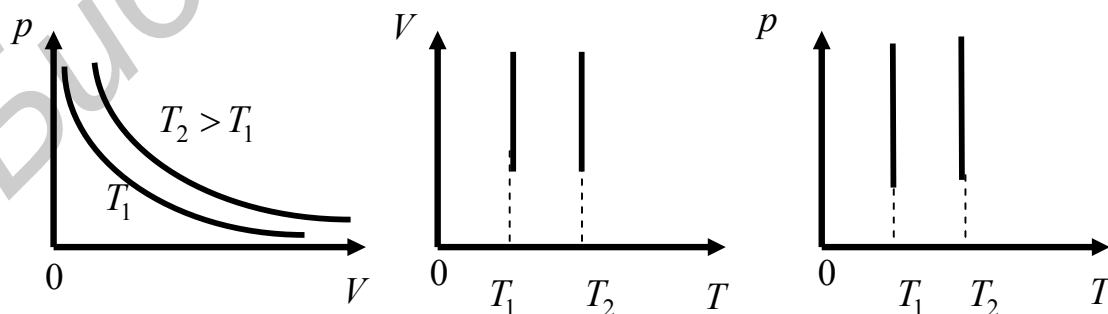


Рис. 1

1.2.2. Изобарический (изобарный) процесс

Изобарический процесс – процесс, протекающий при постоянном давлении ($p = \text{const}$). Если масса газа в процессе не меняется ($m = \text{const}$), то

$$\frac{V}{T} = \text{const}. \quad (13)$$

Для изобарического процесса при условии $m = \text{const}$ выполняется закон Гей – Люссака:

$$V = V_0(1 + \alpha t) = V_0 \alpha T,$$

где V_0 – объем газа при 0°C , $\alpha = \frac{1}{273} \text{K}^{-1}$ – коэффициент объемного расширения.

Графическое представление изобарического процесса в различных координатах дано на рис. 2

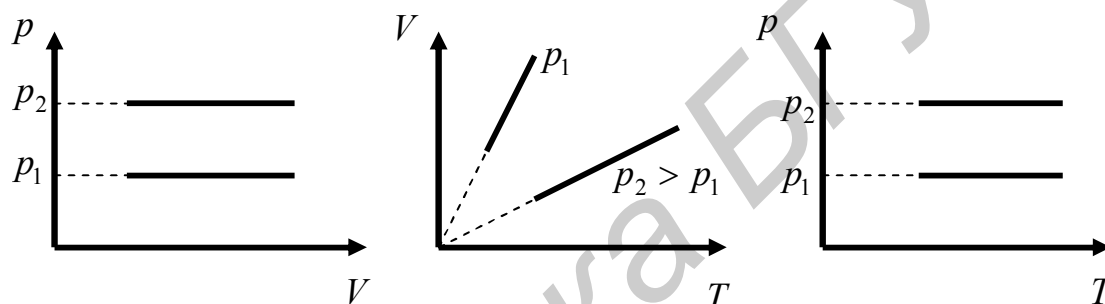


Рис. 2

1.2.3. Изохорический (изохорный) процесс

Изохорический процесс – процесс, протекающий при постоянном объеме ($V = \text{const}$). Если масса газа в процессе не меняется ($m = \text{const}$), то

$$\frac{p}{V} = \text{const}. \quad (14)$$

Для изохорического процесса при условии $m = \text{const}$ выполняется закон Шарля:

$$p = p_0(1 + \alpha_p t) = p_0 \alpha_p T, \quad (15)$$

где p_0 – давление газа при 0°C , $\alpha_p = \frac{1}{273} \text{K}^{-1}$ – температурный коэффициент давления.

Графическое представление изохорического процесса в различных координатах дано на рис. 3.

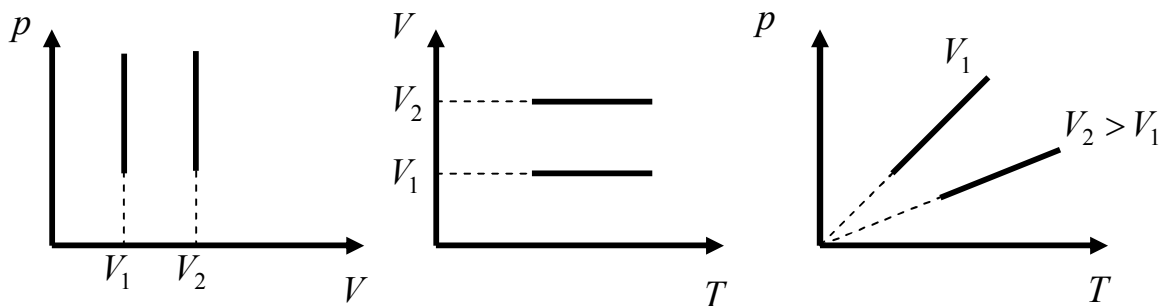


Рис. 3

1.2.4. Закон Дальтона

Давление смеси идеальных газов равно сумме парциальных давлений этих газов:

$$p = p_{iп} + p_{2п} + \dots + p_{nп}, \quad (16)$$

где $p_{iп}$ – парциальное давление газа.

Парциальное давление – это давление, которое оказывал бы газ, если бы один занимал весь предоставленный ему объем.

1.3. Насыщенные и ненасыщенные пары

Основные понятия

Пар – совокупность молекул, вылетевших из жидкости при парообразовании.

Парообразование – переход вещества из жидкого состояния в газообразное.

Насыщенный пар – пар, находящийся в динамическом равновесии со своей жидкостью. Состояние насыщенного пара описывается только уравнением Менделеева – Клапейрона. Ненасыщенные пары подчиняются всем газовым законам.

Влажность – величина, характеризующая содержание водяных паров в атмосфере.

Абсолютная влажность (ρ) – масса водяного пара в 1 м^3 воздуха при данной температуре.

Относительная влажность (φ) – отношение абсолютной влажности к плотности насыщенного пара при данной температуре

$$\varphi = \frac{\rho}{\rho_{н.п}} \cdot 100 \%. \quad (17)$$

Относительная влажность может быть рассчитана через давление и массу газа:

$$\varphi = \frac{p}{p_{н.п}} \cdot 100 \% = \frac{m}{m_{н.п}} \cdot 100 \%, \quad (18)$$

где p, m – давление и масса газа соответственно, а $p_{н.п}, m_{н.п}$ – давление и масса насыщенного пара соответственно.

Точка росы – температура, при которой пар становится насыщенным.

Влажный воздух – смесь сухого воздуха и водяного пара.

Закон Дальтона для влажного воздуха

$$p = p_0 + p_{\text{п}}, \quad (19)$$

где $p, p_0, p_{\text{п}}$ – давления влажного воздуха, сухого воздуха и водяного пара соответственно.

Давление насыщенных паров при данной температуре максимально.

При температуре 100°C давление насыщенного пара равно 1 атм.

1.4. Методические указания к решению задач

А. Изопроцессы, происходящие без изменения массы идеального газа:

- проанализировать условие задачи и выяснить, какой процесс происходит с идеальным газом;
- зафиксировать начальное состояние газа и описать его параметрами p_0, V_0, T_0 ;
- зафиксировать конечное состояние газа и описать его параметрами p, V, T ;
- записать закон, описывающий данный процесс, связав параметры начального и конечного состояний;
- при необходимости перехода от одних параметров к другим воспользоваться уравнением Менделеева – Клапейрона;
- решить полученное уравнение относительно искомой величины.

Б. Изопроцессы, происходящие с изменением массы газа:

- описать с помощью параметров состояние для начальной массы газа. Записать уравнение Менделеева – Клапейрона;
- описать с помощью параметров состояние для конечной массы газа. Записать уравнение Менделеева – Клапейрона;
- решить систему относительно искомой величины.

В. Изопроцессы, происходящие в сосуде с перегородкой:

- рассмотреть состояния газов с каждой стороны перегородки в отдельности;
- учесть, что если перегородка невесомая и не удерживается в каком-либо фиксированном положении, то давление газа в одной части сосуда равно давлению газа в другой части сосуда.

Г. Смесь газов:

- при определении давления смеси газов возможно использование одного из уравнений:

а) $p = p_{1\text{п}} + p_{2\text{п}} + \dots$ (давление смеси равно сумме парциальных давлений газов) ;

б) $m = m_1 + m_2 + \dots$ (масса смеси равна сумме масс отдельных газов);

в) $\nu = \nu_1 + \nu_2 + \dots$ (количество вещества смеси равно сумме количеств веществ каждого газа в отдельности).

Д. Влажность. Пары:

- решение задач в случае ненасыщенных паров не отличается от решения задач в случае идеального газа;
- при решении задач на насыщенные пары необходимо учитывать особенности, описанные в подразд. 3.1.

1.5. Примеры решения задач

Задача 1. В озеро глубиной $h = 20$ м и площадью $S = 100$ км² бросили кристаллик соли массой $m = 0,01$ г. Соль, растворившись, равномерно распределилась в озере. Сколько молекул соли N_1 находится в $V_1 = 1$ мм³ воды? Молярная масса соли равна $M = 40$ г/моль.

<p>Дано: $h = 20$ м $S = 100$ км² = 10^8 м² $m = 0,01$ г = 10^{-5} кг $V_1 = 1$ мм³ = 10^{-9} м³ $M = 40$ г/моль = $0,040$ кг/моль</p>	<p>Решение Находим число молекул в кристаллике соли: $N = N_A \cdot \frac{m}{M}$ Определяем концентрацию молекул соли в озере: $n = \frac{N}{V} = \frac{N_A \cdot m}{M \cdot V} = \frac{N_A \cdot m}{M \cdot S \cdot h}$</p>
<p>Найти N_1</p>	<p>Зная концентрацию, находим число молекул в объеме V_1: $N_1 = n \cdot V_1 = \frac{N_A \cdot m \cdot V_1}{M \cdot S \cdot h} = 75.$ Ответ: $N_1 = 75.$</p>

Задача 2. Определить разность температур начального и конечного состояний газа, если сначала объем газа изобарически увеличили в 2 раза, а затем изохорически уменьшили в 2 раза его давление. Температура начального состояния равна 300 К.

<p>Дано $p = \text{const}$ $V_2 = 2V_1$ $V = \text{const}$ $p_2 = \frac{p_1}{2}$ $T_1 = 300 \text{ К}$</p>	<p>Решение Газ участвует в двух разных процессах. Рассмотрим каждый процесс в отдельности. Обозначим параметры начального состояния газа при изобарическом процессе как p_1, V_1, T_1. Для конечного состояния в этом процессе параметры состояния будут $p_1, 2V_1, T$.</p>
<p>Найти $(T_1 - T_2)$</p>	<p>Так как процесс изобарический, то $\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T}$. Далее $\frac{V_1}{2V_1} = \frac{T_1}{T}$, отсюда следует, что $T = 2T_1$.</p> <p>Перейдем к рассмотрению изохорического процесса. В начале этого процесса газ имеет параметры состояния p_1, V_2, T. Причем $V_2 = 2V_1; T = 2T_1$. Конечное состояние изохорического процесса будет характеризоваться параметрами p_2, V_2, T_2. По условию задачи $p_2 = \frac{p_1}{2}$.</p> <p>Так как процесс изохорический, то $\frac{p_1}{p_2} = \frac{T_1}{T_2}$. Далее $\frac{2p_1}{p_1} = \frac{2T_1}{T_2}$, отсюда $T_2 = T_1 = 300 \text{ К}$. Следовательно, $(T_1 - T_2) = 0$.</p> <p>Ответ: $(T_1 - T_2) = 0$.</p>

Задача 3. В баллоне находится идеальный газ при температуре $T_1 = 300 \text{ К}$ и давлении $p_1 = 400 \text{ кПа}$. Затем 60 % содержащегося в баллоне газа выпустили, а температуру понизили до $T_2 = 240 \text{ К}$. Определить в килопаскалях давление p_2 оставшегося в баллоне газа.

<p>Дано $T_1 = 300 \text{ К}$ $p_1 = 400 \text{ кПа}$ $T_2 = 240 \text{ К}$ $m_2 = m_1 - 0,6m_1 = 0,4m_1$</p>	<p>Решение В процессе меняется масса газа, поэтому параметры состояния могут быть связаны только уравнением Менделеева – Клапейрона. Опишем начальное состояние, в котором масса газа равна m_1, с помощью параметров p_1, V, T_1. Для этого состояния</p>
<p>Найти p_2</p>	$p_1 \cdot V = \frac{m_1}{M} RT_1. \quad (1)$ <p>Конечное состояние газа с массой m_2 описывается параметрами p_2, V, T_2. V – объем сосуда, поэтому $V_1 = V_2 = V$.</p>

	<p>Уравнение Менделеева – Клапейрона для конечного состояния</p> $p_2 \cdot V = \frac{m_2}{M} RT_2. \quad (2)$ <p>Разделим уравнение (2) на уравнение (1), чтобы исключить неизвестные параметры.</p> $\frac{p_2}{p_1} = \frac{m_2 T_2}{m_1 T_1}. \text{ Подставим данные задачи:}$ $\frac{p_2}{p_1} = \frac{0,4 m_1 \cdot 240}{m_1 \cdot 300} = 0,32.$ $p_2 = 0,32 \cdot p_1 = 128 \text{ (кПа)}.$ <p>Ответ $p_2 = 128$ кПа .</p>
--	---

Задача 4. Закрытый цилиндр длиной $l = 84$ см разделен легкоподвижным невесомым поршнем на две равные части. В обеих частях находится один и тот же газ при температуре $T_1 = 300$ К. На сколько градусов ΔT нужно нагреть газ в одной из частей цилиндра, чтобы поршень сместился на $\Delta l = 2$ см ?

<p>Дано</p> $l = 84 \text{ см}$ $T_1 = 300 \text{ К}$ $\Delta l = 2 \text{ см}$	<p>Решение</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td style="padding: 5px;">p_1, V_1, T_1</td> <td style="padding: 5px;">p_1, V_1, T_1</td> </tr> </table> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td style="padding: 5px;">p_2, V_2, T_2</td> <td style="padding: 5px;">p_2, V_3, T_1</td> </tr> </table> <p>Рассмотрим газ, находящийся слева от перегородки. Начальное состояние газа описывается параметрами p_1, V_1, T_1.</p> <p>После нагревания параметры состояния этого газа станут p_2, V_2, T_2. Свяжем параметры начального и конечного состояний уравнением Менделеева – Клапейрона</p> $\frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2}. \quad (1)$ <p>Перейдем к рассмотрению газа справа от перегородки. Начальное состояние газа описывается параметрами p_1, V_1, T_1, так как в условиях равновесия давления с обеих сторон перегородки одинаковы, объемы обеих частей цилиндра в начальном состоянии одинаковы (по условию задачи), температуры также равны.</p>	p_1, V_1, T_1	p_1, V_1, T_1	p_2, V_2, T_2	p_2, V_3, T_1
p_1, V_1, T_1	p_1, V_1, T_1				
p_2, V_2, T_2	p_2, V_3, T_1				
<p>Найти ΔT</p>					

	<p>После нагревания газа слева от перегородки параметры состояния газа справа от перегородки изменятся и станут равными p_2, V_3, T_1. С газом произошло изотермическое сжатие, следовательно</p> $p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_3. \quad (2)$ <p>Разделив уравнение (2) на уравнение (1), выразим T_2:</p> $T_2 = T_1 \frac{V_2}{V_3}.$ <p>Так как $V_2 = S \cdot (l/2 + \Delta l)$, а $V_3 = S \cdot (l/2 - \Delta l)$, где S – площадь сечения цилиндра, то</p> $\frac{V_2}{V_3} = \frac{l/2 + \Delta l}{l/2 - \Delta l}.$ <p>Следовательно,</p> $T_2 = T_1 \frac{l/2 + \Delta l}{l/2 - \Delta l} = 300 \frac{0,42 + 0,02}{0,42 - 0,02} = 330 \text{ (К)}.$ $\Delta T = T_2 - T_1 = 330 - 300 = 30 \text{ (К)}.$ <p>Ответ: 30 К.</p>
--	--

Задача 5. В сосуде при температуре $t = 100^\circ \text{C}$ находится влажный воздух с относительной влажностью $\varphi = 40\%$ под давлением $p_1 = 1 \text{ атм}$. Объем сосуда изотермически уменьшили в 5 раз. Чему будет равно конечное давление p_2 (в атм)? Объемом сконденсировавшейся воды пренебречь.

<p>Дано</p> <p>$t = 100^\circ \text{C}$</p> <p>$\varphi = 40\%$</p> <p>$p_1 = 1 \text{ атм}$</p> <p>$T = \text{const}$</p> <p>$V = V_0/5$</p>	<p>Решение</p> <p>Согласно закону Дальтона для влажного воздуха</p> $p_1 = p_{01} + p_{п1},$ <p>где $p_1, p_{01}, p_{п1}$ – давления влажного воздуха, сухого воздуха и водяного пара в начальном состоянии соответственно.</p> <p>Для определения $p_{п1}$ пара воспользуемся формулой</p> $\varphi = \frac{p_{п1}}{p_{н.п}} \cdot 100\%.$ <p>При температуре $t = 100^\circ \text{C}$ давление насыщенного пара $p_{н.п} = 1 \text{ атм}$, следовательно,</p> $p_{п1} = \frac{\varphi \cdot p_{н.п}}{100\%} = 0,4 \cdot 1 = 0,4 \text{ (атм)}.$ <p>Найдем давление сухого воздуха</p> $p_{01} = p_1 - p_{п1} = 1 - 0,4 = 0,6 \text{ (атм)}.$ <p>Далее рассмотрим, что будет происходить с сухим воздухом и водяным паром при изотермическом сжатии.</p>
<p>Найти p_2</p>	

В результате изотермического сжатия давление сухого воздуха возрастет в соответствии с законом Бойля – Мариотта

$$(p_{01} \cdot V_0 = p_{02} \cdot V).$$

$$p_{02} = \frac{p_{01} \cdot V_0}{V} = \frac{0,6 \cdot 5 \cdot V}{V} = 3(\text{атм}).$$

Водяной пар станет насыщенным уже при сжатии в 2,5 раза (давление пара достигнет значения 1 атм и дальше изменяться не будет, так как давление насыщенного пара максимально).

Конечное давление воздуха

$$p_2 = p_{02} + p_{\text{н.п}} = p_{02} + p_{\text{н.п}} = 3 + 1 = 4(\text{атм}).$$

Ответ: $p_2 = 4$ атм.

2. ТЕРМОДИНАМИКА

Основные понятия

Внутренняя энергия идеального газа U складывается из энергии поступательного, вращательного, колебательного движения молекул и межмолекулярного и внутриаомного взаимодействия. Мерой внутренней энергии газа является температура T .

$$U = C_V \cdot T = \frac{i}{2} \nu RT, \quad (20)$$

где C_V – теплоемкость газа при постоянном объеме, i – число степеней свободы, т. е. число независимых координат, однозначным образом характеризующих положение системы в пространстве, ν – количество вещества.

Для идеального одноатомного газа $i = 3$

$$U = \frac{3}{2} \nu RT. \quad (21)$$

Изменение внутренней энергии ΔU идеального газа определяется изменением температуры ΔT .

$$\Delta U = \frac{i}{2} \nu R \Delta T. \quad (22)$$

Для одноатомного газа

$$\Delta U = \frac{3}{2} \nu R \Delta T. \quad (23)$$

Теплопередача (теплообмен) – обмен внутренней энергий между телами и окружающей средой или между частями тела без совершения работы.

Адиабатный процесс – процесс, происходящий без теплообмена с внешней средой.

Количество теплоты Q – мера изменения внутренней энергии в результате теплообмена без совершения работы.

Работа – мера изменения внутренней энергии системы без теплопередачи.

Работа, совершаемая идеальным газом при изопроцессах:

– изотермическом $A = \nu RT \ln \frac{V_2}{V_1}$;

– изохорическом $A = 0$;

– изобарическом $A = p(V_2 - V_1) = p \cdot \Delta V$;

– адиабатном $\frac{\nu R}{\gamma - 1}(T_1 - T_2)$.

Работа газа может быть найдена как площадь фигуры, ограниченной графиком зависимости $p(V)$, осью V и соответствующими ординатами p_1 и p_2 (рис. 4), при циклическом процессе – как площадь фигуры, ограниченной графиком зависимости $p(V)$ (рис. 5).

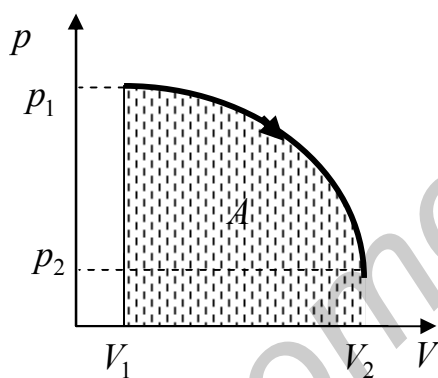


Рис. 4

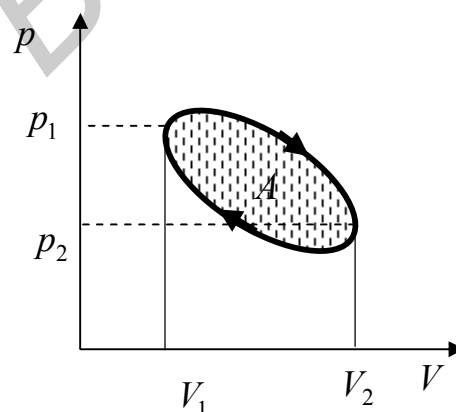


Рис. 5

Цикл – круговой процесс, в результате которого система возвращается в первоначальное состояние.

Теплоемкость C – количество теплоты, необходимое для повышения температуры тела на 1 градус:

$$C = \frac{Q}{\Delta T} = \frac{Q}{\Delta t}. \quad (24)$$

Удельная теплоемкость c – количество теплоты, которое необходимо сообщить 1 кг вещества для изменения его температуры на 1 градус:

$$c = \frac{Q}{m \cdot \Delta T} = \frac{Q}{m \cdot \Delta t}. \quad (25)$$

Молярная теплоемкость c^M – количество теплоты, которое необходимо сообщить одному молю вещества для повышения его температуры на один градус:

$$c^M = \frac{Q}{\nu \cdot \Delta t} . \quad (26)$$

Фазовый переход – переход вещества из одного агрегатного состояния в другое. Происходит при постоянной температуре и постоянном давлении.

Удельная теплота фазового перехода – количество теплоты, необходимое для перевода 1 кг вещества из одного агрегатного состояния вещества в другое при постоянной температуре и давлении.

Удельная теплота плавления

$$\lambda = \frac{Q}{m} \quad (Q \text{ берется со знаком «+» для процесса плавления, со знаком «-»}$$

для процесса кристаллизации).

Удельная теплота парообразования

$$L = \frac{Q}{m} \quad (Q \text{ берется со знаком «+» для процесса парообразования, со зна-$$

ком для «-» для процесса конденсации).

Удельная теплота сгорания

$$q = \frac{Q}{m} \quad (Q \text{ берется со знаком «-» для сгорания топлива).$$

2.1. Первый закон термодинамики (первое начало термодинамики)

Количество теплоты Q , переданное системе, идет на приращение ее внутренней энергии ΔU и на совершение системой работы над внешними телами:

$$Q = \Delta U + A. \quad (27)$$

Работа A , совершенная системой, равна взятой со знаком «-» работе A' , совершенной над системой внешними силами,

$$A = -A'.$$

Первое начало термодинамики для изопроцессов:

– изотермический процесс: $Q = A$ ($T = \text{const}$, $\Delta T = 0$, $\Delta U = 0$);

– изохорический процесс: $Q = \Delta U$ ($V = \text{const}$, $A = 0$);

– изобарический процесс: $Q = \Delta U + A$;

– адиабатный процесс: $0 = \Delta U + A$ ($Q = 0$).

Для одноатомного газа при изобарическом процессе справедливы следующие выражения первого начала термодинамики:

$$Q = \frac{3}{2} \nu R \Delta T + p \Delta V = \frac{5}{2} \nu R \Delta T = \frac{5}{2} p \Delta V = \frac{5}{2} A.$$

2.2. Второй закон термодинамики (второе начало термодинамики)

Тепловая машина – устройство, осуществляющая цикл, в котором механическая работа совершается за счет внутренней энергии рабочего тела. Состоит из нагревателя, холодильника, рабочего тела (газа).

Коэффициент полезного действия тепловой машины – отношение полезной работы $A_{\text{п}}$ к затраченной A_3 , выраженное в процентах:

$$\eta = \frac{A_{\text{п}}}{A_3} \cdot 100 \% = \left(1 - \frac{Q_2}{Q_1}\right) \cdot 100 \%, \quad (28)$$

где Q_1 – количество теплоты, полученное от нагревателя, Q_2 – количество теплоты, отданное холодильнику. Полезная работа $A_{\text{п}} = Q_1 - Q_2$.

Коэффициент полезного действия идеальной тепловой машины

$$\eta = \left(1 - \frac{T_2}{T_1}\right) \cdot 100 \%, \quad (29)$$

где T_1 – температура нагревателя, T_2 – температура холодильника.

Цикл идеальной тепловой машины (цикл Карно), состоит из двух изотерм и двух адиабат.

2.3. Методические указания к решению задач

А. Первое начало термодинамики.

Проанализировать, какой процесс происходит с термодинамической системой;

Записать первый закон термодинамики;

Выразить работу, совершенную системой, и изменение ее внутренней энергии через параметры состояния;

Решить полученное уравнение относительно искомой величины.

Б. Второе начало термодинамики.

Рассчитать коэффициент полезного действия на основе данных о количествах теплот, полученных от нагревателя и отданных холодильнику;

В. Уравнение теплового баланса.

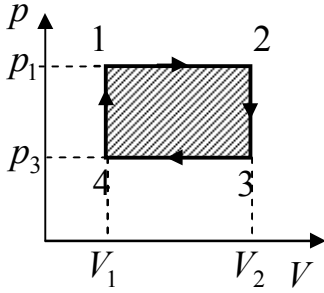
Проанализировать, сколько тел участвует в теплообмене. Записать для каждого из тел отдаваемое или получаемое количество теплоты;

Составить уравнение теплового баланса;

Решить относительно искомой величины.

2.4. Примеры решения задач

Задача 1. Два моля газа изобарно нагревают от $T_1 = 400 \text{ К}$ до $T_2 = 800 \text{ К}$, затем изохорно охлаждают до $T_3 = 500 \text{ К}$. Далее газ изобарно охлаждают так, что его объем уменьшается до первоначального. Затем газ изохорно нагревают до $T_1 = 400 \text{ К}$. Найти работу, совершенную газом в этом цикле. Универсальная газовая постоянная $R = 8,3 \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К})$.

<p>Дано: $T_1 = 400 \text{ К}$ $T_2 = 800 \text{ К}$ $T_3 = 500 \text{ К}$ $\nu = 2 \text{ моль}$</p>	<p>Решение Изобразим на рисунке цикл</p>  <p>Искомая работа равна площади, ограниченной циклом $A = (p_1 - p_3)(V_2 - V_1)$.</p> <p>Раскроем скобки $A = p_1V_2 - p_3V_2 - p_1V_1 + p_3V_1$.</p> <p>Воспользуемся уравнением Менделеева – Клапейрона . Для точки 1 $p_1V_1 = \nu RT_1$, для точки 2 $p_1V_2 = \nu RT_2$, для точки 3 $p_3V_2 = \nu RT_3$, для точки 4 $p_3V_1 = \nu RT_4$. Подставим в выражение для работы, получим $A = \nu R(T_2 - T_3 - T_1 + T_4)$.</p> <p>Температуру T_4 найдем, рассмотрев процессы изобарического нагревания и охлаждения. Для процесса 1,2 $\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$, следовательно, $\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2}$.</p> <p>Для процесса 3,4 $\frac{V_2}{T_3} = \frac{V_1}{T_4}$, следовательно, $\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_4}{T_3}$.</p> <p>Приравняв отношения температур, получим $T_4 = T_3 \frac{T_1}{T_2}$.</p> <p>Окончательно $A = \nu R(T_2 - T_1 - T_3 + T_3 \frac{T_1}{T_2}) = 2400 \text{ (Дж)}$.</p> <p>Ответ: 2400 Дж .</p>
<p>Найти А</p>	

Задача 2. Коэффициент полезного действия идеальной тепловой машины равен $\eta = 0,1$. Какую полезную работу A совершает машина, если холодильнику при этом передается $Q_2 = 900 \text{ Дж}$ теплоты?

<p>Дано: $\eta = 0,1$ $Q_2 = 900 \text{ Дж}$</p>	<p>Решение Коэффициент полезного действия тепловой машины в относительных единицах</p>
<p>Найти A</p>	<p>$\eta = \left(1 - \frac{Q_2}{Q_1}\right).$ Полезная работа, совершаемая за цикл, $A = Q_1 - Q_2$. Следовательно, $Q_1 = Q_2 + A$. Таким образом $\eta = \left(1 - \frac{Q_2}{Q_2 + A}\right).$ Находим A: $A = \frac{\eta Q_2}{1 - \eta} = 100 \text{ (Дж)}$ Ответ: 100 Дж</p>

Задача 3. После опускания в воду, имеющую температуру $t_1 = 10^\circ \text{C}$, тела, нагретого до $t_2 = 100^\circ \text{C}$, через некоторое время устанавливается температура $t_3 = 40^\circ \text{C}$. Какой станет температура t_4 , если, не вынимая первого тела, в нее опустить еще одно такое же тело при температуре $t_2 = 100^\circ \text{C}$?

<p>Дано: $t_1 = 10^\circ \text{C}$ $t_2 = 100^\circ \text{C}$ $t_3 = 40^\circ \text{C}$</p>	<p>Решение Рассмотрим систему, в которую входят вода и первое тело. В соответствии с уравнением теплового баланса $Q_1 + Q_2 = 0$.</p>
<p>Найти t_4</p>	<p>$Q_1 = C_T(t_3 - t_2);$ $Q_2 = C_B(t_3 - t_1);$ $C_T(t_3 - t_2) + C_B(t_3 - t_1) = 0$. Находим отношение теплоемкостей: $\frac{C_T}{C_B} = \frac{t_3 - t_1}{t_2 - t_3} = \frac{1}{2}$ Перейдем к рассмотрению системы, в которую войдут уже два тела и вода. Уравнение теплового баланса в этом случае $Q'_1 + Q'_2 + Q'_3 = 0$. $Q'_1 = C_T(t_4 - t_3);$ $Q'_2 = C_B(t_4 - t_3);$ $Q'_3 = C_T(t_4 - t_2);$ $(C_T + C_B)(t_4 - t_3) + C_T(t_4 - t_2) = 0$. Учитывая, что $C_T = 0,5 C_B$, получим</p>

	$1,5C_B(t_4 - t_3) + 0,5C_B(t_4 - t_2) = 0$ <p>Находим t_4:</p> $t_4 = \frac{1,5t_3 + 0,5t_2}{2} = 55 (^{\circ}C).$ <p>Ответ $t_4 = 55 ^{\circ}C$.</p>
--	--

Задачи для самостоятельного решения

1. Во сколько раз число молекул в 3 моль воды больше числа молекул в моле кислорода? Молярная масса воды равна 0,018 кг/моль, кислорода – 0,032 кг/моль.
2. Объем молекулы воды равен $1,2 \cdot 10^{-23}$ см³. Какой процент от всего пространства, занятого водой, приходится на долю самих молекул воды? Плотность воды равна 1000 кг/м³. Молярная масса равна 18 г/моль.
3. После того как в комнате протопили печь, температура воздуха повысилась с 15 °С до 27 °С. На сколько процентов изменилось число молекул воздуха в этой комнате?
4. Найти объем воды плотностью 1 г/см³, в котором столько же молекул, что и в 200 м³ водорода при давлении 166 кПа и температуре 360 К. Молярная масса кислорода 32 г/моль.
5. Найти в кубических сантиметрах объем 10 моль меди. Плотность меди равна 8,4 г/см³. Молярную массу меди принять равной 63 г/моль.
6. Какой объем в см³ занимает $3,5 \cdot 10^{22}$ атомов алмаза? Атомная масса алмаза равна 12 г/моль. Плотность алмаза равна 3,5 г/см³.
7. В закрытом сосуде находится одноатомный кислород при температуре 1200 К. Во сколько раз уменьшится давление в сосуде, если температура уменьшится до 300 К и все атомы кислорода соединятся в молекулы?
8. При повышении температуры идеального газа на 180 К средняя квадратичная скорость его молекул возросла с 400 м/с до 500 м/с. На сколько градусов нужно нагреть газ, чтобы увеличить среднюю квадратичную скорость его молекул с 500 м/с до 600 м/с?
9. Водород и гелий находятся при одинаковой температуре. Во сколько раз средняя квадратичная скорость молекулы водорода больше средней квадратичной скорости молекулы гелия?
10. В закрытом сосуде находится идеальный газ. На сколько процентов увеличится его давление, если средняя скорость молекул газа увеличится на 20 %?
11. На сколько процентов следует увеличить объем газа в изотермическом процессе, чтобы его давление уменьшилось в 1,5 раза? Масса газа постоянна.

12. В ходе изотермического процесса давление газа уменьшилось на 50 кПа. Определить в килопаскалях конечное давление газа, если его объем увеличился в 6 раз.

13. Газ сжимают изотермически от объема 8 л до объема 6 л. Давление газа при сжатии возросло на 4 кПа. Определить в килопаскалях начальное давление газа.

14. Чему равна площадь невесомого поршня в цилиндрическом сосуде, если под действием силы в 2 Н газ под поршнем сжимается в 3 раза? Атмосферное давление равно 100 кПа. Ответ дать в квадратных сантиметрах. Температура постоянна.

15. Во сколько раз увеличится объем пузырька воздуха, поднимающегося при постоянной температуре с глубины 80 м на поверхность водоема? Плотность воды равна 1000 кг/м^3 , а атмосферное давление составляет 100 кПа.

16. На сколько кубических метров уменьшится объем идеального газа при охлаждении до 91 К, если его объем при 0°C был равен 60 л? Процесс изобарический.

17. Первоначально идеальный газ занимал объем 12,42 л. При охлаждении на 40 К при постоянном давлении и неизменной массе объем газа стал равным 10,62 л. Определить по шкале Кельвина начальную температуру газа.

18. Во сколько раз уменьшается объем, занимаемый молем идеального газа в ходе изобарического охлаждения, если начальная температура равна 300 К, конечный объем газа составляет 2 л? Давление газа равно 166 кПа.

19. Во сколько раз возрастает плотность газа при его изобарическом охлаждении от 600 К до 200 К?

20. 12 г идеального газа занимают объем 4 л при температуре 280 К. После нагревания газа при постоянном давлении его плотность стала равной $0,6 \text{ кг/м}^3$. До какой температуры по абсолютной шкале температур нагрели газ?

21. В ходе изохорического процесса при изменении температуры от 273 К до 312 К давление идеального газа повысилось на 15 кПа. Определить в килопаскалях начальное давление газа.

22. На сколько процентов следует увеличить температуру газа в закрытом сосуде постоянного объема, чтобы давление возросло в 1,25 раза?

23. Температура газа в закрытом баллоне возрастает от 0 до 546°C . Во сколько раз увеличится при этом давление газа?

24. В процессе изохорического охлаждения газа его давление уменьшилось в 3 раза. Какой была начальная температура газа по абсолютной шкале температур, если конечная температура равна 27°C ?

25. При изохорическом нагревании идеального газа на 50 К давление возросло на 200 Па. Насколько увеличится давление газа при изохорическом нагревании той же массы газа на 10 К?

26. Компрессор засасывает из атмосферы каждую секунду 4 л воздуха, которые попадают в баллон объемом 120 л. Через какое время давление в баллоне будет в 9 раз больше атмосферного? Начальное давление в баллоне равно атмосферному. Температура постоянна.

27. К резиновой оболочке, начальный объем которой равен нулю, подсоединили баллон объемом 3 л с гелием под давлением 200 кПа. Найти в килопаскалях давление гелия, если оболочка раздулась до объема 5 л, а процесс расширения гелия – изотермический.

28. Давление воздуха внутри бутылки равно 0,1 МПа при температуре 7 °С. До какой температуры надо нагреть бутылку, чтобы из нее вылетела пробка? Пробку можно вынуть силой 10 Н. Поперечное сечение пробки имеет площадь 2 см². Атмосферное давление равно 100 кПа.

29. Резиновая камера содержит воздух при температуре 27 °С и давлении 100 кПа. На какую глубину надо опустить камеру в воду, чтобы ее объем уменьшился вдвое? Температура воды 4,5 °С. Плотность воды 1 г/см³.

30. В баллоне, рассчитанном на максимальное избыточное давление 150 МПа, находится газ при давлении 100 МПа и температуре 200 К. Определить минимальную глубину, на которой баллон не взорвется при температуре 400 К. Плотность воды равна 1 г/см³. Атмосферным давлением пренебречь.

31. Горизонтально расположенный цилиндр разделен легко подвижной перегородкой на две части. Слева от перегородки находится некоторая масса водорода, справа – такая же масса гелия. Во сколько раз объем, занимаемый водородом, больше объема, занимаемого гелием? Температура постоянна.

32. Закрытый цилиндр длиной 84 см разделен легкоподвижным невесомым поршнем на две равные части. В обеих частях находится один и тот же газ при температуре 300 К. На сколько градусов нужно нагреть газ в одной из частей цилиндра, чтобы поршень сместился на 2 см?

33. Закрытый цилиндрический сосуд длиной 0,83 м разделен невесомой легкоподвижной перегородкой. Слева находится 5 г водорода при температуре 320 К, справа – 5 г гелия при той же температуре. Какую минимальную по модулю силу нужно приложить к перегородке, чтобы удержать ее посередине сосуда?

34. Горизонтальный закрытый цилиндр разделен легкоподвижным закрепленным поршнем на две равные части. Давление в левой части равно 200 кПа, в правой – 50 кПа. Поршень освобождают. Во сколько раз объем левой части в положении равновесия больше объема правой части? Температура постоянна.

35. В вертикальном закрытом цилиндре находится подвижный поршень, по обе стороны которого находится по одному моллю гелия. При равновесии при температуре 320 К объем гелия над поршнем в 4 раза больше объема под поршнем. При какой абсолютной температуре отношение объемов станет равным 3?

36. В баллоне объемом 3 л содержится 0,5 кг идеального газа. Баллон соединяют с пустым сосудом объемом 7 л. Какая масса газа перейдет из баллона в сосуд?

37. Три баллона, заполненные одинаковым газом, соединены трубками с закрытыми кранами. В первом баллоне давление газа равно 10 кПа, а объем равен 20 л, во втором – 20 кПа и 30 л, в третьем – 30 кПа и 50 л. Определить в килопаскалях давление газа в баллонах после открытия кранов. Температура постоянна.

38. В первом сосуде находится гелий при давлении 15 Па. Во втором сосуде содержится кислород при давлении 13 Па. Температура газов одинакова. Гелий перекачали во второй сосуд. Определить давление смеси газов, если объем первого сосуда в 3 раза больше объема второго.

39. Сосуд, содержащий идеальный газ под давлением 140 кПа, соединили с пустым сосудом объемом 6 л. Спустя некоторое время в сосуде установилось давление 100 кПа. Определить в литрах объем первого сосуда. Температура постоянна.

40. Два сосуда, содержащие идеальные газы, соединены трубкой с краном. Давления газов в сосудах равны 3 кПа и 7 кПа соответственно. Определить в килопаскалях давление в сосудах после открытия крана, если первоначально число молекул в обоих сосудах одинаково. Температура постоянна.

41. В баллоне объемом 10 л находится идеальный газ при температуре 300 К. Давление газа понизится на 50 кПа, если из баллона выпустить 10 г газа. Определить плотность газа при давлении 100 кПа и температуре 300 К.

42. В открытом цилиндре находится 90 г газа. Температуру газа увеличили от 300 К до 450 К при постоянном давлении 166 кПа. Сколько молей газа выйдет из цилиндра, если его плотность в начале процесса равна 1 кг/м^3 ?

43. При нагревании газа от 300 К до 500 К при постоянном давлении в дырявой оболочке осталась половина массы газа. Во сколько раз объем газа в начале процесса больше конечного объема?

44. Какая масса газа выйдет из открытого сосуда, содержащего 0,24 кг гелия, если его температуру увеличить в 8 раз? Давление постоянно.

45. Температура воздуха в открытом сосуде равна 280 К. Воздух нагревают до 400 К, а затем, герметично закрыв сосуд, охлаждают до начальной температуры. На сколько процентов понизилось давление в сосуде по сравнению с начальным?

46. График зависимости давления от температуры для некоторой массы газа проходит через точку (400 К, 30 кПа). Во сколько раз следует увеличить объем газа, чтобы график прошел через точку (800 К, 10 кПа)?

47. Найти минимально возможную температуру 4 моль газа в цикле, диаграмма которого состоит из изохоры, изотермы и изобары, проходящих через точки (166 кПа, $0,12 \text{ м}^3$) и (41,5 кПа, $0,48 \text{ м}^3$) в координатах P, V .

48. Уравнение процесса, происходящего с данной массой идеального газа, описывается законом $TV^3 = \text{const}$, где T – абсолютная температура, V – объем газа. Во сколько раз возрастет давление в ходе процесса при уменьшении объема газа в 2 раза?

49. При изменении температуры 1 моль идеального газа давление меняется по закону $p = 2T$ кПа, где T – абсолютная температура. Определите в литрах объем, занимаемый газом.

50. В ходе процесса в идеальном газе давление в зависимости от объема меняется по закону $p = AV - BV^2$, где $A = 400$ кПа/м³, $B = 200$ кПа/м³, а V – объем в кубических метрах. Определить в килопаскалях максимально возможное давление газа в ходе этого процесса.

51. В школьном опыте было получено, что абсолютный ноль температуры соответствует -250 °С. Определить по этим данным величину, обратную термическому коэффициенту объемного расширения идеального газа.

52. Найти температуру по шкале Цельсия, соответствующую абсолютному нулю температуры из данных опыта, в котором был получен термический коэффициент объемного расширения, равный $1/273,1$ град⁻¹.

53. Вычислить число, равное обратному значению термического коэффициента давления газа, если при изохорном нагревании газа от 0 до 1 °С его давление возросло с 273 кПа до 274 кПа.

54. Определить изменение объема идеального газа при изобарическом нагревании 5 м³ газа от 0 до $27,3$ °С, считая, что термический коэффициент объемного расширения равен $1/273$ град⁻¹.

55. В опыте получено, что относительное изменение давления газа при увеличении температуры от 0 °С до 136 °С равно $0,5$. Найти по этим данным величину, обратную термическому коэффициенту давления газа.

56. В вертикальном цилиндре под подвижным поршнем массой 3 кг и площадью 20 см² находится идеальный газ. На поршень нажали с силой 460 Н, и он опустился до высоты 13 см от дна цилиндра. Определить в кубических сантиметрах начальный объем газа. Атмосферное давление равно 100 кПа. Температура постоянна.

57. В цилиндрическом сосуде поршень массой 100 кг и площадью $0,01$ м² начинает двигаться вверх. Давление газа под поршнем постоянное и равно 600 кПа, атмосферное давление 100 кПа. Определить скорость поршня, когда он пройдет $1,8$ м. Сила трения о стенки сосуда равна 3000 Н.

58. Сосуд объемом 10 л наполнили газом при давлении 200 кПа. Какая масса воды с плотностью 1000 кг/м³ войдет в сосуд, если под водой на глубине 40 м в самой нижней его части сделано отверстие? Атмосферное давление равно 100 кПа.

59. Закрытую с одного конца трубку длиной 80 см опускают вертикально открытым концом в сосуд с ртутью до тех пор, пока ртуть не заполнит половину трубки. На каком расстоянии от поверхности ртути находится закрытый конец трубки, если атмосферное давление равно 76 см рт.ст.?

60. Поршень площадью 1 см² скользит без трения в вертикальном цилиндре, закрывая газ объемом 10 см³ при давлении 120 кПа. На сколько сантиметров опустится поршень, если на него поставить тело массой $1,2$ кг? Температура постоянна.

61. Теплоемкость стального тела равна 920 Дж/К, а удельная теплоемкость составляет 460 Дж/(кг·К). Определить массу тела.

62. Какова масса свинца, взятого при температуре 300 К и нагретого до температуры 600 К, если на нагревание затрачено $15,6 \cdot 10^4$ Дж теплоты? Удельная теплоемкость свинца 130 Дж/(кг·К).

63. С какой высоты падает тело, если при ударе о землю оно нагревается на 0,2 К? Удельная теплоемкость тела равна 130 Дж/(кг·К). При ударе о землю 50 % механической энергии идет на нагревание тела. Потенциальную энергию тела на поверхности земли считать равной нулю.

64. Сколько теплоты необходимо для плавления 5 г льда, взятого при температуре 273 К, и нагревания полученной воды до 373 К? Удельная теплоемкость и удельная теплота плавления равны 4,2 кДж/(кг·К) и 334 кДж/кг.

65. В калориметре малой теплоемкости находится 167 г воды при температуре 293 К. Какую максимальную массу льда в граммах с температурой 273 К нужно добавить в калориметр, чтобы в конечном состоянии была бы только вода? Удельная теплота плавления льда равна 334 Дж/г. Удельная теплоемкость воды составляет 4,2 Дж/(г·К).

66. В калориметре малой теплоемкости смешали 0,4 кг воды при температуре 293 К и 0,1 кг тающего льда. Определить в градусах Цельсия установившуюся температуру. Удельная теплота плавления льда равна 336 Дж/г, удельная теплоемкость воды – 4,2 Дж/(г·К).

67. В калориметре массой 1 кг, сделанном из вещества с удельной теплоемкостью в 10 раз меньшей, чем удельная теплоемкость воды, находится 0,5 кг воды при температуре 300 К. Какую массу воды с температурой 330 К нужно добавить в калориметр, чтобы установилась температура 310 К?

68. Определить минимальную массу пара с температурой 373 К. достаточную для плавления 2 кг льда с температурой 273 К. Удельная теплота плавления льда, теплота парообразования и теплоемкость воды соответственно равны 335 Дж/г, 2260 Дж/г и 4,2 Дж/(г·К).

69. Какую массу воды можно нагреть на 10 К, если полностью использовать теплоту, выделяющуюся при сгорании 100 г топлива с теплотворной способностью $4,2 \cdot 10^7$ Дж/кг? Удельная теплоемкость воды равна 4200 Дж/(кг·К).

70. На электроплите нагревают воду. Оказалось, что для нагревания ее от 10 °С до 100 °С потребовалось 18 мин, а на превращение 0,21 ее массы в пар – 23 мин. Определите в мегаджоулях на килограмм удельную теплоту парообразования, если удельная теплоемкость воды 4,2 кДж/(кг·К).

71. Определить в килоджоулях работу расширения газа, первоначально занимавшего объем 10 л, при изобарическом нагревании от 17 до 104 °С. Давление газа 100 кПа.

72. Идеальный одноатомный газ находится в сосуде объемом 1 л при давлении 100 кПа. Определить внутреннюю энергию газа.

73. Внутренняя энергия идеального газа возросла на 157 Дж в ходе изохорического нагревания на 15 К. Определить количество теплоты, передаваемой в этом процессе газу.

74. В ходе процесса, происходящего с данной массой идеального газа, давление газа меняется пропорционально абсолютной температуре. Какое количество теплоты нужно сообщить газу, чтобы его внутренняя энергия увеличилась на 47 Дж?

75. График процесса, происходящего в газе, на диаграмме P, V изображается в виде прямой, проходящей через точки с координатами (100 кПа; 0,01 м³) и (150 кПа; 0,015 м³). Определить работу газа при изменении объема от 0,01 до 0,015 м³.

76. Сколько молей одноатомного газа нагрели на 10 К, если количество подведенной теплоты равно 249 Дж? Процесс нагревания изохорический.

77. При расширении без теплообмена с окружающей средой два моля идеального одноатомного газа совершили работу 16,4 Дж. Определить изменение внутренней энергии газа.

78. В осях P, V , где P – давление в кПа, а V – объем в литрах, график циклического процесса в идеальном газе имеет вид прямых, соединяющих точки (100,3), (200,3) и (200,5). Определить модуль работы газа за цикл.

79. В закрытом сосуде объемом 2 л находится гелий, плотность которого равна 2 кг/м³. Какое количество теплоты надо сообщить гелию, чтобы повысить его температуру на 10 К? Гелий считать идеальным газом. Молярная масса гелия равна 4 г/моль.

80. В начальном состоянии температура газа равна 295 К. В конечном состоянии газ занимает объем 1 л при температуре 300 К. Определить работу газа при переходе, если давление газа постоянно и равно 300 кПа.

81. При адиабатном сжатии температура гелия возросла на 2 К. Определить массу газа в граммах, если при сжатии была совершена работа 996 Дж. Молярная масса гелия равна 4 г/моль.

82. Вычислить количество теплоты, необходимое для нагревания двух молей идеального газа на 10 К при постоянном давлении, если при этом газом совершена работа 166 Дж. Газ одноатомный.

83. Идеальный одноатомный газ находится в закрытом сосуде объемом 2 л. Внутренняя энергия газа равна 300 Дж. Определить в килопаскалях давление газа в сосуде.

84. Один моль гелия нагревается при постоянном давлении от температуры 100 К. Какое количество тепла необходимо сообщить газу, чтобы его объем утроился?

85. Герметичный сосуд вместимостью 0,166 м³ содержит азот под давлением 120 кПа. Какое давление установится в сосуде, если азоту сообщили количество теплоты 8400 Дж. Молярная теплоемкость азота равна 21 Дж/(моль·К). Ответ привести в килопаскалях.

86. Кислород массой 0,3 кг при температуре 320 К охладили изохорно, вследствие чего его давление уменьшилось в три раза. Затем его изобарно расширили так, что температура его стала равной первоначальной. Какую работу в килоджоулях совершил газ? Молярная масса кислорода равна 0,032 кг/моль.

87. Для повышения температуры газа массой 20 кг и молярной массой 0,025 кг/моль на 50 К при постоянном давлении необходимо затратить 0,5 МДж. Какое количество теплоты следует отнять от этого газа при постоянном объеме, чтобы его температура понизилась на 50 К? Результат записать в килоджоулях.

88. В цилиндре объемом 190 см³ под поршнем находится газ при температуре 323 К. Найти работу расширения газа при нагревании его на 100 К. Масса поршня 120 кг, его площадь 50 см². Атмосферное давление 100 кПа.

89. Моль идеального газа нагревают при постоянном давлении, а затем при постоянном объеме переводят в состояние с температурой, равной начальной температуре 300 К. Оказалось, что при этом газу передано 4,98 кДж теплоты. Во сколько раз увеличился объем газа?

90. Для нагревания 0,8 кг на 4 К при постоянном давлении требуется 1,66 кДж теплоты, а для нагревания при постоянном объеме – 0,83 кДж. Определить в граммах на моль молярную массу газа.

91. КПД теплового двигателя равно 20 %. Во сколько раз количество теплоты, полученное от нагревателя больше количества теплоты, отданного холодильнику?

92. Во сколько раз двигатель с КПД, равным 80 %, совершает больше работы, чем двигатель с КПД, равным 50 %, если к ним подвели одинаковое количество теплоты?

93. Максимальный коэффициент полезного действия идеальной тепловой машины равен 20 %. Определить по абсолютной шкале температуру нагревателя, если температура холодильника равна 300 К.

94. В идеальной тепловой машине рабочим веществом является пар с начальной температурой 710 К, температура отработанного пара 350 К. Определить среднюю полезную мощность машины, если от нагревателя поступает в среднем 142 кДж теплоты в минуту.

95. Идеальная тепловая машина совершает за цикл работу 100 Дж. Какое количество теплоты при этом получено от нагревателя, если коэффициент полезного действия машины равен 0,2?

96. Идеальная тепловая машина, работая от нагревателя с температурой 750 К, за некоторое время совершила 360 Дж работы. Сколько теплоты передано за это время холодильнику, если его температура 300 К?

97. В идеальной тепловой машине количество теплоты, отдаваемое холодильнику, составляет 75 % от теплоты, полученной от нагревателя. Определить абсолютную температуру холодильника, если температура нагревателя равна 400 К.

98. Трактор развивает мощность 60 кВт и при этом расходует за 1 ч 18 кг дизельного топлива. Определить КПД двигателя трактора, если удельная теплота сгорания топлива 40 МДж/кг.

99. Коэффициент полезного действия тепловой машины равен 15 %. Какое количество теплоты передано от нагревателя рабочему веществу за время, в течение которого машиной совершена полезная работа 150 Дж?

100. Какую долю составляет разность температур нагревателя и холодильника идеальной тепловой машины от абсолютной температуры нагревателя, если максимальный коэффициент полезного действия машины равен 17 %?

101. При температуре $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ давление сухого насыщенного пара равно $0,8\text{ кПа}$. Во сколько раз плотность воды при данной температуре больше плотности пара? Молярная масса воды 18 г/моль , плотность воды 1 г/см^3 .

102. Во сколько раз при температуре $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ плотность пара ртути при атмосферном давлении отличается от плотности насыщенного пара ртути? Атмосферное давление равно $0,1\text{ МПа}$, давление насыщенного пара ртути при данной температуре равно $0,22\text{ МПа}$.

103. В замкнутом сосуде объемом 1 м^3 находится вода массой 12 г и некоторая масса насыщенного пара, плотность и давление которого при данной температуре равны $0,008\text{ кг/м}^3$ и $1,1\text{ кПа}$ соответственно. Какое давление установится при увеличении объема в 5 раз? Температура при увеличении объема не меняется.

104. Закрытый сосуд объемом $0,5\text{ м}^3$, содержащий воду массой $0,5\text{ кг}$, нагрели до температуры 420 К . Насколько следует уменьшить объем сосуда, чтобы в нем содержался только насыщенный пар? Давление насыщенного пара при температуре 420 К равно $0,47\text{ МПа}$. Молярная масса воды $0,018\text{ кг/моль}$.

105. В объеме 20 л содержится насыщенный пар при температуре $100\text{ }^{\circ}\text{C}$. Какую работу в килоджоулях надо совершить, чтобы путем изотермического сжатия уменьшить объем пара до 10 л ? Объемом воды, образовавшейся при конденсации, пренебречь. Нормальное атмосферное давление равно $0,1\text{ МПа}$.

106. Найти абсолютную влажность воздуха, если парциальное давление насыщенного пара равно 14 кПа , а температура $60\text{ }^{\circ}\text{C}$. Молярная масса воды $0,018\text{ кг/моль}$.

107. Абсолютная влажность воздуха при температуре $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ равна $0,005\text{ кг/м}^3$. Найти абсолютную влажность воздуха после понижения температуры до $20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Давление насыщенного пара при этой температуре равно $2,335\text{ кПа}$. Молярная масса воды $0,018\text{ кг/моль}$.

108. В комнате объемом 40 м^3 при температуре $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ относительная влажность воздуха $20\text{ }%$. Какую массу воды нужно испарить для увеличения относительной влажности воздуха до $50\text{ }%$? Плотность насыщенного пара при температуре $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ равна $0,0173\text{ кг/м}^3$.

109. В комнате объемом 50 м^3 относительная влажность воздуха равна $40\text{ }%$. Если испарить дополнительно 60 г воды, то относительная влажность воздуха увеличится до $50\text{ }%$. Какова при этом будет абсолютная влажность воздуха?

110. Относительная влажность воздуха вечером при температуре $16\text{ }^{\circ}\text{C}$ равна $60\text{ }%$. Ночью температура воздуха понизилась до $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ и выпала роса. Сколько водяного пара сконденсировалось из 1 м^3 воздуха? Плотность насыщенного пара при $16\text{ }^{\circ}\text{C}$ равна $0,0136\text{ кг/м}^3$, а при $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ – $0,0064\text{ кг/м}^3$.

Ответы к задачам для самостоятельного решения

1. Молекулярная физика

1. 3. 2. 40 %. 3. 4 %. 4. $0,2 \text{ м}^3$. 5. 75 см^3 . 6. $0,2 \text{ см}^3$. 7. 8. 8. 220 К. 9. 1,4.
10. 44 %. 11. 50 %. 12. 10 кПа. 13. 12 кПа. 14. $0,1 \text{ см}^2$. 15. 9. 16. $0,04 \text{ м}^3$.
17. 276 К. 18. 7,5. 19. 3. 20. 1400 К. 21. 105 кПа. 22. 25 %. 23. 3. 24. 900 К.
25. 40 Па. 26. 240 с. 27. 75 кПа. 28. 420 К. 29. 8,5 м. 30. 5000м. 31. 2.
32. 30 К. 33. 8000 Н. 34. 4. 35. 450 К. 36. 0,35 кг. 37. 23 кПа. 38. 58 Па.
39. 15 л. 40. 4,2 кПа. 41. 2 кг/м^3 . 42. 2 моль. 43. 1,2. 44. 0,21 кг. 45. 30 %.
46. 6. 47. 150 К. 48. 16. 49. 4,15 л. 50. 200 кПа. 51. 250 град. 52. $-273,1 \text{ }^\circ\text{C}$.
53. 273. 54. $0,5 \text{ м}^3$. 55. 272 град. 56. 780 см^3 . 57. 6 м/с. 58. 6 кг. 59. 0,36 м.
60. 5 см. 61. $1 \cdot 6 \cdot 10^5$. 62. $\approx 0,45$. 63. 0,55 кПа. 64. $0,29 \text{ м}^3$. 65. 1 кДж.
66. $0,091 \text{ кг/м}^3$. 67. $0,005 \text{ кг/м}^3$. 68. 208 г. 69. $0,006 \text{ кг/м}^3$. 70. 1,76 г.

2. Термодинамика

71. 2 кг. 72. 4 кг. 73. 5,2 м. 74. 3770 Дж. 75. 42 г. 76. $0 \text{ }^\circ\text{C}$. 77. 0,3 кг.
78. 0,25 кг. 79. 100 кг. 80. 2,3 МДж. 81. 0,3 кДж. 82. 150 Дж. 83. 157 Дж.
84. 47 Дж. 85. 625 Дж. 86. 2 моль. 87. 16,4 Дж. 88. 100 Дж. 89. 124,5 Дж.
90. 5 Дж. 91. 160 г. 92. 415 Дж. 93. 100 кПа. 94. 4150 Дж. 95. 140 Па.
96. 16,6 кДж. 97. 168 кДж. 98. 20 Дж. 99. 3. 100. 32 г/моль. 101. 1,25.
102. 1,6. 103. 375 К. 104. 1200 Вт. 105. 500 Дж. 106. 240 Дж. 107. 300 К.
108. 30 %. 109. 1000 Дж. 110. 0,17.

Содержание

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1. МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА	3
1.1. Молекулярно-кинетическая теория строения вещества (МКТ)	3
Основные положения МКТ.....	3
Основные понятия МКТ.....	3
Основное уравнение МКТ идеального газа	4
1.2. Основные газовые законы. Уравнение состояния идеального газа (уравнение Менделеева – Клапейрона).....	5
1.2.1. Изотермический процесс.....	5
1.2.2. Изобарический (изобарный) процесс	6
1.2.3. Изохорический (изохорный) процесс	6
1.2.4. Закон Дальтона	7
1.3. Насыщенные и ненасыщенные пары.....	7
Основные понятия	7
1.4. Методические указания к решению задач	8
1.5. Примеры решения задач	9
2. ТЕРМОДИНАМИКА.....	13
Основные понятия	13
2.1. Первый закон термодинамики (первое начало термодинамики).....	15
2.2. Второй закон термодинамики (второе начало термодинамики).....	16
2.3. Методические указания к решению задач	16
2.4. Примеры решения задач	16
Задачи для самостоятельного решения	19
Ответы к задачам для самостоятельного решения.....	28

Учебное издание

Смирнова Галина Федоровна

МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА И ТЕРМОДИНАМИКА

Методическое пособие по физике
для абитуриентов

Редактор Е. Н. Батурчик
Корректор А. В. Тюхай
Компьютерная верстка М. В. Гуртатовская

Подписано в печать 08.12.10

Формат 60x84 1/16.

Бумага офсетная.

Гарнитура «Гаймс».
Уч.-изд. л. 1,8.

Отпечатано на ризографе.
Тираж 100 экз.

Усл. печ. л. 1,98
Заказ 300.

Издатель и полиграфическое исполнение: учреждение образования
«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»
ЛИ №02330/0494371 от 16.03.2009. ЛП №02330/0494175 от 03.04.2009.
220013, Минск, П. Бровка, 6