

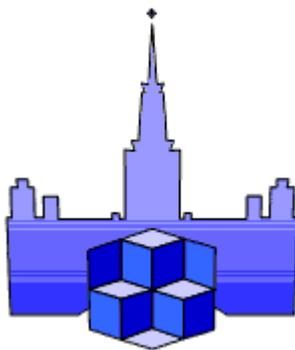
ФИЗИКА

СБОРНИК ЗАДАЧ ПО ФИЗИКЕ

Часть II

Молекулярная физика
Термодинамика

Составитель **Т.П. Корнеева**



Школа имени А.Н. Колмогорова
2011

СБОРНИК ЗАДАЧ по ФИЗИКЕ

Часть II

МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА ТЕРМОДИНАМИКА

Составитель **Т.П.Корнеева**

Школа им. А.Н. Колмогорова
2011 г.

Корнеева Т.П.

Сборник задач по физике.

Часть II. Молекулярная физика. Термодинамика.

Издание третье, исправленное и дополненное.

Школа им. А.Н. Колмогорова, 2011. – 48 с.

Настоящий сборник составлен на основе задач, известных как «классические», и используемых в течение многих лет при проведении семинарских занятий в физико-математической школе при Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова (ныне СУНЦ МГУ, школа имени А.Н. Колмогорова). Наряду с ними в сборник входят задачи, предлагавшиеся в разные годы на вступительных экзаменах в ВУЗы и олимпиадах различного уровня.

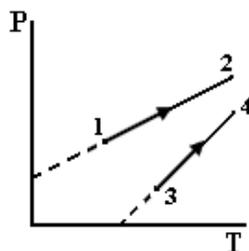
Задачи снабжены ответами, за исключением тех, где решение носит качественный характер. Задачи, отмеченные знаком *, требуют, как правило, более глубокого понимания физической сущности описываемых явлений, привлечения сведений из других разделов физики, а также предполагают владение более сложным математическим аппаратом.

ЗАКОНЫ ИДЕАЛЬНОГО ГАЗА

Газовые законы. Уравнение состояния идеального газа

10.1. Начертить графики изотермического, изобарного и изохорного процессов для идеального газа в координатах PV ; PT ; VT .

10.2. При нагревании газа получен график зависимости давления от абсолютной температуры в виде прямой, продолжение которой пересекает ось P в некоторой точке выше (ниже) начала координат, как показано на рисунке. Определить, сжимался или расширялся газ во время нагревания.

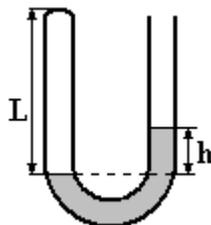


10.3. Открытую стеклянную трубку длиной $L = 1$ м наполовину погружают в ртуть. Затем трубку закрывают сверху и вынимают. Какой длины столбик ртути останется в трубке? Атмосферное давление равно $P_a = 750$ мм рт. ст. Температура во время опыта не изменялась.

10.4. Посередине откачанной и запаянной с обоих концов горизонтальной трубки длиной $L = 1$ м находится столбик ртути длиной $h = 20$ см. Если трубку поставить вертикально, столбик ртути сместится на $s = 10$ см. До какого давления была откачана трубка, если температура во время опыта не изменялась?

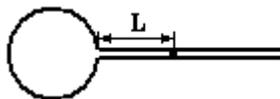
Ответ дайте в мм рт.ст.

10.5. В U-образной трубке высота столба воздуха в запаянном колене равна $L = 300$ мм, а высота столба ртути в открытом колене равна $h = 110$ мм. В открытое колено долили такое количество ртути, что ее уровень поднялся на высоту $\Delta h = 40$ мм относительно прежнего уровня.



На какую высоту поднялся уровень ртути в закрытом колене? Атмосферное давление $H = 760$ мм рт. ст.

10.6. Газовый термометр представляет собой шар с припаянной к нему горизонтальной стеклянной трубкой. Объем шара отделен от внешнего пространства капелькой ртути.



При температуре $t_1 = 0^\circ\text{C}$ капля находилась от поверхности шара на расстоянии $L_1 = 3$ см, а при температуре $t_2 = 5^\circ\text{C}$ – на расстоянии $L_2 = 5$ см. Площадь поперечного сечения трубки равна $S = 1$ см². Найти объем шара.

10.7. Сосуд с газом плотно закрыт пробкой с площадью сечения $S = 2,5$ см². Давление в сосуде равно атмосферному, температура $t_1 = -3^\circ\text{C}$. До какой температуры надо нагреть газ, чтобы пробка вылетела из сосуда, если максимальная сила трения, удерживающая пробку, $F = 7,5$ Н?

10.8. Компрессор захватывает при каждом ходе поршня объем $V_0 = 4$ л воздуха при нормальном атмосферном давлении и температуре $t_0 = -3^\circ\text{C}$ и нагнетает его в резервуар емкостью $V = 1,5$ м³, причем температура в резервуаре держится около значения $t_1 = 21^\circ\text{C}$.

Сколько ходов должен сделать поршень компрессора, чтобы давление в резервуаре увеличилось на $\Delta P = 1,96 \cdot 10^5$ Па?

10.9. Давление воздуха в сосуде $P_0 = 768$ мм рт. ст. Объем цилиндра разрезающего насоса в $k = 3$ раза меньше объема сосуда. Какое давление P_3 установится в сосуде после трех ходов поршня? Изменением температуры можно пренебречь.

10.10. Объем сосуда $V = 300$ см³, объем цилиндра разрезающего насоса $V_1 = 200$ см³. После $n = 6$ ходов поршня в сосуде установилось давление $P = 35$ мм рт. ст. Каким было первоначальное давление P_0 газа в сосуде? Изменением температуры можно пренебречь.

10.11. Найти число N ходов поршня, которое надо сделать, чтобы поршневым воздушным насосом откачать воздух из сосуда емкостью V от давления P_0 до давления P , если емкость насоса ΔV и процесс можно считать изотермическим.

10.12. Три баллона, имеющие емкости $V_1 = 3$ л, $V_2 = 7$ л и $V_3 = 5$ л наполнены соответственно: кислородом ($P_1 = 2$ атм), азотом ($P_2 = 3$ атм) и углекислым газом ($P_3 = 0,6$ атм) при одной и той же температуре. Баллоны соединяют между собой, причем образуется смесь той же температуры. Каково давление смеси?

10.13. На гладком горизонтальном столе находится сосуд, разделенный перегородкой на две равные части. В одной части сосуда находится кислород, а в другой - азот. Давление азота вдвое больше давления кислорода. На сколько сдвинется сосуд, если перегородка станет проницаемой? Длина сосуда $L = 20$ см. Массой сосуда пренебречь. Процесс считать изотермическим.

10.14. Цилиндрический сосуд делится на две части тонким подвижным поршнем. Каково будет равновесное положение поршня, когда в одну часть сосуда помещено некоторое количество кислорода, а в другую - такое же по массе количество водорода, если длина сосуда $L = 85$ см? Температура во время опыта не изменялась.

10.15. В вертикальном закрытом цилиндрическом сосуде, высота которого равна $2h$, а площадь основания S , находится тяжелый поршень массы m . Первоначально поршень делит объем сосуда пополам. Над поршнем находится гелий при давлении P , под поршнем - кислород. Поршень проницаем для гелия и непроницаем для кислорода. Через некоторое время поршень занимает новое равновесное положение, смещаясь вверх. Найти смещение поршня. Температуру газов считать постоянной. Трением пренебречь.

10.16. В цилиндрическом сосуде, заполненном некоторым газом, может свободно перемещаться тяжелый поршень. Сверху и снизу поршня находятся одинаковые массы газа при одинаковой температуре. При этом верхний объем втрое больше нижнего. Каким будет отношение объемов, если температуру газа увеличить в два раза?

10.17. В вертикально расположенном цилиндре под поршнем находится идеальный газ. Цилиндр помещается в лифт. Когда лифт неподвижен, расстояние между поршнем и дном цилиндра $h = 12$ см. При движении лифта с постоянным ускорением расстояние между поршнем и дном цилиндра оказалось равным $x = 10$ см. Найдите ускорение лифта.

10.18. В вертикальном цилиндре находится кислород массой $m = 64$ г, отделенный от атмосферы поршнем, который соединен с дном цилиндра пружиной. При температуре, равной $T_1 = 300$ К, поршень располагается на расстоянии $h = 1$ м от дна цилиндра. До какой температуры надо нагреть кислород, чтобы поршень расположился на высоте $H = 1,5$ м от дна цилиндра? Жесткость пружины $k = 8,3 \cdot 10^2$ Н/м.

10.19. Цилиндрический сосуд разделен на две части теплоизолирующим поршнем, связанным с каждым дном пружиной. Вначале азот, заполняющий левую часть сосуда, и гелий, заполняющий правую часть, находятся при одинаковой температуре T_0 . При этом поршень делит сосуд пополам, а обе пружины находятся в ненапряженном состоянии. Когда азот нагрели до температуры T_1 , он занял $3/4$ сосуда. При какой температуре T_x азот займет $7/8$ сосуда? Температура гелия поддерживается равной T_0 .

10.20. На какую величину различаются значения плотности воздуха летом при температуре $+27^\circ\text{C}$ и зимой при температуре -27°C ? Давление нормальное.

10.21. Какова разница в массе воздуха, заполняющего помещение объемом $V = 50 \text{ м}^3$, зимой и летом, если летом температура помещения достигает $t_1 = 40^\circ\text{C}$, а зимой падает до значения $t_2 = 0^\circ\text{C}$? Давление нормальное.

10.22. Запаянный сосуд с газом взвешен дважды - при температурах в помещении $t_1 = 0^\circ\text{C}$ и $t_2 = 17^\circ\text{C}$. Различие в результатах взвешивания оказалось равным $\Delta m = 0,1 \text{ г}$. Определить объем сосуда. Взвешивания проводились при нормальном атмосферном давлении. Тепловым расширением сосуда можно пренебречь.

10.23. Два одинаковых сосуда соединены трубкой, объемом которой можно пренебречь. Сосуды заполнены газом и находятся при температуре T . Во сколько раз изменится давление в сосудах, если один из сосудов нагреть до температуры T_1 , а другой поддерживать при прежней температуре T ?

10.24. Три одинаковых сосуда, соединенных тонкими теплонепроводящими трубками, наполнены некоторым количеством газообразного гелия при температуре $T_1 = 10$ К. Затем один из сосудов нагрели до температуры $T_2 = 40$ К, второй до $T_3 = 100$ К, а температуру третьего сосуда поддерживают неизменной. Во сколько раз изменилось давление в системе?

10.25.* Нижний конец вертикальной узкой трубки длины $2L$ (в мм) запаян, а верхний открыт в атмосферу. В нижней половине трубки находится газ при температуре T , а верхняя ее половина заполнена ртутью. До какой минимальной температуры надо нагреть газ в трубке, чтобы он вытеснил всю ртуть? Внешнее давление в миллиметрах ртутного столба численно равно L .

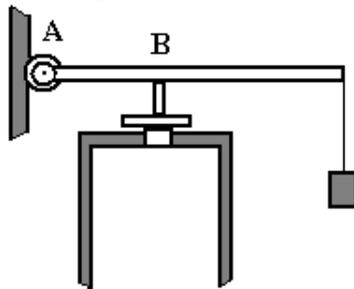


10.26. В сосуде находится смесь азота и водорода. При температуре T , когда азот полностью диссоциирован на атомы, давление равно P (диссоциацией водорода можно пренебречь). При температуре $3T$, когда диссоциированы полностью оба газа, давление в сосуде равно $4P$. Каково отношение масс водорода и азота в смеси?

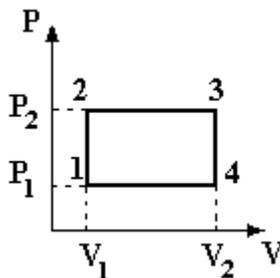
10.27. В реакции $XY_2 = X + 2Y$ все вещества являются идеальными газами. Сосуд объемом $22,4$ л вначале содержал один моль вещества XY_2 . Затем в сосуд ввели катализатор разложения. После достижения равновесия температура смеси равна 273 К, а давление равно $2p_0$, где p_0 - нормальное давление. Найдите количество молей прореагировавшего вещества XY_2 .

10.28. При расширении идеального газа в некотором процессе его давление меняется линейно с изменением объема по закону $P = aV$, где a - некоторая постоянная. Во сколько раз изменится объем газа при увеличении температуры от $T_1 = 200$ К до $T_2 = 400$ К?

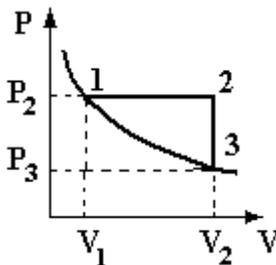
10.29. В цилиндр объемом $0,5 \text{ м}^3$, содержащий воздух при атмосферном давлении, с помощью насоса дополнительно закачивается воздух со скоростью 2 г/с . В верхнем торце цилиндра есть отверстие площадью 5 см^2 , закрытое предохранительным клапаном. Клапан удерживается в закрытом состоянии легким стержнем, который может свободно поворачиваться вокруг оси в точке А. К свободному концу стержня подвешен груз массой 2 кг . Через 580 с работы насоса клапан открывается. Температура воздуха внутри и снаружи цилиндра практически не меняется и равна 300 К . Найдите длину стержня, если известно, что расстояние $AB = 0,1 \text{ м}$.



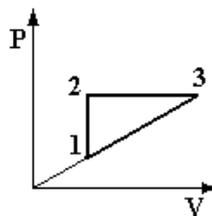
10.30. На рисунке дан график изменения состояния идеального газа в координатах PV . Представьте этот круговой процесс (цикл) в координатах PT и VT , обозначив соответствующие точки.



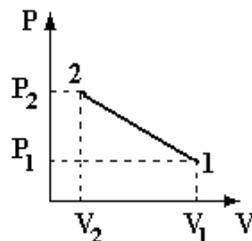
10.31. На PV - диаграмме изображен замкнутый цикл 1-2-3-1 для идеального газа. Кривая 3-1 - изотерма. Изобразите этот цикл в координатах VT и PT .



10.32. С идеальным газом проводят замкнутый процесс 1-2-3-1. На этапе 3 – 1 давление газа и его объем изменяются прямо пропорционально друг другу. Определите температуру T_3 , если температуры T_1 и T_2 известны.

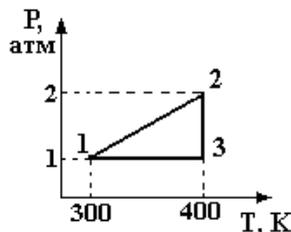


10.33. 20 г гелия, заключенных в цилиндре под поршнем, медленно переводятся из состояния 1 с объемом $V_1 = 32$ л и давлением $P_1 = 4,1$ атм в состояние 2 с объемом $V_2 = 9$ л и давлением $P_2 = 15,5$ атм. Найдите, какой наибольшей температуры достигает газ в этом процессе, если на графике зависимости давления от объема процесс изображается прямой линией.



10.34. На PТ-диаграмме изображен замкнутый процесс, который проводят с некоторой массой кислорода.

Известно, что максимальный объем, который занимал газ в этом процессе, равен $V_{\max} = 16,4$ л.



Определить массу газа и его объем в состоянии 1. Значения давлений и температур указаны на графике.

10.35.* В камеру сгорания реактивного двигателя ежесекундно поступает масса водорода m_T и столько кислорода, сколько необходимо для полного сгорания водорода. Температура образующейся воды намного превышает критическую температуру $T_{кр}$. Какую силу тяги может развивать двигатель, если температура продуктов сгорания равна T , давление в камере равно P , а площадь поперечного сечения сопла двигателя равна S ?

Молекулярно-кинетическая теория.

При решении задач используйте следующие значения основных физических постоянных:

<i>Число Авогадро</i>	$N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$
<i>Универсальная газовая постоянная</i>	$R = 8,31 \text{ Дж}/(\text{К} \cdot \text{моль})$
<i>Постоянная Больцмана</i>	$k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж}/\text{К}$

11.1. Найдите значения масс молекул водорода и кислорода, выраженные в граммах.

11.2. Какова температура газа, находящегося под давлением $P = 0,5 \text{ МПа}$, если в сосуде объемом $V = 15 \text{ л}$ содержится $N = 1,8 \cdot 10^{24}$ молекул?

11.3. Сколько молекул воздуха выходит из комнаты объемом $V = 120 \text{ м}^3$ при повышении температуры от $t_1 = 15^\circ\text{C}$ до $t_2 = 25^\circ\text{C}$? Атмосферное давление равно $P = 10^5 \text{ Па}$.

11.4. Современные вакуумные насосы позволяют понижать давление до значений $P \sim 10^{-10} \text{ Па}$. Какое число молекул газа содержится в 1 см^3 при этом давлении и температуре $t = 27^\circ\text{C}$?

11.5. Среднеквадратичная скорость молекул кислорода при температуре 0°C равна 460 м/с .

Какова среднеквадратичная скорость молекул водорода при температуре 100°C ?

11.6. При повышении температуры идеального газа на 150°C среднеквадратичная скорость его молекул увеличилась от 400 м/с до 500 м/с . На сколько градусов нужно нагреть этот газ, чтобы увеличить среднеквадратичную скорость его молекул от 500 м/с до 600 м/с ?

11.7. Два одинаковых сосуда, содержащих одинаковое количество аргона, соединены трубкой с краном. В первом сосуде среднеквадратичная скорость молекул равна 400 м/с, а во втором – 500 м/с. Какой станет эта скорость, если открыть кран, соединяющий сосуды? Сосуды теплоизолированы от окружающей среды.

11.8. Имеется 1л азота (N_2) при температуре 300 К и давлении $P = 1$ атм.

Оцените:

- 1) полное число молекул в сосуде;
- 2) число молекул в 1см^3 ;
- 3) среднюю энергию поступательного движения одной молекулы;
- 4) среднюю квадратичную скорость одной молекулы;
- 5) длину свободного пробега молекулы по формуле:
 $L \sim (\pi d^2 n)^{-1}$, где d - диаметр молекулы, n - концентрация молекул (для азота $d \cong 3,2 \cdot 10^{-8}$ см);
- 6) среднее время между столкновениями молекул друг с другом;
- 7) среднее число ударов молекул в 1см^2 стенки за секунду.

11.9. В некотором опыте используется стеклянная колба вместимостью 1 л, которая содержит азот (N_2) при комнатной температуре и атмосферном давлении. Колба помещена в сосуд, в котором должен быть вакуум. Экспериментатор не знает, что в колбе имеется небольшая дыра, линейный размер которой порядка 10^{-5} см. Оцените время, за которое 1% азота выйдет в окружающий вакуум.

11.10. В баллоне находилось 300 г гелия. Через некоторое время в результате утечки гелия и уменьшения абсолютной температуры на 10% давление в баллоне уменьшилось на 20%. Какое число молекул гелия просочилось из баллона?

11.11.* В космический корабль, совершающий межпланетный перелет, попал метеорит, пробивший в корпусе маленькое отверстие площадью $S = 1 \text{ см}^2$, через которое начал выходить воздух. Объем корабля $V = 1000 \text{ м}^3$, начальное давление воздуха в нем $P_0 = 10^5 \text{ Па}$, температура $t = 27^\circ\text{C}$. Через какое время после попадания метеорита давление воздуха в корабле уменьшится на $\Delta P = 10^3 \text{ Па}$? При решении учесть, что $\Delta P \ll P_0$, температуру воздуха внутри корабля считать постоянной, а процесс истечения воздуха квазиравновесным.

11.12.* Первоначально пустой теплоизолированный сосуд с маленькой дыркой на длительное время помещают в большой термостат, заполненный неоном. Температура сосуда поддерживается равной T_1 , а содержимого термостата – T_2 . Давление неона в термостате установилось равным P_2 и столь малым, что влетающие в сосуд и вылетающие из него атомы не сталкиваются между собой в дырке. Найти давление P_1 в сосуде.

11.13. В ампуле объемом 3 см^3 , из которой откачан воздух, в течение одного года содержится радий в количестве 5 мг . Известно, что из 1 грамма радия за 1 секунду вылетает в среднем $3,7 \cdot 10^{10}$ α -частиц (ядер гелия). Найдите давление образовавшегося в ампуле гелия при температуре 300 К .

11.14. Оцените, сколько раз в течение 1 секунды в 1 см^3 воздуха сталкиваются молекулы азота с другими молекулами. Сделайте такую же оценку для молекул кислорода.

11.15. Искусственный спутник Земли, имеющий форму шара радиусом $R = 5 \text{ м}$, движется по круговой орбите со скоростью $V = 7,9 \text{ км/с}$. Давление воздуха на высоте орбиты спутника $P = 0,9 \text{ Па}$, температура $T = 270 \text{ К}$. Найдите среднее число столкновений молекул воздуха со спутником за секунду.

11.16. В разреженном газе с молярной массой μ движется диск радиуса r с постоянной скоростью V , направленной вдоль оси диска. Давление газа P , температура T , скорость диска много меньше тепловой скорости молекул. Оцените силу сопротивления, действующую на диск.

11.17. Атмосфера Венеры состоит в основном из двуокиси углерода, имеет у поверхности давление, равное девятистам земным атмосферам и температуру $T_1=700$ К. Для атмосферы Земли температура у поверхности близка к значению $T = 300$ К. Найдите отношение плотностей атмосфер у поверхностей Венеры и Земли.

11.18.* На высоте 3 км над поверхностью Земли в 1 см^3 воздуха содержится примерно 10^2 пылинок, а у самой поверхности - примерно 10^5 . Определите среднюю массу пылинки и оцените ее размер, предполагая, что плотность пылинки $1,5 \text{ г/см}^3$. Температуру воздуха примите равной 27°C .

11.19. Плотность газа, состоящего из смеси гелия и аргона, равна $\rho = 2 \text{ кг/м}^3$ при давлении $P = 150 \text{ кПа}$ и температуре 27°C . Сколько атомов гелия находится в 1 см^3 газовой смеси?

11.20. Найти молярную массу сухого атмосферного воздуха, зная его процентный состав (по объему):

азот – $\alpha = 78 \%$, кислород – $\beta = 21 \%$, аргон – $\gamma = 1 \%$.

11.21. Каково значение молярной массы μ для солнечного вещества?

Состав Солнца (по массе): водород – $X = 73\%$, гелий – $Y = 25\%$, тяжелые элементы – $Z = 2\%$.

ТЕРМОДИНАМИКА

Первое начало термодинамики для идеального газа.

12.1. В цилиндре под поршнем находится некоторая масса воздуха. На его нагревание при постоянном давлении затрачено количество тепла $Q = 5$ кДж. Найти работу, произведенную при этом газом. Удельная теплоемкость воздуха при постоянном давлении $C_p = 10^3$ Дж/(кг·К).

Молярная масса воздуха $\mu = 29$ г/моль.

12.2. Какая масса водорода находится в цилиндре под поршнем, если при нагревании его от температуры $T_1 = 250$ К до температуры $T_2 = 680$ К газ произвел работу $A = 400$ Дж?

12.3. В цилиндре под невесомым поршнем находится воздух массой $m = 3$ кг при температуре $t = 0^\circ\text{C}$. Найти работу, совершаемую газом при нагревании его на $\Delta t = 100^\circ\text{C}$. Плотность воздуха при нормальных условиях $\rho_0 = 1,3$ кг/м³.

12.4. В цилиндре объемом $V = 190$ см³ под поршнем находится газ при температуре $T = 323$ К. Найти работу расширения газа при нагревании его на $\Delta T = 100$ К. Масса поршня $m = 120$ кг, его площадь $S = 50$ см². Атмосферное давление $P = 0,1$ МПа.

12.5. Идеальный газ в количестве $\nu = 100$ моль находится в вертикальном цилиндре под тяжелым поршнем при температуре $t_1 = 22^\circ\text{C}$. После передачи газу количества теплоты $Q = 12,5$ кДж его температура стала равной $t_2 = 27^\circ\text{C}$. Какое количество теплоты пошло на увеличение внутренней энергии газа?

12.6. Какое количество тепла необходимо для нагревания в цилиндре под поршнем азота в количестве $m = 7$ г от температуры $t_1 = 10^\circ\text{C}$ до температуры $t_2 = 25^\circ\text{C}$?

$$C_V = 21 \text{ Дж}/(\text{моль}\cdot\text{К}).$$

12.7. В цилиндре под поршнем находится воздух в количестве $\nu = 0,5$ моль при температуре $T = 300$ К. Во сколько раз увеличится объем воздуха при сообщении ему количества тепла $Q = 13,2$ кДж? $C_V = 21$ Дж/(моль·К).

12.8. В герметичном сосуде объемом $V = 11,2$ л содержится воздух при давлении $P = 1$ атм. Какое количество тепла необходимо сообщить воздуху, чтобы давление в сосуде увеличилось в три раза? $C_V = 21$ Дж/(моль·К).

12.9. В цилиндре с площадью сечения $S = 250$ см² находится азот в количестве $m = 10$ г, сжатый поршнем массой $M = 12,5$ кг. Какую работу совершит газ при нагревании его от температуры $t_1 = 25$ °С до температуры $t_2 = 625$ °С? На какую величину изменится при этом объем газа?

Атмосферное давление $P = 1$ атм.

12.10. В цилиндре под поршнем находится воздух при температуре $t = 0^\circ\text{C}$. Масса воздуха равна $m = 58$ г. Оцените, какую работу необходимо совершить, медленно надавливая на поршень, чтобы изотермически изменить объем воздуха на 1 %. Молярная масса воздуха равна $\mu = 29$ г/моль.

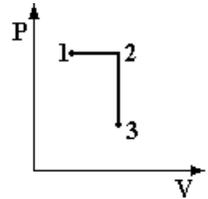
12.11. Один моль идеального одноатомного газа из состояния с начальной температурой $T_0 = 300$ К нагревают при постоянном объеме, а затем при постоянном давлении охлаждают до некоторой конечной температуры. Найдите эту температуру, если известно, что подведенное на изохоре количество теплоты $Q = 1500$ Дж, равно по величине количеству теплоты, отведенному от газа на изобарном участке.

12.12. Одна и та же масса идеального одноатомного газа совершает одинаковые работы в изобарном и изотермическом процессах. Определите отношение количества теплоты, сообщаемой газу в изобарном процессе, к количеству теплоты, сообщаемом газу в изотермическом процессе.

12.13. Газ, занимающий объем $V_1 = 0,01\text{ м}^3$, находится при давлении $P_1 = 0,1\text{ МПа}$ и температуре $T_1 = 300\text{ К}$. Газ нагревают вначале при постоянном объеме до температуры $T_2 = 320\text{ К}$, а затем при постоянном давлении до температуры $T_3 = 350\text{ К}$.

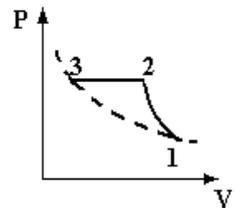
Найти работу, совершаемую газом при переходе из состояния 1 в состояние 3.

12.14. Состояние одного моля идеального газа изменялось вначале по изобаре 1-2, а затем по изохоре 2-3. При этом газом совершена работа A . Отношение давлений P_2/P_3 в состояниях 2 и 3 равно k .



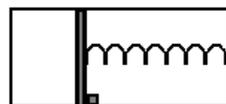
Известно, что температура в состоянии 3 равна температуре в состоянии 1. Определить эту температуру

12.15. В процессе 1-2-3 идеальный одноатомный газ сжимают сначала адиабатно, затем изобарно. Конечная температура газа равна начальной. При адиабатном сжатии внешние силы совершили работу $A_{12} = 3\text{ кДж}$. Какова работа внешних сил за весь процесс?



12.16. Два теплоизолированных баллона соединены трубкой, перекрытой вентиляем. В баллоне объемом $V_1 = 500\text{ л}$ находится $m_1 = 1,68\text{ кг}$ азота под давлением $P_1 = 3 \cdot 10^5\text{ Па}$, в баллоне объемом $V_2 = 250\text{ л}$ находится $m_2 = 1,2\text{ кг}$ аргона под давлением $P_2 = 5 \cdot 10^5\text{ Па}$. Какие значения давления и температуры установятся в баллонах, если открыть вентиль?

12.17.* В теплоизолированном цилиндре находится один моль идеального газа, отделенный поршнем от вакуума в другой части цилиндра. Поршень прикреплен

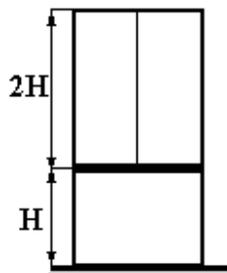


пружиной к торцу цилиндра. В начальном положении поршень закреплен и пружина не деформирована. Затем поршень отпускают, и газ расширяется. В конечном равновесном состоянии его объем оказался вдвое больше первоначального. Во сколько раз изменились давление и температура газа? Молярная теплоемкость газа при постоянном объеме равна C_V .

12.18.* В теплоизолированном вертикальном цилиндре может перемещаться тяжелый поршень. В начальный момент поршень закреплен, в верхней части сосуда - вакуум, а нижняя часть заполнена идеальным газом. Затем поршень освобождается. После установления равновесия объем, занимаемый газом, оказался в два раза меньше первоначального. Во сколько раз изменилась температура газа? Теплоемкостью сосуда пренебречь.

Молярная теплоемкость газа при постоянном объеме $C_V = 5R/2$.

12.19. Внутри закрытого вертикального цилиндрического сосуда находится тонкий тяжелый теплопроводящий поршень, который может двигаться без трения. Поршень подвешен на нити, прикрепленной к центру верхней крышки сосуда. Расстояние между дном и поршнем составляет $H = 50$ см, а между поршнем и крышкой – $2H$. В сосуде над поршнем и под поршнем находятся равные количества идеального одноатомного газа при одинаковой температуре. При этом сила натяжения нити равна $F = 10$ Н. Сосуд с газом медленно нагревают. Какое количество теплоты необходимо сообщить



всему газу, чтобы поршень начал подниматься вверх?

12.20. В горизонтальном цилиндрическом сосуде, закрытом поршнем, находится идеальный одноатомный газ. Давление газа в сосуде $P_1 = 4$ атм, снаружи – вакуум. В результате медленного нагревания газ получил количество теплоты $Q = 1,65$ кДж. При этом поршень передвинулся на расстояние $x = 10$ см. При движении поршня на него действовала сила трения со стороны стенок сосуда $F = 3$ кН. Зная, что площадь поперечного сечения поршня $S = 25$ см², найдите первоначальное расстояние от дна сосуда до поршня.

12.21. В закрепленной вертикально, открытой с обоих концов гладкой трубе находятся два поршня массой m и площадью S каждый. Между поршнями находится гелий. Верхний поршень подвешен к потолку с помощью пружины. Газу медленно сообщили количество теплоты Q . Найти перемещение нижнего поршня, считая, что атмосферное давление постоянно и равно P_0 . Теплоемкостью поршней пренебречь.

12.22. В вертикальном цилиндрическом сосуде, площадь сечения которого $S = 23$ см², под поршнем массой $M = 1$ кг находится идеальный одноатомный газ. Расстояние между дном сосуда и поршнем $h = 30$ см. На высоте $H = 50$ см на внутренней стенке сосуда имеется стопорное кольцо, препятствующее дальнейшему поднятию поршня. Найдите, какое количество теплоты нужно сообщить газу, чтобы его давление увеличилось в n раз ($n = 1,5$). Атмосферное давление $P_0 = 100$ кПа.

12.23. Объем и давление одного моля идеального одноатомного газа уменьшают пропорционально друг другу до некоторых значений. Затем давление газа изохорно увеличивают до такой величины, при которой температура становится равной первоначальной. Найти отношение количества теплоты, отданного газом, к количеству теплоты, полученному им.

12.24.* Один моль газа расширяется так, что его объем во время процесса пропорционален давлению: $V = \alpha P$. Давление газа увеличивается от P_1 до P_2 . Найдите коэффициент α , если теплоемкость моля газа при постоянном объеме равна C_V , и во время процесса газу сообщается количество теплоты Q . Найдите молярную теплоемкость газа в данном процессе.

12.25. Температура некоторой массы m идеального газа с молярной массой μ меняется по закону $T = \beta V^2$, где β - постоянная величина. Найдите графически работу, совершаемую газом при увеличении объема от V_1 до V_2 . Поглощается или выделяется при этом тепло?

Найдите молярную теплоемкость газа в этом процессе, считая C_V данного газа известной величиной.

12.26. В расположенном горизонтально закрытом цилиндре справа от гладкого поршня, прикрепленного легкой пружиной к левому дну, находится гелий. Если бы в цилиндре не было гелия, то поршень касался



бы правого дна, а пружина была бы не деформирована. Найти молярную теплоемкость гелия в этих условиях, считая, что нагревание осуществляется достаточно медленно.

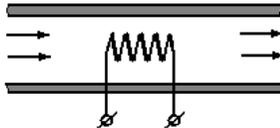
Цилиндр теплоизолирован.

12.27.* В стоящем на столе вертикальном цилиндре под поршнем массой M и площадью S содержится один моль гелия. С помощью спирали, находящейся внутри цилиндра, газ начинают медленно нагревать. При этом поршень сразу начинает подниматься. Сила трения поршня о цилиндр равна F . Пренебрегая теплообменом с внешней средой и теплоемкостью поршня с цилиндром, найти теплоемкость системы «цилиндр-поршень-газ». Атмосферное давление равно P_0 .

12.28*. Получает или отдает тепло газ, расширяющийся по закону $PV^2 = \text{const}$? Найдите его молярную теплоемкость в этом процессе, считая C_V данного газа известной величиной.

12.29.* Одной из причин понижения температуры в атмосфере с высотой является расширение воздуха в восходящих потоках без теплообмена с окружающей средой. Считая воздух идеальным газом, найти понижение температуры на каждые $h = 100\text{м}$ высоты.

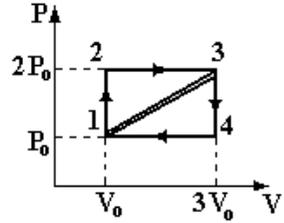
12.30.* В проточном калориметре исследуемый газ пропускают по трубопроводу и нагревают электронагревателем. При этом измеряют количество газа, пропускаемое через трубопровод в единицу времени, и температуру газа до и после нагревателя. Определить мощность нагревателя, если при продувании воздуха в калориметре температура за нагревателем оказалась на величину $\Delta T = 5\text{ К}$ выше, чем перед нагревателем. Массовый расход воздуха $M_\tau = 720\text{ кг/ч}$. Можно считать, что все тепло, выделяемое нагревателем, отдается газу.



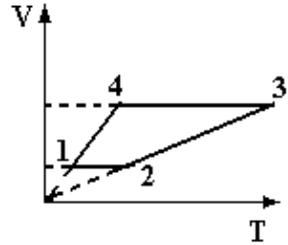
Циклические процессы. Тепловые двигатели.

12.31. Моль идеального газа находится первоначально при температуре T_1 . Газ при постоянном объеме нагревают до температуры T_2 , затем при постоянном давлении нагревают до температуры T_3 . Далее газ охлаждают при постоянном объеме так, что его давление падает до первоначального значения. Наконец, при постоянном давлении газ возвращают в первоначальное состояние. Какую работу совершил газ в замкнутом процессе?

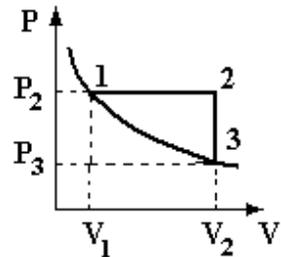
12.32. На рисунке изображены два замкнутых циклических процесса: 1-2-3-1 и 1-3-4-1. Оба цикла проведены с идеальным одноатомным газом. У какого из циклов КПД выше и во сколько раз?



12.33. Газ совершает круговой процесс, изображенный на рисунке. Какая работа может быть совершена за один цикл при таком процессе, если температура $T_1 = 273$ К, а температура $T_3 = 400$ К? Объем газа при температуре T_1 равен $V_1 = 5$ л, при температуре T_3 равен $V_3 = 6$ л, а при нормальных условиях данное количество газа занимает объем $V_0 = 10$ л.



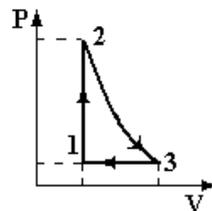
12.34. Моль идеального газа совершает замкнутый цикл. Сначала газ изобарно нагревается, так что его объем увеличивается: $V_2/V_1 = n$. Затем он изохорно охлаждается, так что его давление уменьшается: $P_2/P_3 = m$. Наконец, газ адиабатно переходит в исходное состояние. Определите по этим данным, какая работа была совершена над газом на адиабатном участке, если известна его начальная температура T_1 и молярная теплоемкость C_V .



12.35. Найти КПД цикла, состоящего из двух изохор и двух адиабат, если степень сжатия $V_2/V_1 = n = 8$ и рабочим телом тепловой машины является идеальный одноатомный газ.

12.36. Найти КПД изображенного на диаграмме цикла тепловой машины, если рабочим телом является идеальный одноатомный газ и отношение $\frac{V_3}{V_1} = 8$.

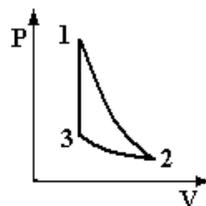
1-2 – изохора, 2-3 – адиабата, 3-1 – изобара.



Ответ дайте в виде обыкновенной дроби.

12.37. Один моль идеального одноатомного газа перевели из состояния 1 с температурой T в состояние 2, увеличивая его объем и подводя тепло от нагревателя. При этом температура газа в состоянии 2 оказалась равной температуре в состоянии 1, а давление стало равным P . Затем газ изобарно сжали до состояния 3 с объемом V и потом изохорно перевели в состояние 1. Какую работу совершил газ на участке 1 – 2, если КПД проведенного цикла равен η ?

12.38. Рабочим телом тепловой машины является один моль идеального одноатомного газа. Рабочий цикл машины, показанный на рисунке, состоит из адиабатного расширения 1-2, изотермического сжатия 2-3 и изохорного процесса 3-1.

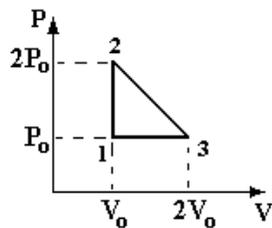


КПД такой машины равен $\eta = 20\%$.

Найти разность максимальной и минимальной температур газа в цикле, если известно, что работа, совершенная над газом в изотермическом процессе, равна $A = 25$ Дж.

12.39. Моль аргона изотермически расширяется, совершая работу A . Затем, после изохорного охлаждения адиабатическим сжатием возвращается в исходное состояние. Максимальное изменение температуры в цикле равно ΔT . Найти КПД цикла.

12.40.* Найти КПД замкнутого процесса, осуществляемого с идеальным одноатомным газом. Процесс 1-2 – изохора, 2-3 – изобара, а на участке 3-1 давление меняется линейно с изменением объема. Ответ записать в виде обыкновенной дроби.



12.41.* При сжигании в печи некоторого количества дров выделяется $Q_0 = 2$ кДж тепла. В вашем распоряжении имеется обратимая (т.е. работающая по циклу Карно) тепловая машина и обратимый тепловой насос со следующими характеристиками:

машина - $t_{\text{нагр}} = 100$ °С, $t_{\text{хол}} = 0$ °С;

насос - $t_{\text{нагр}} = 16$ °С, $t_{\text{хол}} = -10$ °С

Какое количество тепла Q можно получить, если тепло от сжигания дров Q_0 передать в тепловую машину, а с помощью полученной от нее работы запустить тепловой насос?

12.42. Какую минимальную мощность должен потреблять мотор работающего по циклу Карно морозильника, в камере которого поддерживается температура $t_1 = -23$ °С, если в нее через стенки поступает количество теплоты, равное $q = 0,1$ МДж за время $\tau = 1$ ч?

Температура радиатора морозильника равна $t_2 = 57$ °С, а КПД мотора равен $\eta_m = 0,8$.

Чему равен при этом холодильный коэффициент?

12.43.* Идеальный одноатомный газ нагревают так, что его давление, изменяясь пропорционально квадратному корню из температуры ($P \sim \sqrt{T}$), возрастает в n раз. Затем газ охлаждают, при этом его давление уменьшается пропорционально температуре ($P \sim T$) до начального значения. После этого газ изобарно возвращают в исходное состояние. Найти КПД теплового двигателя, работающего по такому циклу.

12.44.* Один моль гелия используется в качестве рабочего вещества теплового двигателя, работающего по циклу 1-2-3-1. На участке 1-2 среднеквадратичная скорость u теплового движения атомов гелия изменяется обратно пропорционально его концентрации n , на участке 2-3 величина n остается постоянной, а на участке 3-1 величина u изменяется обратно пропорционально квадратному корню из n . Найти КПД этого цикла, если известно, что на участке 1-2 энергия теплового движения атомов гелия увеличивается в $k = 4$ раза.

***Фазовые переходы. Уравнение теплового баланса.
Тепловое расширение твердых и жидких тел.***

При решении задач численные значения термодинамических характеристик воды считать равными:

<i>Удельная теплоемкость воды</i>	$c_v = 4,2 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$
<i>Удельная теплоемкость льда</i>	$c_l = 2,1 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$
<i>Удельная теплота плавления льда</i>	$\lambda = 330 \text{ кДж}/\text{кг}$
<i>Удельная теплота парообразования воды</i>	$r = 2260 \text{ кДж}/\text{кг}$

13.1. В железном калориметре массой 100 г находится вода в количестве 0,5 л при температуре 15°C . В калориметр бросают свинец и алюминий общей массой 150 г, имеющие температуру 100°C . В результате температура воды поднимается до 17°C . Определить массы свинца и алюминия по отдельности.

Удельная теплоемкость свинца равна $125,7 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$, алюминия - $836 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$ и железа - $460 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$.

13.2. В сосуд с водой, имеющий совместную теплоемкость $C = 1670 \text{ Дж}/\text{К}$ при температуре $t_1 = 20^\circ\text{C}$ поместили лед в количестве $m = 100 \text{ г}$ при температуре $t_2 = -8^\circ\text{C}$. Найдите, какая температура установится в сосуде.

13.3. В калориметр, содержащий 250 г воды при 15°C , брошено 20 г мокрого снега. Температура в калориметре понизилась на 5°C . Сколько воды было в снеге? Теплоемкостью калориметра пренебречь.

13.4. Пробирка, содержащая 12 г воды, помещается в охлаждающую смесь, где вода переохлаждается до -5°C . Затем пробирка вынимается и встряхивается, в результате часть воды замерзает. Найдите, сколько воды должно обратиться в лед, если считать, что между водой и стенками пробирки не происходит теплообмена.

13.5. Какое количество топлива приходится сжечь, чтобы спутник массой $m = 1000$ кг вывести на круговую орбиту вблизи поверхности Земли? Считать, что в полезную работу превращается $\eta = 40\%$ теплоты, выделяемой при сгорании. Теплотворная способность топлива $q = 2 \cdot 10^8$ Дж/кг. Принять радиус Земли $R = 6400$ км, $g = 10$ м/с².

13.6. Для измерения температуры воды массой $m = 66$ г, в нее погрузили термометр, который показал $t_1 = 32,4^{\circ}\text{C}$. Какова была действительная температура воды t_x , если теплоемкость термометра $c = 1,9$ Дж/К и перед погружением в воду он показывал температуру помещения $t_0 = 17,8^{\circ}\text{C}$?

13.7. Обмотка мощного электромагнита питается постоянным током и потребляет мощность $P = 5$ кВт. Для предотвращения перегрева обмотки магнит снабжен охлаждающим устройством, по которому течет вода, поглощающая $\eta = 84\%$ выделяющегося в обмотке тепла.

Определить необходимый расход воды (в кубических метрах за секунду), если температура воды не должна повышаться более чем на $\Delta T = 25$ К.

13.8.* Электрический утюг с терморегулятором, установленным в положение "шерсть", нагревается до температуры $t_1 = 140^\circ\text{C}$. При этом регулятор включает утюг на время $\tau = 30$ с, после чего в течение времени $T_1 = 5$ мин утюг выключен. В положении регулятора "лён" утюг включается на то же время $\tau = 30$ с, но через более короткие промежутки выключения $T_2 = 3$ мин. Определить температуру утюга t_2 при регуляторе, установленном в положение "лен". Температурной зависимостью сопротивления нагревателя пренебречь. Температура в комнате $t_0 = 20^\circ\text{C}$.

13.9. В стеклянный сосуд, имеющий массу $m_1 = 120$ г и температуру $t_1 = 20^\circ\text{C}$, налили горячую воду массой $m_2 = 200$ г при температуре $t_2 = 100^\circ\text{C}$. Спустя время $\tau = 5$ мин температура сосуда с водой стала равной $\theta = 40^\circ\text{C}$. Теряемое в единицу времени количество теплоты постоянно. Найдите, какое количество теплоты терялось в единицу времени?

Удельная теплоемкость сосуда $c = 840$ Дж/(кг К).

13.10. Тигель, содержащий некоторое количество олова, нагревается электрическим током. Выделяемое в единицу времени количество тепла постоянно. За время $\tau_1 = 10$ мин температура олова повышается от $t_1 = 20^\circ\text{C}$ до $t_2 = 70^\circ\text{C}$. Спустя еще $\tau_2 = 83$ мин олово полностью расплавилось. Рассчитайте по этим данным удельную теплоемкость олова.

Температура плавления олова $t_{\text{пл}} = 232^\circ\text{C}$, его удельная теплота плавления $\lambda = 58,5$ кДж/кг. Теплоемкостью тигля и потерями тепла в окружающее пространство пренебречь.

13.11. В кастрюлю налили холодную воду, имеющую температуру 10°C , и поставили на электроплитку. Через 10 мин вода закипела. Через какое время она полностью испарится?

13.12. За время $\tau = 1$ ч в холодильнике превращается в лед при температуре $t_1 = 0^\circ\text{C}$ масса воды $m = 3,6$ кг, имевшая начальную температуру $t_0 = 20^\circ\text{C}$.

Найдите, какая мощность потребляется холодильником от электросети, если он отдает в окружающее пространство в единицу времени количество тепла $Q = 840$ Дж/с.

13.13. В сосуд положили кусок льда массы $m = 10$ кг, имеющий температуру $t = -10^\circ\text{C}$. Сколько воды будет в сосуде после того, как его содержимому сообщили количество теплоты $Q = 20$ МДж? Теплоемкостью сосуда пренебречь.

13.14. В сосуде содержится смесь воды ($m_1 = 500$ г) и льда ($m_2 = 54,4$ г) при температуре $t_1 = 0^\circ\text{C}$. В сосуд вводится сухой насыщенный пар массы $m_3 = 6,6$ г при температуре $t_2 = 100^\circ\text{C}$.

Какой будет температура содержимого сосуда после установления теплового равновесия? Теплоемкостью сосуда пренебречь.

13.15. Под колоколом воздушного насоса находится 40 г воды при температуре 0°C . Воздух из-под колокола быстро откачивают. Благодаря интенсивному испарению воды, оставшаяся часть ее замерзает. Найти массу образовавшегося льда, если его температура также 0°C .

13.16. Приготовление пищи в кастрюле-скороварке ведется при температуре $t = 108^\circ\text{C}$ и повышенном давлении. Какая часть воды испарится после разгерметизации скороварки? Теплообменом за время установления равновесия пренебречь.

13.17. Найти, какая часть затраченной на парообразование энергии идет на совершение работы против сил атмосферного давления при $t = 100^\circ\text{C}$, если удельный объем пара $V = 1,65$ м³/кг.

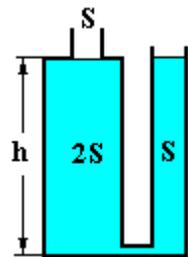
13.18. Диаметр стеклянной пробки, застрявшей в горлышке флакона, $d_0 = 2,5$ см. Чтобы вынуть пробку, горлышко нагрели до температуры $t_1 = 150^\circ\text{C}$. Сама пробка при этом успела нагреться до температуры $t_2 = 50^\circ\text{C}$. Какова ширина образовавшегося зазора? Температурный коэффициент линейного расширения стекла $\alpha = 9 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$.

13.19. Какую силу надо приложить к медной проволоке сечением $S = 10 \text{ мм}^2$, чтобы растянуть ее на столько же, на сколько она удлиняется при нагревании на $\Delta t = 20^\circ\text{C}$?

Коэффициент линейного расширения меди $\alpha = 1,7 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$, модуль Юнга меди $E = 1,2 \cdot 10^{11} \text{ Н/м}^2$.

13.20. Ртутный термометр предназначен для измерения температуры от 0°C . При $t_0 = 0^\circ\text{C}$ ртуть заполняет шарик термометра целиком. Объем канала между делениями, соответствующими 0°C и 100°C , равен $V = 3 \text{ мм}^3$. Найдите объем шарика, если известно, что коэффициент объемного расширения ртути $\beta = 1,8 \cdot 10^{-4} \text{ K}^{-1}$, а коэффициент линейного расширения стекла $\alpha = 8 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$.

13.21. Два сообщающихся сосуда заполнены жидкостью при температуре 0°C до высоты h . Площадь поперечного сечения правого сосуда S . Левый сосуд до высоты h имеет сечение площадью $2S$, а выше этого уровня – сечение площадью S . В правом



сосуде температуру жидкости поддерживают неизменной и равной t_0 , а в левом сосуде жидкость нагревают до температуры t_1 . На какую величину поднимется при этом уровень жидкости в каждом сосуде? Температурный коэффициент объемного расширения жидкости равен β . Тепловым расширением сосудов пренебречь.

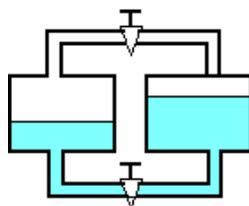
РЕАЛЬНЫЕ ГАЗЫ. ЖИДКОСТИ.

Свойства паров. Влажность.

14.1. Жидкость налита в два сообщающихся сосуда. Один из сосудов плотно закрывается. Изменится ли положение уровней жидкости в сосудах? Почему?

14.2. На улице целый день моросит холодный осенний дождь. В комнате развешано выстиранное белье. Высохнет ли белье быстрее, если открыть форточку?

14.3. Два сосуда соединены трубками с кранами и наполнены водой до разных уровней. Воздух из сосудов откачан. Что произойдет, если открыть а) верхний кран? б) нижний кран?



14.4*. В закрытом откачанном сосуде находятся две капли одной и той же жидкости - большая и маленькая. Что будет происходить с каплями с течением времени?

14.5. Найдите относительную влажность воздуха в комнате при 18°C , если точка росы оказалась равной 10°C .

$$P_{\text{нп}}(18^{\circ}\text{C}) = 2,07 \text{ кПа}, P_{\text{нп}}(10^{\circ}\text{C}) = 1,23 \text{ кПа}.$$

14.6. Относительная влажность воздуха вечером при 16°C равна 55%. Выпадет ли роса, если ночью температура понизится до 8°C ? $P_{\text{нп}}(16^{\circ}\text{C}) = 1,81 \text{ кПа}, P_{\text{нп}}(8^{\circ}\text{C}) = 1,06 \text{ кПа}.$

14.7. Днем при 20°C относительная влажность воздуха была 60%. Сколько воды в виде росы выделится из каждого кубического метра воздуха, если температура ночью понизится до 8°C ?

$$P_{\text{нп}}(20^{\circ}\text{C}) = 2,33 \text{ кПа}, P_{\text{нп}}(8^{\circ}\text{C}) = 1,06 \text{ кПа}.$$

14.8. В сосуде содержится $V_1 = 2$ л воздуха с относительной влажностью $f_1 = 40\%$. Второй сосуд содержит $V_2 = 6$ л воздуха с относительной влажностью $f_2 = 30\%$. Какой объем влажного воздуха следует закачать из второго сосуда в первый, чтобы влажность воздуха в нем стала равной $f = 75\%$? Температура поддерживается постоянной.

14.9. Смешали две порции влажного воздуха одинаковой температуры. В одной порции воздух имел относительную влажность $f_1 = 20\%$ и занимал объем $V_1 = 2$ м³. В другой порции воздух имел относительную влажность $f_2 = 10\%$ и занимал объем $V_2 = 1$ м³. Объем смеси, не изменяя температуры, сделали равным $V_3 = 2,5$ м³. Чему равна относительная влажность воздуха в конечном состоянии?

14.10. В сосуде, имеющем объем $V = 100$ дм³, при температуре $t = 30^\circ\text{C}$ находится воздух с относительной влажностью $f = 30\%$. Какова будет относительная влажность, если в сосуд ввести $m = 1$ г воды?

$$P_{\text{нп}}(30^\circ) = 4,24 \text{ кПа.}$$

14.11. В сосуд объемом $V = 15$ л, содержащий сухой воздух при комнатной температуре, ввели $m = 5$ г воды, а затем сосуд закрыли. Найти относительную влажность воздуха после нагревания сосуда до температуры $t = 100^\circ\text{C}$.

14.12. В комнате объемом $V = 40$ м³ при температуре 20°C относительная влажность воздуха $f_1 = 20\%$. Какую массу воды нужно испарить для увеличения относительной влажности воздуха до $f_2 = 50\%$?

Плотность насыщенного пара при температуре 20°C равна $\rho_{\text{нп}} = 17,3 \cdot 10^{-3}$ кг/м³.

14.13. В сосуде находится воздух при температуре $t_1 = 10^\circ\text{C}$ с относительной влажностью $f_1 = 60\%$. Какова будет относительная влажность после уменьшения объема в $k = 3$ раза и нагревания воздуха до температуры $t_2 = 100^\circ\text{C}$?

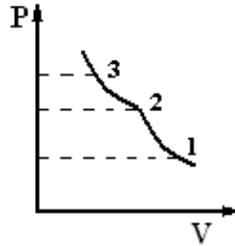
Плотность насыщенного пара при температуре 10°C равна $\rho_{\text{нп}} = 9,4 \cdot 10^{-3} \text{ кг/м}^3$.

14.14. Влажный воздух, масса которого вместе с водяными парами равна m , занимает объем V при температуре T и давлении P . Давление насыщенных паров при этой температуре равно P_0 . Молярная масса сухого воздуха равна μ_1 , водяных паров - μ_2 . Определить относительную влажность воздуха.

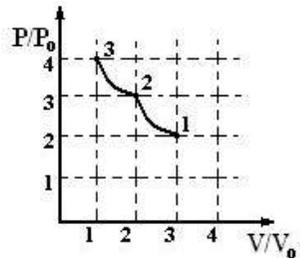
14.15. В предварительно откачанной и запаянной капсуле находится жидкость и ее насыщенный пар. Опишите, что будет происходить с веществом при нагревании, если объем капсулы:

- 1) равен критическому ($V = V_{\text{кр}}$)?
- 2) меньше критического ($V < V_{\text{кр}}$)?
- 3) больше критического ($V > V_{\text{кр}}$)?

14.16. На рисунке изображена изотерма влажного воздуха. Давление воздуха в точках 1, 2 и 3 равно P_1 , P_2 и P_3 соответственно. Определить относительную влажность воздуха в этих точках.



14.17. На PV -диаграмме показана экспериментально полученная изотерма влажного воздуха, где P_0 и V_0 - постоянные величины. Найти отношение массы сухого воздуха к массе паров воды в точке 1.



14.18. Какова была относительная влажность воздуха в сосуде под поршнем при 20°C и давлении 1 атм , если конденсация воды из этого воздуха при 100°C началась при давлении 60 атм ?

Давление насыщенных паров воды при 20°C равно $17,5\text{ мм рт.ст.}$

14.19. В цилиндре под поршнем находится газ с парами воды. После изотермического уменьшения объема смеси в n раз на стенках цилиндра появилась роса. Первоначальное давление смеси было равно P , давление насыщенных паров воды при температуре смеси равно P_n . Найти отношение числа молекул газа к числу молекул воды в сосуде.

14.20. В гладком вертикальном цилиндре под поршнем массой M находится сухой воздух при температуре T_0 . Площадь поперечного сечения поршня равна S , атмосферное давление P_A . В цилиндр впрыснули некоторое количество воды, а затем его медленно нагрели до такой температуры T , при которой часть воды испарилась. Давление насыщенных паров при этой температуре равно P_n . Во сколько раз изменился объем воздуха под поршнем?

14.21. В цилиндрический сосуд, содержащий воздух, налили небольшое количество воды и закрыли сверху подвижным поршнем. Через некоторое время половина налитой воды испарилась, а пар стал насыщенным. Сначала объем под поршнем при постоянной температуре уменьшили в 2 раза, в результате чего давление в сосуде увеличилось в 1,5 раза. Затем объем под поршнем непрерывно увеличивали при той же температуре, пока вода полностью не испарилась. Найдите отношение давления в сосуде в этот момент к первоначальному давлению.

14.22. В закрытом с обоих концов цилиндре, объем которого $V = 1$ л, свободно ходит невесомый тонкий поршень. В одной части цилиндра находится $m_1 = 1$ г воды, в другой части цилиндра – $m_2 = 2$ г азота. Какую часть объема цилиндра займет азот при 100°C ?

14.23. В закрытом с обоих концов цилиндре, объем которого $V = 1$ л, свободно ходит невесомый тонкий поршень. В одной части цилиндра находится $m_1 = 0,1$ г воды, в другой части цилиндра – $m_2 = 0,5$ г азота. Какую часть объема цилиндра займет азот при 100°C ?

14.24. В закрытом с обоих концов цилиндре, объем которого $V = 1$ л, свободно ходит невесомый тонкий поршень. В одной части цилиндра находится $m_1 = 0,5$ г воды, в другой части цилиндра – $m_2 = 0,5$ г азота. Какую часть объема цилиндра займет азот при 100°C ?

14.25. Под колоколом воздушного насоса находится влажная губка. В процессе откачивания под колоколом установилось давление $P = 1$ кПа и температура $t = 7^\circ\text{C}$. Спустя время $\tau = 1$ ч после начала откачки давление резко упало. Найти массу воды, которая содержалась в губке. Насос откачивает в единицу времени объем $V = 10$ л/с.

14.26. В цилиндрическом сосуде под поршнем находится насыщенный пар при температуре T . При вдвигании поршня совершается работа A . Какая масса пара сконденсируется?

14.27. В объеме $V_1 = 20$ л содержится насыщенный пар при температуре $t = 100^\circ\text{C}$. Какую работу надо совершить, чтобы путем изотермического сжатия уменьшить объем пара до величины $V_2 = 10$ л? Объемом воды, образовавшейся при конденсации, пренебречь.

14.28. Насыщенный водяной пар находится в цилиндре под поршнем при температуре $t = 100^\circ\text{C}$ в объеме $V = 15$ л. Пар изотермически сжимают, совершая над ним работу $A = 200$ Дж. Сколько тепла при этом должно быть отведено?

14.29. В цилиндре под невесомым поршнем с площадью сечения $S = 100\text{ см}^2$ находится $m = 18$ г насыщенного водяного пара. В цилиндр впрыскивают воду в количестве $M = 18$ г при температуре $t = 0^\circ\text{C}$. На какое расстояние опустится поршень? Атмосферное давление $P_0 = 10^5$ Па. Теплоемкостью цилиндра и теплоотдачей пренебречь.

Поверхностное натяжение жидкости

При решении задач коэффициент поверхностного натяжения воды при 20°C принять равным $\sigma = 7,2 \cdot 10^{-2}$ Н/м.

15.1. Какую работу надо совершить при выдувании мыльного пузыря радиусом 4 см?

Для мыльного раствора $\sigma = 0,04$ Н/м.

15.2. В прямоугольной проволочной рамке сторона АВ может свободно скользить по направляющим. Внутри рамки образовалась мыльная пленка. С какой



силой надо удерживать проволоку АВ в равновесии, если длина проволоки 3 см? Для мыльного раствора $\sigma = 0,04$ Н/м.

15.3. Тонкое проволочное кольцо диаметром 34 мм подвешено к пружине так, что плоскость кольца горизонтальна. Кольцо погружают в сосуд с водой, и затем сосуд медленно опускают. Пружина при этом растягивается. Какое значение коэффициента поверхностного натяжения получено в данном опыте, если максимальное растяжение пружины 32 мм, а жесткость пружины равна 5 мН/см?

15.4. Для определения коэффициента поверхностного натяжения воды была использована пипетка с диаметром выходного отверстия 2 мм. Масса 40 капель оказалась равной 1,9 г. Какое значение коэффициента поверхностного натяжения воды получается по этим данным?

15.5. Смачиваемый водой кубик массы $m = 20$ г плавает на поверхности воды. Ребро кубика имеет длину $a = 3$ см. На каком расстоянии от поверхности воды находится нижняя грань кубика? Какую поправку вносит поверхностное натяжение?

15.6. Сосуд («решето»), дно которого имеет круглые отверстия диаметром $d = 1$ мм, наполняется водой. Найти максимальную высоту уровня воды h , при которой она еще не выливается. Вода не смачивает дно сосуда.

15.7. Капля воды массы $m = 10$ мг введена между двумя параллельными стеклянными пластинками, полностью смачиваемыми водой. Расстояние между пластинками составляет $d = 10^{-4}$ см. Чему равна сила притяжения между пластинками вследствие наличия воды?

15.8. На какую высоту поднимается вода между двумя параллельными стеклянными пластинками, находящимися на расстоянии $d = 0,2$ мм друг от друга?

15.9. Конец длинной капиллярной трубки опущен в воду. Какое количество тепла выделится при поднятии жидкости по капилляру?

15.10. Конец стеклянной капиллярной трубки имеет радиус $r = 0,5$ мм. Какое давление необходимо создать, чтобы выдуть пузырек воздуха через нижний конец трубки, опущенный в воду на глубину 2 см?

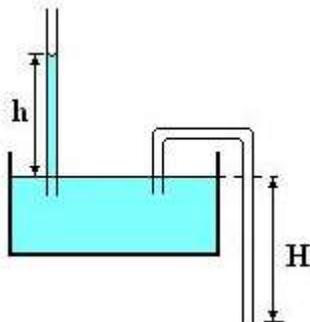
15.11. Стекло́нная капи́лярная трубка, внутрен́ний диаметр которой 0,5 мм, погружена́ в воду. Верхний ко́нец трубки выступа́ет на 2 см над по́верхностью воды. Ка́кую форму́ будет иметь мени́ск?

15.12. В двух дли́нных откры́тых с обо́их сторон капи́лярах, распо́ложенных вертика́льно, находя́тся столби́ки воды дли́ны 2 см и 4 см. На́йдите ради́ус кривизны́ нижне́го мени́ска в ка́ждом из капи́ляров, если их внутрен́ний диаметр ра́вен 1 мм, а смачива́ние полно́е.

15.13. В капи́лярной тру́бке, опу́щенной вертика́льно в воду на глубину L , вода подня́лась на высоту́ h . Ниж́ний ко́нец тру́бки закрыва́ют, вынима́ют ее из воды́ и вно́вь открыва́ют. Опреде́лить дли́ну столби́ка воды́, оста́вшейся в тру́бке.

15.14. В сосу́де с водо́й опу́щены два капи́ляра одина́кового сече́ния. Во́да в пря́мом капи́ляре подни́мается на высоту́ h . На ка́ком уровне́ устано́вится во́да в изогну́том капи́ляре и ка́кую форму́ примет в нем мени́ск? Ниж́ний ко́нец изогну́того капи́ляра распо́ложен ниже́ уровне́ны во́ды в сосу́де на вели́чину H . Рассмотреть́ пять́ случа́ев:

- 1) $H > h$; 2) $H = h$; 3) $0 < H < h$; 4) $H = 0$;
- 5) $H < 0$ (ко́нец изогну́того капи́ляра выше́ уровне́ны во́ды в сосу́де).



ОТВЕТЫ

ЗАКОНЫ ИДЕАЛЬНОГО ГАЗА

Газовые законы

10.3. $h = 25 \text{ см}$

10.4. $P_o = 375 \text{ мм Hg}$

10.5. $x = 10 \text{ мм}$

10.6. $V = \frac{(T_1 L_2 - T_2 L_1)}{T_2 - T_1} S = 106 \text{ см}^3$

10.7. $T_2 = T_1 \left(\frac{F}{SP_o} + 1 \right) = 351 \text{ К} = 78^\circ\text{C}$

10.8. $N = \frac{\Delta P T_o V_1}{P_o V_o T_1} = 675$

10.9. $P_3 = P_o \left(\frac{k}{1+k} \right)^3 = 324 \text{ мм рт.ст.}$

10.10. $P_o = P_6 \left(1 + \frac{V_1}{V} \right)^6 = 750 \text{ мм рт.ст.}$

10.11. $N = \frac{\log\left(\frac{P_o}{P}\right)}{\log\left(1 + \frac{\Delta V}{V}\right)}$

10.12. $P = 2 \text{ атм}$

10.13. $x = 1,36 \text{ см}$

10.14. $L_B : L_K = 80 : 5$

$$10.15. x = \frac{PS_h}{mg}$$

$$10.16. \frac{V_B}{V_H} \approx 1,9$$

$$10.17. a = g\left(\frac{h}{x} - 1\right) = 2 \text{ м/с}^2$$

$$10.18. T_2 = T_1 \frac{H}{h} + \frac{MkH(H-h)}{mR} = 487 \text{ К}$$

$$10.19. T_x = \frac{7}{4}(T_0 + T_1)$$

$$10.20. \Delta\rho = 256 \text{ г/м}^3$$

$$10.21. \Delta m = 8,2 \text{ кг}$$

$$10.22. V = 1,33 \text{ л}$$

$$10.23. \frac{P}{P_o} = 2 \frac{T_1}{T + T_1}$$

$$10.24. \frac{P}{P_o} = 3 \frac{T_2 T_3}{T_1 T_2 + T_2 T_3 + T_1 T_3} = \frac{20}{9}$$

$$10.25. T = \frac{9}{8} T_0$$

$$10.26. m_N : m_H = 14$$

$$10.27. \nu = 0,5 \text{ моль}$$

$$10.28. \frac{V_2}{V_1} = \sqrt{\frac{T_2}{T_1}} = \sqrt{2}$$

$$10.29. L \approx 0,5 \text{ м}$$

$$10.32. T_3 = \frac{T_2^2}{T_1}$$

$$10.33.* T_{\max} \approx 490 \text{ К}$$

10.34. $m \approx 16 \text{ г}; V_1 = 12,3 \text{ л}$

10.35.* $F = (m_\tau^2 RT \mu_1) / (PS \mu_2^2) = 9m_\tau^2 RT / 2PS,$

где μ_1 и μ_2 – молярные массы H_2O и H_2 соответственно

Молекулярно-кинетическая теория.

11.6. $\Delta T = 183^\circ\text{C}$

11.7. $V = 453 \text{ м/с}$

11.10. $N = 5 \cdot 10^{24}$ молекул

11.11.* $\tau = \frac{\Delta PV}{P_0 S} \sqrt{\frac{\mu}{2RT}} \approx 240 \text{ с} = 4 \text{ мин.}$

11.12.* $P_1 = P_2 \sqrt{\frac{T_1}{T_2}}$

11.13. $P \approx 8 \text{ Па}$

11.15. $n = \pi R^2 V \frac{P}{kT} \approx 1,5 \cdot 10^{26} \text{ с}^{-1}$

11.16*. $F \approx 4\pi r^2 PV \sqrt{\frac{\mu}{3RT}}$

11.17. $n \approx 58,5$

11.18. $m = 10^{-21} \text{ г}, \quad r = 10^{-7} \text{ см}$

11.19. $n = \frac{N_A}{(\mu_2 - \mu_1)} \left(\frac{\mu_2 P}{RT} - \rho \right) = 6,8 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$, где μ_1 и μ_2 –
молярные массы гелия и аргона соответственно.

11.20. $\mu \approx 29 \text{ г/моль}$

11.21. $\mu \approx 0,6 \text{ г/моль}$

ТЕРМОДИНАМИКА

Первое начало термодинамики для идеального газа.

12.1. $A = 1,43 \text{ кДж}$

12.2. $m = 0,22 \text{ г}$

12.3. $A = 84,5 \text{ кДж}$

12.4. $A = 20 \text{ Дж}$

12.5. $\Delta U = 8450 \text{ Дж}$

12.6. $Q = 109 \text{ Дж}$

12.7. $V_2/V_1 \approx 4$

12.8. $Q = 5600 \text{ Дж}$

12.9. $A = 1715 \text{ Дж}; \Delta V = 16 \text{ дм}^3$

12.10. $A = \frac{m}{\mu} RT \frac{\Delta V}{V} \approx 45 \text{ Дж}$

12.11. $T_x = T_o + 4Q/15R = 348 \text{ К}$

12.12. $Q_1/Q_2 = 2,5$

12.13. $A = P_1 V_1 (T_3 - T_2)/T_1 = 100 \text{ Дж}$

12.14. $T = \frac{A}{R(k-1)}$

12.15. $A = \frac{5}{3} A_{12} = 5 \text{ кДж}$

12.16. $T = 346 \text{ К}; \quad P = 3,5 \cdot 10^5 \text{ Па}$

$$12.17.* \quad \frac{T}{T_o} = 2 \frac{P}{P_o} = 4 \frac{C_v}{4C_v + R}$$

$$12.18.* \quad \frac{T}{T_o} = \frac{5}{3}$$

$$12.19. \quad Q = 6FH = 30 \text{ Дж}$$

$$12.20. \quad L = \frac{2Q - 5Fx}{3(F - P_1S)} = 30 \text{ см}$$

$$12.21. \quad \Delta x = \frac{0,4Q}{SP_o - mg}$$

$$12.22. \quad Q = \frac{1}{2} (P_oS + Mg)[(3n + 2)H - 5h] = 210 \text{ Дж}$$

$$12.23. \quad \frac{Q_1}{Q_2} = \frac{4}{3}$$

$$12.24. \quad \alpha = \frac{QR}{(P_2^2 - P_1^2)(C_v + \frac{R}{2})}; \quad C_\alpha = C_v + \frac{R}{2}$$

$$12.25. \quad A = \frac{1}{2} \beta \frac{m}{\mu} R(V_2^2 - V_1^2); \quad C = C_v + \frac{R}{2}$$

$$12.26. \quad C = C_v + \frac{R}{2} = 2R$$

$$12.27.* \quad C = \frac{5}{2} R - \frac{FR}{Mg + P_oS + F}$$

$$12.28.* \quad C = C_v - R$$

$$12.29.* \quad \Delta T = \frac{\mu gh}{C_p} \approx 1 \text{ К}$$

$$12.30.* \quad N = \frac{1}{\mu} C_p M \tau \Delta T = 1 \text{ кБТ}$$

Циклические процессы. Тепловые двигатели.

12.31. $A = R(T_2 - T_1)(T_3/T_2 - 1)$

12.32. $\eta_2/\eta_1 = 23/21$

12.33. $A = 44 \text{ Дж}$

12.34. $A = C_V T_1 (1 - \frac{n}{m})$

12.35. $\eta = 1 - (\frac{V_1}{V_2})^{\frac{2}{3}} = 75 \%$

12.36. $\eta = \frac{58}{93}$

12.37. $A_{1-2} = \frac{RT - PV}{1 - \eta} (1,5\eta + 1)$

12.38. $\Delta T = \frac{2A}{3R(1 - \eta)} = 2,5 \text{ К}$

12.39. $\eta = 1 - \frac{3R \cdot \Delta T}{2A}$

12.42. $N_M = \frac{q(T_2 - T_1)}{T_1 \tau \eta_M} = 11 \text{ Вт}; k_x = 2,5$

12.43. $\eta = \frac{n - 1}{4(n + 1)}$

12.44.* $\eta = \frac{\sqrt{k} - 1}{4(\sqrt{k} + 1)} = \frac{1}{12}$

*Фазовые переходы. Уравнение теплового баланса.
Тепловое расширение твердых и жидких тел.*

13.2. $\theta = 0^\circ\text{C}$, останется 5 г льда

13.3. $m_B \approx 6,8 \text{ г}$

13.4. $\Delta m = 0,75 \text{ г}$

13.5. $M = 400 \text{ кг}$

13.6. $t_x = 32,5^\circ\text{C}$

13.7. $v = 4 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{с}$

13.8. $t_2 = t_0 + \frac{\tau + \dot{O}_1}{\tau + \dot{O}_2} (t_1 - t_0) = 208^\circ\text{C}$

13.9. $q = 161,3 \text{ Дж/с}$

13.10. $C = 230 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$

13.11. $t = 60 \text{ мин}$

13.12. $N = 416 \text{ Вт}$

13.13. $m_1 = 4,6 \text{ кг}$

13.14. $\theta = 0^\circ\text{C}$

13.15. $m = 35 \text{ г}$

13.16. $\frac{\Delta m}{m} = 0,015$

13.17. $7,3\%$

13.20. $V_o = V(1 + 3\alpha\Delta t)/(\beta - 3\alpha)\Delta t \approx 190 \text{ мм}^3$

13.21. $\Delta h_{\text{лев}} = \frac{3}{2} h\beta\Delta t; \quad \Delta h_{\text{пр}} = \frac{h\beta(t_1 - t_o)}{2(1 + \beta(t_1 - t_o))}$

РЕАЛЬНЫЕ ГАЗЫ. ЖИДКОСТИ.

Свойства паров. Влажность.

14.5. $f = 59\%$

14.7. $m = 2,1 \text{ г}$

14.8. $V = 2,33 \text{ л}$

14.9. $f = 20\%$

14.10. $f = 63\%$

14.11. $f = 57\%$

14.12. $m = 208 \text{ г}$

14.13. $f = 2,9\%$

14.14. $f = (PV\mu_1 - mRT)/(\mu_1 - \mu_2)P_oV$

14.17. $m_B/m_{\Pi} = \mu_B/2\mu_{\Pi} = 29/36$

14.18. $f = 72\%$

14.19. $N_{\Gamma}/N_B = \frac{nP - P_H}{P_H}$

14.20. $\frac{V}{V_o} = \frac{T}{T_o} \cdot \frac{P_A S + Mg}{(P_A - P_H) + Mg}$

14.21. $\frac{P}{P_o} = \frac{3}{4}$

14.22. $\frac{V_A}{V} = 1$

14.23. $\frac{V_A}{V} = 0,76$

14.24. $\frac{V_A}{V} = 0,55$

14.25. $m = 279 \text{ г}$

14.26. $m = \mu \frac{A}{RT}$

14.27. $A = 1 \text{ кДж}$

14.28. $Q = r\mu \frac{A}{RT} = 2600 \text{ Дж.}$

14.29. $\Delta h = 53 \text{ см}$

Поверхностное натяжение жидкости

15.1. $A = 1,6 \cdot 10^{-3} \text{ Дж}$

15.2. $F = 2,4 \cdot 10^{-3} \text{ Н}$

15.5. $x = 2,3 \text{ см}; \Delta x \approx 0,1 \text{ см}$

15.6. $h = 2,8 \text{ см}$

15.7. $F = 2\sigma m/\rho d^2 = 1,44 \cdot 10^3 \text{ Н}$

15.8. $h = 7,3 \text{ см}$

15.9. $Q = 2\pi\sigma^2/\rho g$

15.10. $P = 488 \text{ Па}$

15.11. $R = 2\sigma/\rho gh = 0,74 \text{ мм}$

15.12. $R_1 = -1,6 \text{ мм}; R_2 = 1,3 \text{ мм}$

Содержание

ЗАКОНЫ ИДЕАЛЬНОГО ГАЗА

1. *Газовые законы.
Уравнение состояния идеального газа* 3
2. *Молекулярно-кинетическая теория* 11

ТЕРМОДИНАМИКА

3. *Первое начало термодинамики для идеального газа.* 15
4. *Циклические процессы. Тепловые двигатели.* 21
5. *Фазовые переходы. Уравнение теплового баланса.
Тепловое расширение твердых и жидких тел.* 25

РЕАЛЬНЫЕ ГАЗЫ. ЖИДКОСТИ.

6. *Свойства паров. Влажность* 30
7. *Поверхностное натяжение жидкости* 35

ОТВЕТЫ

38

Сборник задач по физике

Часть II. Молекулярная физика. Термодинамика.

Корнеева Татьяна Петровна

Школа имени академика А.Н. Колмогорова
Специализированный учебно-научный центр
Московского государственного университета им.
М.В.Ломоносова
Кафедра физики

2011 г.