

МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА

IV. Молекулярно-кинетическая теория

29. Основные понятия молекулярно-кинетической теории

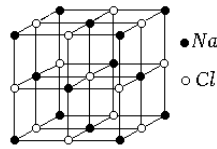
29.1 Сколько N молекул содержится в $V = 1 \text{ см}^3$ воды? Какова масса m_0 молекулы воды? Оцените линейный размер d молекулы воды. Плотность воды $\rho = 10^3 \text{ кг/м}^3$. Молярная масса воды $\mu = 18 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$. Постоянная Авогадро $N_A = 6 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$.

29.2 За $\tau = 25$ мин кипения испарилось $m = 270$ г воды. Сколько n молекул воды каждую секунду переходило из жидкой фазы в газовую? Молярная масса воды $\mu = 18 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$. Постоянная Авогадро $N_A = 6 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$.

29.3 Какое понадобится время τ , чтобы на поверхность стекла нанести слой серебра толщиной $d = 5$ мкм, используя для этого атомарный пучок с концентрацией атомов серебра $n = 10^{18} \text{ м}^{-3}$, движущихся со скоростью $v = 0,39 \text{ км/с}$? Молярная масса серебра $\mu = 108 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$, плотность серебра $\rho = 10,5 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$. Постоянная Авогадро $N_A = 6 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$.

29.4 Кристаллическая решетка железа при комнатной температуре – кубическая объемно-центрированная. Атомы железа расположены в вершинах куба и в центре – на пересечении пространственных диагоналей куба. Сколько n атомов железа приходится на одну элементарную ячейку? Определите постоянную решетки (ребро куба) a и минимальное расстояние d между атомами железа. Относительная атомная масса железа $M_r = 56$, плотность железа $\rho = 7,9 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$. Постоянная Авогадро $N_A = 6 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$.

29.5 Кристаллы поваренной соли NaCl кубической системы состоят из чередующихся атомов (ионов) Na и Cl . Определите наименьшее расстояние d между их центрами. Молярная масса поваренной соли $\mu = 59,5 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$, плотность $\rho = 2,2 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$. Постоянная Авогадро $N_A = 6 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$.



29.6 На пути пучка молекул помещена «зеркальная» стенка. Найдите давление P пучка на стенку, если масса молекулы в пучке $m_0 = 3,3 \cdot 10^{-27}$ кг, скорости молекул $V = 1$ км/с, их концентрация в пучке $n = 5 \cdot 10^{17}$ м⁻³. Рассмотрите три случая: а) пучок падает перпендикулярно на неподвижную стенку; б) пучок падает под углом $\alpha = 45^\circ$ на неподвижную стенку; в) пучок падает перпендикулярно на стенку, движущуюся навстречу молекулам со скоростью $V = 50$ м/с.

Определение температуры

29.7 На сколько процентов η увеличивается средняя в расчете на одну молекулу кинетическая энергия молекул идеального газа при увеличении его температуры от $T_1 = 280$ К до $T_2 = 308$ К?

30. Уравнение состояния идеального газа

30.1 Вакуумный насос понижает давление до $P = 1,3 \cdot 10^{-10}$ Па. Сколько N молекул газа содержится в $V = 1$ см³ при указанном давлении и температуре $t = 27$ °С? Постоянная Больцмана $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К.

30.2 В трещину откачанной лампы накаливания объемом $V = 200$ см³ ежесекундно проникает $\Delta N = 10^{12}$ молекул газа. За какое время τ при температуре $T = 273$ К в лампе установится давление $P_0 = 10^5$ Па? Постоянная Больцмана $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К.

30.3 Найдите массу m воздуха, заполняющего аудиторию площадью $S = 200$ м² и высотой $h = 5$ м. Давление воздуха $P = 10^5$ Па, температура воздуха $t = 17$ °С. Молярная масса воздуха $\mu = 29 \cdot 10^{-3}$ кг/моль. Универсальная газовая постоянная $R = 8,31$ Дж/(моль·К).

30.4 Где больше молекул: в комнате объемом $V_1 = 50$ м³ при атмосферном давлении $P = 10^5$ Па и температуре $t = 20$ °С или в стакане воды объемом $V_2 = 200$ см³? Плотность воды $\rho = 10^3$ кг/м³, молярная масса воды $\mu = 18 \cdot 10^{-3}$ кг/моль. Универсальная газовая постоянная $R = 8,31$ Дж/(моль·К).

30.5 В закрытом сосуде объемом $V = 10^{-1}$ м³ находится некоторое количество воды. При температуре $t = 27$ °С вода занимает объем $V_в = 10^{-3}$ м³. На сколько ΔP увеличилось бы давление в сосуде, если при той же температуре силы притяжения между молекулами внезапно исчезли

и конденсация в дальнейшем стала бы невозможной? Плотность воды $\rho = 10^3 \text{ кг/м}^3$, молярная масса воды $\mu = 18 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$. Универсальная газовая постоянная $R = 8,31 \text{ Дж/(моль}\cdot\text{К)}$.

Изопроцессы

30.6 Водитель проверяет давление в шинах автомобиля перед тем, как отправиться в продолжительную поездку. Давление равно $P_1 = 200 \text{ кПа}$ при температуре $t_1 = 22 \text{ }^\circ\text{C}$. После нескольких часов езды он снова измеряет давление и находит, что оно равно $P_2 = 250 \text{ кПа}$. На сколько Δt увеличилась температура воздуха в шинах? Утечки воздуха из шин и изменения их объема не происходит.

30.7 Определите температуру T газа, находящегося в закрытом сосуде, если давление газа увеличивается на $\delta P = 0,4\%$ при нагревании на $\Delta T = 1 \text{ К}$.

30.8 Кубический сосуд объемом $V = 8 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$ заполнен воздухом при атмосферном давлении $P_1 = 10^5 \text{ Па}$ и температуре $t_1 = 27 \text{ }^\circ\text{C}$. Сосуд закрыли и нагрели до температуры $t_2 = 150 \text{ }^\circ\text{C}$. Какая сила F будет действовать на любую грань кубического сосуда со стороны находящегося в нем воздуха?

30.9 Бутылка, наполненная воздухом, плотно закрыта пробкой площадью сечения $S = 2,5 \text{ см}^2$. До какой температуры t_2 следует нагреть воздух, чтобы пробка вылетела из бутылки, если сила трения, удерживающая пробку, $F = 12 \text{ Н}$? Начальное давление воздуха в бутылке и наружное давление одинаковы и равны $P = 100 \text{ кПа}$, начальная температура $t_1 = -3 \text{ }^\circ\text{C}$.

30.10 В помещении с температурой $t_1 = 27 \text{ }^\circ\text{C}$ манометр на баллоне с газом показывает $P = 250 \text{ кПа}$. Когда баллон вынесли из помещения, показание манометра уменьшилось на $|\Delta P| = 50 \text{ кПа}$. Найдите температуру t_2 атмосферы. Атмосферное давление $P_0 = 10^5 \text{ Па}$. Примечание: манометры обычно градуируют так, что они показывают разность между давлением внутри баллона и атмосферным давлением.

30.11 Со дна водоема глубиной $H = 90 \text{ м}$ поднимается вверх шарообразный пузырек воздуха. На какой глубине h радиус этого пузырька увеличится в 2 раза? Атмосферное давление $P = 100 \text{ кПа}$. Температура воздуха в пузырьке постоянна. Плотность воды $\rho = 10^3 \text{ кг/м}^3$. Ускорение свободного падения $g = 10 \text{ м/с}^2$.

Постоянное количество вещества

30.12 Во сколько раз изменяется давление одноатомного идеального газа при уменьшении его объема в $\alpha = 3$ раза и увеличении средней в расчете на одну молекулу кинетической энергии в $\beta = 2$ раза?

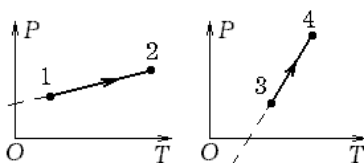
30.13 При увеличении абсолютной температуры некоторого количества идеального газа в $n = 2$ раза давление газа увеличилось на $\delta P = 25\%$. Найдите отношение конечного объема V_2 к начальному V_1 .

30.14 При переходе газа из одного состояния в другое его давление уменьшается в $\alpha = 3$ раза, а абсолютная температура увеличивается в $\beta = 2$ раза. Во сколько раз изменяется его объем?

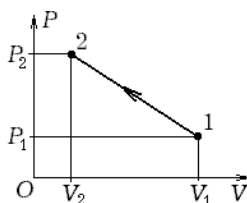
30.15 При уменьшении объема газа в $\alpha = 2$ раза давление увеличилось на $\Delta P = 120$ кПа, а абсолютная температура возросла на $\delta T = 10\%$. Найдите первоначальное давление P газа.

30.16 В процессе, при котором давление обратно пропорционально квадрату объема ($P = b/V^2$), объем газа увеличился в $\alpha = 1,5$ раза. При этом его температура понизилась на $|\Delta T| = 100$ К. Найдите начальную температуру T газа.

30.17 На рисунках изображены графики зависимости давления P идеального газа от температуры T . Определите, сжимался или расширялся газ в этих процессах.



30.18 В цилиндре под поршнем находится $m = 20$ г гелия. Газ бесконечно медленно переводят из состояния с объемом $V_1 = 32$ л и давлением $P_1 = 4,1$ атм в состояние с $V_2 = 9$ л и $P_2 = 15,5$ атм. Какой наибольшей температуры T_{max} достигает газ в этом процессе, если на графике зависимости давления газа от объема процесс изображается прямой линией? Молярная масса гелия $\mu = 4 \cdot 10^{-3}$ кг/моль. Универсальная газовая постоянная $R = 8,31$ Дж/(моль·К).



30.19 Газ расширяется от объема $V_1 = 8$ л до объема $V_2 = 160$ л. При этом его температура уменьшается от $t_1 = 727$ °С до $t_2 = 27$ °С. Найдите давление P_2 газа в конечном состоянии, если в начальном состоянии давление $P_1 = 2 \cdot 10^5$ Па.

30.20 Если нагреть $\nu = 1$ моль идеального газа на $\Delta T = 1$ К при постоянном объеме, то давление возрастает на $\Delta P = 10$ Па. Если из того же исходного состояния нагреть газ на $\Delta T = 1$ К при постоянном давлении, то объем увеличится на $\Delta V = 10^{-3}$ м³. Найдите давление P , объем V и температуру T газа в исходном состоянии. Универсальная газовая постоянная $R = 8,31$ Дж/(моль·К).

30.21 Воздушный пузырек на дне озера глубиной $H = 16$ м имеет объем $V_1 = 1,1$ см³. Температура на дне $t_1 = 5$ °С, а на поверхности $t_2 = 16$ °С. Определите объем V_2 пузырька в тот момент, когда он достигнет поверхности воды. Атмосферное давление $P = 10^5$ Па. Плотность воды $\rho = 10^3$ кг/м³. Ускорение свободного падения $g = 10$ м/с².

30.22 Баллон емкостью $V_1 = 40$ л содержит сжатый воздух при давлении $P = 1,5 \cdot 10^7$ Па и температуре $t_1 = 27$ °С. Какой объем V_2 воды можно вытеснить из цистерны подводной лодки воздухом этого баллона, если лодка находится на глубине $H = 20$ м, где температура $t_2 = 7$ °С? Плотность воды $\rho = 10^3$ кг/м³, атмосферное давление $P_0 = 10^5$ Па. Ускорение свободного падения $g = 10$ м/с².

30.23 Два одинаковых баллона с идеальным газом соединены тонкой трубкой. Температура и давление газа в баллонах $T_1 = 300$ К, $P_1 = 10^5$ Па. Каким будет давление P_2 газа, если в одном из баллонов поддерживать прежнюю температуру T_1 , а второй нагреть до $T_2 = 450$ К?

Смесь газов

30.24 Баллон, содержащий гелий при давлении $P_1 = 3 \cdot 10^6$ Па, подсоединили тонкой трубкой с краном к баллону, содержащему азот при давлении $P_2 = 9 \cdot 10^6$ Па. Какое давление P установится в баллонах после того, как кран открыли и установилось равновесное состояние, если объем баллона с гелием в два раза больше объема баллона с азотом? Температуры газов в начальном и конечном состояниях одинаковы.

30.25 Три баллона, объемы которых $V_1 = 3$ л, $V_2 = 7$ л и $V_3 = 5$ л, наполнены соответственно кислородом, азотом и углекислым газом при одинаковой температуре. Давления газов в баллонах $P_1 = 2$ атм, $P_2 = 3$ атм и $P_3 = 0,6$ атм соответственно. Баллоны соединяют между собой. Найдите давление P смеси. Температура постоянна.

30.26 Каково давление P смеси газов в объеме $V = 2$ л, если в ней находится $N_1 = 10^{15}$ молекул кислорода и $m_2 = 10^{-7}$ г азота при температуре $t = 50$ °С? Молярная масса азота $\mu_2 = 28$ г/моль. Постоянная Авогадро $N_A = 6 \cdot 10^{23}$ моль⁻¹. Универсальная газовая постоянная $R = 8,31$ Дж/(моль·К).

30.27 Определите плотность ρ смеси, содержащей $m_1 = 4$ г водорода и $m_2 = 32$ г кислорода при температуре $t = 7$ °С и давлении $P = 10^5$ Па. Молярная масса водорода $\mu_1 = 2$ г/моль, молярная масса кислорода $\mu_2 = 32$ г/моль. Универсальная газовая постоянная $R = 8,31$ Дж/(моль·К).

30.28 Плотность смеси газов гелия и аргона при давлении $P = 152$ кПа и температуре $t = 27$ °С равна $\rho = 2$ кг/м³. Найдите концентрацию n_1 атомов гелия. Молярные массы гелия $\mu_1 = 4$ г/моль, аргона $\mu_2 = 40$ г/моль. Постоянная Авогадро $N_A = 6 \cdot 10^{23}$ моль⁻¹. Универсальная газовая постоянная $R = 8,31$ Дж/(моль·К).

Трубка со столбиком жидкости внутри

30.29 На какую глубину H в жидкость плотности ρ следует погрузить нижний конец открытой трубки длины L , чтобы, закрыв верхнее отверстие, вынуть столбик жидкости высотой $L/2$? Атмосферное давление P , ускорение свободного падения g . Температура воздуха постоянна.

30.30 В стеклянной трубке длиной $L = 1$ м, запаянной с обоих концов, находится столбик ртути длиной $l = 10$ см, разделяющий объем трубки на две части. Трубку ставят вертикально. При этом расстояние от нижнего конца трубки до ртути равно $h_1 = 20$ см. Затем трубку переворачивают (нижним концом вверх, верхним вниз). В этом положении расстояние от нижнего конца трубки до ртути равно $h_2 = 30$ см. Найдите расстояние h от столбика ртути до одного из концов трубки, если трубку расположить горизонтально. Температура воздуха постоянна.

30.31 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 $l = 10$ см. До какого давления P была откачана трубка? Плотность ртути $\rho = 13,6 \cdot 10^3$ кг/м³. Ускорение свободного падения $g = 10$ м/с². Температура постоянна.

30.32 В стеклянной трубке, запаянной с одного конца, находится столбик ртути длиной $L = 15$ см. Когда трубка лежит горизонтально, длина столбика воздуха между запаянным концом и ртутью $l_1 = 20$ см, если же трубку расположить вертикально запаянным концом вверх, то длина воздушного столбика возрастает до $l_2 = 25$ см. Найдите атмосферное давление P . Плотность ртути $\rho = 13,6 \cdot 10^3$ кг/м³. Ускорение свободного падения $g = 10$ м/с². Температура постоянна.

Изменение количества вещества в сосуде

30.33 Какая масса m воздуха выйдет из комнаты объемом $V = 60$ м³ при повышении в ней температуры от $T_1 = 290$ К до $T_2 = 300$ К? Атмосферное давление $P = 10^5$ Па, молярная масса воздуха $\mu = 29$ г/моль, универсальная газовая постоянная $R = 8,31$ Дж/(моль·К). Воздух в комнате свободно сообщается с атмосферой.

30.34 Оболочка аэростата объемом $V = 1600$ м³, находящегося на поверхности Земли, наполнена водородом на $n = 7/8$ объема при давлении $P_1 = 10^5$ Па и температуре $t_1 = 27$ °С. Аэростат поднялся на высоту, где давление $P_2 = 0,5 \cdot 10^5$ Па и температура $t_2 = 2$ °С. Сколько ν моль водорода вышло из аэростата? Универсальная газовая постоянная $R = 8,31$ Дж/(моль·К).

30.35 Из баллона емкостью $V = 10$ л из-за неисправности вентиля вытекает водород. При температуре $t_1 = 7$ °С давление в баллоне $P_1 = 5 \cdot 10^6$ Па. Через некоторое время при температуре $t_2 = 17$ °С давление в баллоне $P_2 = P_1$. Какая масса m водорода, вытекла из баллона? Молярная масса водорода $\mu = 2 \cdot 10^{-3}$ кг/моль. Универсальная газовая постоянная $R = 8,31$ Дж/(моль·К).

30.36 Космонавт затратил $\tau_1 = 10$ мин на осмотр солнечных батарей. За это время давление воздуха в баллоне скафандра, первоначально равное $P_1 = 160$ атм, упало на $|\delta P| = 25\%$. После этого космонавт приступил к ремонтным работам и расход воздуха возрос в два раза. Через какое время τ_2 после начала осмотра батарей космонавт должен закончить работы, если давление в баллоне не должно упасть ниже $P_2 = 20$ атм? Температуру воздуха в баллоне считать постоянной.

30.37 Баллон емкостью V , заполненный газом при давлении P_1 и температуре T , взвешивают. Его вес оказывается равным F_1 . Затем из

баллона откачивают газ, пока давление не упадет до P_2 при той же температуре T . Вес баллона в этих условиях оказывается равным F_2 . Определите плотность ρ газа при нормальных условиях P_0 и T_0 . Ускорение свободного падения g .

30.38 При газовой сварке давление в баллоне со сжатым кислородом упало до $P_2 = 5 \cdot 10^5$ Па. Какая часть $|\delta v|$ кислорода израсходована, если первоначальное давление кислорода в баллоне $P_1 = 10^6$ Па? Температура кислорода в баллоне постоянна.

30.39 После того, как в комнате протопили печь, температура поднялась с $t_1 = 15$ °С до $t_2 = 27$ °С. На сколько процентов $|\delta N|$ уменьшилось число молекул воздуха в комнате? Воздух в комнате свободно сообщается с атмосферой.

30.40 При выходе газа из баллона давление упало от $P_1 = 120$ атм до $P_2 = 1$ атм, а температура понизилась от $t_1 = 27$ °С до $t_2 = -23$ °С. Какая часть $|\delta N|$ молекул газа вышла из баллона?

30.41 Баллон содержит сжатый газ при температуре $t_1 = 27$ °С и давлении $P_1 = 2 \cdot 10^6$ Па. Каким будет давление P_2 , если из баллона выпустить $|\delta m| = 20\%$ массы газа, а температуру оставшегося газа понизить до $t_2 = -23$ °С?

30.42 В баллоне находится газ при температуре $t_1 = 15$ °С. Во сколько раз уменьшится давление газа, если $|\delta N| = 40\%$ его молекул выйдет из баллона, а температура при этом понизится на $|\Delta t| = 8$ °С?

30.43 Шина заполнена воздухом при температуре $t_1 = 15$ °С и некотором давлении. Температура воздуха в шине повышается до $t_2 = 40$ °С. Какую часть $|\delta m|$ массы воздуха следует выпустить из шины, чтобы давление осталось неизменным? Объем шины постоянный.

30.44 Сосуд, содержащий идеальный газ при температуре $t_1 = 27$ °С, снабжен клапаном, открывающимся при перепаде давлений $\Delta P = 4 \cdot 10^5$ Па. Газ нагревают до $t_2 = 127$ °С, при этом часть газа выходит из сосуда через клапан. Какое давление P_2 установится в сосуде после охлаждения газа до начальной температуры t_1 ? Атмосферное давление $P_0 = 10^5$ Па.

Насосы

30.45 Баллон объемом $V_1 = 0,02 \text{ м}^3$, содержащий воздух при давлении $P_1 = 4 \cdot 10^5 \text{ Па}$, соединяют с баллоном объемом $V_2 = 0,06 \text{ м}^3$, из которого воздух выкачан. Полагая температуры воздуха в начальном и конечном состояниях одинаковыми, найдите давление P , установившееся в сосудах.

30.46 Сколько n ходов должен сделать поршень накачивающего насоса, чтобы повысить давление в камере объемом V в α раз? Начальное давление в камере P , объем насоса V_0 , атмосферное давление P_0 . Процесс протекает при постоянной температуре.

30.47 Компрессор захватывает при каждом качании $V_0 = 4 \text{ л}$ воздуха при атмосферном давлении $P_0 = 10^5 \text{ Па}$ и температуре $t_0 = -3 \text{ }^\circ\text{C}$ и нагнетает его в резервуар емкостью $V = 1,5 \text{ м}^3$, причем температура воздуха в резервуаре поддерживается равной $t = 45 \text{ }^\circ\text{C}$. Сколько качаний n должен сделать компрессор, чтобы давление в резервуаре увеличилось на $\Delta P = 1,96 \cdot 10^5 \text{ Па}$?

30.48 Объем цилиндра поршневого насоса $V_0 = 0,5 \text{ л}$. Насос соединен с баллоном объемом $V = 3 \text{ л}$, содержащим воздух при атмосферном давлении $P_0 = 10^5 \text{ Па}$. Найдите давление P_5 воздуха в баллоне после пяти рабочих ходов поршня, если режим работы насоса: 1) нагнетательный; 2) разрежающий. Считайте процессы изотермическими.

30.49 Давление воздуха в сосуде $P_0 = 729 \text{ мм рт. ст.}$ После трех ходов откачивающего поршневого насоса давление упало до $P_3 = 216 \text{ мм рт. ст.}$ Определите отношение V/V_0 объемов сосуда и цилиндра насоса. Процесс протекает при постоянной температуре.

30.50 Найдите число n ходов поршня, которое следует сделать, чтобы поршневым воздушным насосом откачать воздух из сосуда объемом V от давления P_0 до давления P_n , если объем рабочей камеры насоса V_0 . Процесс протекает при постоянной температуре.

Плотность газа

30.51 Найдите давление P кислорода в баллоне, если при температуре $t = 27 \text{ }^\circ\text{C}$ его плотность $\rho = 6,24 \text{ кг/м}^3$. Молярная масса кислорода $\mu = 32 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$. Универсальная газовая постоянная $R = 8,31 \text{ Дж/(моль}\cdot\text{К)}$.

30.52 При нормальных условиях, т.е. при $t_0 = 0^\circ\text{C}$ и $P_0 = 10^5$ Па плотность воздуха $\rho = 1,29$ кг/м³. Найдите молярную массу μ воздуха. Универсальная газовая постоянная $R = 8,31$ Дж/(моль·К).

30.53 При изобарном нагревании некоторой массы идеального газа его плотность ρ уменьшилась вдвое. На сколько δT процентов увеличилась температура газа по шкале Кельвина?

30.54 В простейшей модели атмосферы Венеры предполагалось, что планету окружает равноплотная атмосфера, состоящая из углекислого газа. Какова температура T атмосферы вблизи поверхности Венеры, если высота атмосферы $H = 20$ км? Ускорение свободного падения на поверхности Венеры $g = 8,8$ м/с². Молярная масса углекислого газа $\mu = 44$ г/моль. Универсальная газовая постоянная $R = 8,31$ Дж/(моль·К).

Воздушные шары и другие плавающие сосуда

30.55 Какова должна быть масса m оболочки воздушного шарика диаметром $d = 25$ см, наполненного водородом, чтобы шарик покоился? Воздух и водород находятся при нормальных условиях: $t = 0^\circ\text{C}$, $P = 10^5$ Па. Молярная масса водорода $\mu_1 = 2 \cdot 10^{-3}$ кг/моль, молярная масса воздуха $\mu_2 = 29 \cdot 10^{-3}$ кг/моль. Универсальная газовая постоянная $R = 8,31$ Дж/(моль·К).

30.56 Шар объемом $V = 0,1$ м³, сделанный из тонкой бумаги, наполняют горячим воздухом, температура которого $t_1 = 67^\circ\text{C}$. Температура окружающего воздуха $t_2 = 17^\circ\text{C}$. Давление воздуха внутри шара и атмосферное давление одинаковы и равны $P = 10^5$ Па. При какой массе m бумажной оболочки шар будет подниматься? Молярная масса воздуха $\mu = 29 \cdot 10^{-3}$ кг/моль. Универсальная газовая постоянная $R = 8,31$ Дж/(моль·К).

30.57 Сможет ли воздушный шар, наполненный гелием, поднять груз массой $M = 100$ кг, если объем шара $V = 150$ м³, а масса его оболочки $m = 8$ кг? Давления P и температуры t гелия и воздуха одинаковы и равны соответственно 10^5 Па и 15°C . Молярные массы гелия $\mu_1 = 4$ г/моль, воздуха $\mu_2 = 29$ г/моль. Универсальная газовая постоянная $R = 8,31$ Дж/(моль·К). Объем груза пренебрежимо мал.

30.58 Атмосфера Венеры почти полностью состоит из углекислого газа. Температура его у поверхности планеты $t = 500$ °С, а давление $P = 10^7$ Па. При каком объеме V спускаемый аппарат массой $m = 1000$ кг будет свободно плавать в нижних слоях атмосферы Венеры? Молярная масса углекислого газа $\mu = 44$ г/моль, универсальная газовая постоянная $R = 8,31$ Дж/(моль·К).

30.59 В сосуд, на дне которого лежит твердый шар, нагнетают воздух при температуре $t = 27$ °С. Когда давление в сосуде стало равным $P = 2 \cdot 10^6$ Па, шар поднялся вверх. Чему равна масса m шара, если его радиус $r = 5$ см? Молярная масса воздуха $\mu = 29$ г/моль. Универсальная газовая постоянная $R = 8,31$ Дж/(моль·К).

30.60 Тонкостенный резиновый шар массой $M = 50$ г наполнен азотом и погружен в озеро на глубину $h = 100$ м, где температура воды $t = 7$ °С. Найдите массу m азота, если шар находится в положении равновесия. Атмосферное давление $P = 10^5$ Па. Натяжением оболочки пренебречь. Молярная масса азота $\mu = 28$ г/моль, плотность воды $\rho = 10^3$ кг/м³. Универсальная газовая постоянная $R = 8,31$ Дж/(моль·К). Ускорение свободного падения $g = 10$ м/с².

30.61 Цилиндрическое ведро с тонкими стенками переворачивают вверх дном и погружают в воду. Масса ведра $M = 1$ кг, объем $V = 10$ л. С какой глубины H ведро не будет всплывать? Плотность воды $\rho = 10^3$ кг/м³, атмосферное давление $P = 10^5$ Па. Ускорение свободного падения $g = 10$ м/с². В процессе погружения ведра воздух сжимается изотермически.

Два газа, разделенные поршнем

30.62 Горизонтальный цилиндрический сосуд разделен на две части подвижным теплопроницаемым поршнем, который может перемещаться без трения. В одну часть сосуда помещен кислород, а в другую – водород. Найдите длину l_1 части сосуда, занятой кислородом. Массы обоих газов одинаковы, длина сосуда $l = 85$ см, толщиной поршня можно пренебречь. Молярные массы кислорода $\mu_1 = 32$ г/моль, водорода $\mu_2 = 2$ г/моль.

30.63 Внутри закрытого с обоих концов горизонтального цилиндра имеется поршень, который может скользить в цилиндре без трения.

С одной стороны поршня находится $m_1 = 3$ г водорода, а с другой - $m_2 = 17$ г азота. Какую часть δ_1 объема цилиндра занимает водород? Молярные массы водорода $\mu_1 = 2$ г/моль, азота $\mu_2 = 28$ г/моль. Газы находятся в тепловом равновесии.

30.64 Закрытый сосуд разделен легким поршнем на две части, объемы которых $V_1 = 0,03$ м³ и $V_2 = 0,02$ м³ заполнены газом. Давление газа в первой части $P_1 = 10^5$ Па, во второй $P_2 = 2 \cdot 10^5$ Па. Поршень отпустили и он, перемещаясь без трения, занял равновесное положение. Найдите давление P по обе стороны поршня, считая, что температура газа в конечном состоянии равна начальной.

30.65 Теплоизолирующий тонкий поршень делит горизонтальный цилиндр длиной $L = 1,2$ м на две равные части, содержащие идеальный газ при температуре $t_1 = 17$ °С. На какое расстояние Δx сместится без трения поршень, если газ в одной части нагреть до температуры $t_2 = 37$ °С, а в другой части температуру газа поддерживать неизменной?

30.66 Закрытый с обеих сторон горизонтальный цилиндр разделен на две равные части теплонепроницаемым тонким поршнем. В одной половине цилиндра находится газ при температуре $T_1 = 260$ К, а во второй половине – другой газ при температуре $T_2 = 300$ К. На какое расстояние Δx сместится без трения поршень, если первый газ нагреть до $T_1 = 310$ К, а второй до $T_2 = 330$ К? Длина цилиндра $L = 154$ см.

30.67 Горизонтально расположенный цилиндрический сосуд разделен на две части теплоизолирующим поршнем, связанным с каждым дном пружиной. Вначале азот, заполняющий левую часть сосуда, и гелий, заполняющий его 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 $\delta_1 = 3/4$ объема сосуда. Температура гелия поддерживается равной T_0 . При какой температуре T_2 азот займет $\delta_2 = 7/8$ объема сосуда? Поршень перемещается без трения.

30.68 Горизонтально расположенный цилиндрический сосуд разделен на две равные части поршнем, который может перемещаться без трения. Температуры в обеих половинах одинаковы. В сосуде находятся два газа: в левой части только первый газ, а в правой - смесь первого и второго газов, причем парциальные давления в смеси равны. В некото-

рый момент поршень становится проницаемым для второго газа. Во сколько раз n увеличится объем левой части после того, как установится равновесие?

Распад молекул

30.69 Некоторое количество водорода H_2 находится при температуре $T_1 = 200$ К и давлении $P_1 = 400$ Па. Газ нагревают до температуры $T_2 = 10^4$ К, при которой молекулы водорода практически полностью распадаются на атомы. Найдите новое значение давления P_2 газа, если его объем остался неизменным.

30.70 В сосуде объемом $V = 1$ дм³ находится $m = 0,2$ г углекислого газа. При температуре $T = 2600$ К некоторая часть молекул CO_2 распалась на молекулы окиси углерода и кислорода $2 CO_2 \leftrightarrow 2CO + O_2$. Найдите число N распавшихся молекул углекислого газа, если в результате диссоциации давление в сосуде оказалось равным $P = 108$ кПа. Молярная масса углекислого газа $\mu = 44$ г/моль. Постоянная Авогадро $N_A = 6 \cdot 10^{23}$ моль⁻¹. Универсальная газовая постоянная $R = 8,31$ Дж/(моль·К).

30.71 В сосуде находится смесь азота и водорода. При температуре T , когда молекулы азота полностью распались на атомы, давление смеси равно P (диссоциацией водорода можно пренебречь). При температуре $2T$, когда оба газа полностью диссоциировали, давление в сосуде $3P$. Найдите отношение m_1/m_2 масс азота и водорода в смеси? Молярная масса атомарного азота $\mu_1 = 14 \cdot 10^{-3}$ кг/моль, молярная масса молекулярного водорода $\mu_2 = 2 \cdot 10^{-3}$ кг/моль.

Разное

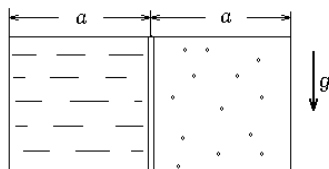
30.72 Цилиндрический сосуд с площадью поперечного сечения $S = 10$ см² закрыт массивным поршнем. При равноускоренном подъеме сосуда с ускорением $a = 20$ м/с² объем газа под поршнем уменьшается в $\eta = 1,5$ раза. Найдите массу M поршня, считая температуру газа постоянной. Внешнее давление $P = 10^5$ Па. Ускорение свободного падения $g = 10$ м/с².

30.73 В цилиндре под поршнем при температуре $T = 280$ К находится газ при давлении $P = 10^5$ Па. Цилиндр расположен вертикально, площадь поршня $S = 80$ см². На поршень положили гирию массой $M =$

20 кг. После ряда колебаний поршень остановился, а температура газа не изменилась. На сколько ΔT следует нагреть газ, чтобы его объем увеличился до первоначального значения? Ускорение свободного падения $g = 10 \text{ м/с}^2$.

30.74 В трубу квадратного сечения, лежащую на горизонтальной поверхности и закрытую с одного конца, медленно вдвигают поршень, действуя горизонтальной силой. Найдите давление P воздуха в трубе в тот момент, когда она сдвинется с места. Масса трубы с поршнем $M = 2 \text{ кг}$. Площадь поршня $S = 6 \text{ см}^2$. Атмосферное давление $P_0 = 100 \text{ кПа}$. Коэффициент трения скольжения трубы по горизонтальной поверхности $\mu = 0,3$. Ускорение свободного падения $g = 10 \text{ м/с}^2$.

30.75 В сосуде длиной $2a$ прямоугольного сечения с непроницаемыми стенками слева находится ртуть, отделенная подвижным поршнем от воздуха в правой части. В начальный момент поршень находится в равновесии и делит объем сосуда пополам. На какое расстояние x смещается поршень вправо, если температура системы уменьшается в $n = 3$ раза? Влияние паров ртути и трения мало.



30.76 В цилиндрическом сосуде под легким поршнем находится газ при температуре $T = 300 \text{ К}$. Высота столба газа $H = 0,5 \text{ м}$. Над поршнем, герметично прилегающим к гладким стенкам цилиндра, налита ртуть, заполняющая сосуд до краев. Высота столба ртути $h = 0,2 \text{ м}$. На сколько ΔT следует медленно нагреть газ под поршнем, чтобы ртуть из сосуда полностью вылилась? Плотность ртути $\rho = 13,6 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$, атмосферное давление $P = 10^5 \text{ Па}$. Ускорение свободного падения $g = 10 \text{ м/с}^2$.

30.77 Вакуумным насосом с производительностью $\Delta V/\Delta t = 10 \text{ л/с}$ откачивают некоторую камеру, в которой есть небольшое отверстие. Через отверстие в камеру каждую секунду попадает $\nu = 10^{-7}$ моль воздуха. Какое давление P установится в камере? Температура газа в камере $T = 300 \text{ К}$. Универсальная газовая постоянная $R = 8,31 \text{ Дж/(моль}\cdot\text{К)}$.

30.78 Для получения хорошего вакуума в стеклянном сосуде необходимо нагревать стенки сосуда при откачке с целью удаления адсорби-

рованного (то есть поглощенного поверхностью сосуда) газа. На сколько ΔP может повыситься давление в сферическом сосуде радиусом $r = 10$ см, если адсорбированные молекулы перейдут со стенок в сосуд. Площадь поперечного сечения молекулы $\sigma = 10^{-16}$ см², слой адсорбированных молекул - мономолекулярный и полностью покрывает стенки сосуда, температура стенок сосуда $t = 300$ °С. Постоянная Больцмана $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К.

30.79 Лазерные трубки объемом $V_0 = 60$ см³ должны заполняться смесью гелия и неона в молярном отношении 5:1 при давлении $P_0 = 6$ мм рт. ст. Имеются баллоны с этими газами, каждый объемом $V = 2$ л. Давления в баллонах с гелием $P_1 = 50$ мм рт. ст., с неоном $P_2 = 200$ мм рт. ст. Какое число N лазерных трубок можно заполнить? Температуры газов одинаковы и постоянны.

30.80 Найдите формулу соединения азота с кислородом, если этот газ массой $m = 1$ г в объеме $V = 1$ л создает при температуре $t = 17$ °С давление $P = 317 \cdot 10^2$ Па. Молярные массы атомарных кислорода и азота равны соответственно $\mu_1 = 16$ г/моль, $\mu_2 = 14$ г/моль. Универсальная газовая постоянная $R = 8,31$ Дж/(моль·К).

30.81 Масса $m = 716$ мг органического соединения, имеющего формулу $(C_3H_6O)_n$, при давлении $P = 10^5$ Па и температуре $t = 200$ °С занимает в газообразном состоянии объем $V = 243$ см³. Найдите n . Молярные массы атомарных углерода, водорода и кислорода равны соответственно $\mu_1 = 12$ г/моль, $\mu_2 = 1$ г/моль и $\mu_3 = 16$ г/моль. Универсальная газовая постоянная $R = 8,31$ Дж/(моль·К).

V. Элементы термодинамики

31. Внутренняя энергия идеального газа

31.1 Каково давление P одноатомного идеального газа, занимающего объем $V = 2$ л, если его внутренняя энергия $U = 300$ Дж?

31.2 В колбе объемом $V = 1,2$ л содержится $N = 3 \cdot 10^{22}$ молекул гелия. Давление газа в колбе $P = 10^5$ Па. Какова средняя в расчете на одну молекулу кинетическая энергия $\langle E \rangle$?

31.3 Газ массой $m = 6$ кг, находится в сосуде объемом $V = 5$ м³ при давлении $P = 200$ кПа. Найдите среднюю квадратичную скорость $\sqrt{\langle v^2 \rangle}$ движения молекул газа.

31.4 В сосуде объемом $V = 8$ м³ находится $\nu = 1125$ моль азота. Давление в сосуде $P = 2,1 \cdot 10^5$ Па. Найдите средний квадрат скорости $\langle v^2 \rangle$ молекул азота в сосуде. Молярная масса азота $\mu = 28$ г/моль.

31.5 Найдите число N молекул, содержащихся в $m = 1$ кг идеального газа, если при температуре $T = 300$ К средний квадрат скорости молекул $\langle v^2 \rangle = 0,37 \cdot 10^6$ м²/с². Постоянная Больцмана $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К.

31.6 Два сосуда, содержащие $\nu_1 = 10$ моль и $\nu_2 = 15$ моль одинакового одноатомного идеального газа, соединены трубкой с краном. В первом сосуде средний квадрат скорости движения молекул равен $\langle v_1^2 \rangle = 16 \cdot 10^4$ м²/с², а во втором $\langle v_2^2 \rangle = 25 \cdot 10^4$ м²/с². Найдите установившуюся температуру T газа после открытия крана. Теплообмен с окружающей средой отсутствует. Молярная масса газа $\mu = 18$ г/моль. Универсальная газовая постоянная $R = 8,31$ Дж/(моль·К).

31.7 В двух сосудах находятся: в одном $N_1 = 10^{19}$, а в другом $N_2 = 0,4 \cdot 10^{19}$ молекул одного и того же газа. В исходном состоянии внутренняя энергия первого газа была на $\Delta U = 1,9$ Дж больше, чем второго. Газы приводят в тепловой контакт. В установившемся состоянии средняя энергия в расчете на одну молекулу в первом сосуде уменьшилась на $|\delta E| = 25\%$. Какова внутренняя энергия U_1 газа в первом сосуде в исходном состоянии? Теплообменом с окружающими телами пренебречь.

31.8 Два сосуда, содержащие одноатомный газ, соединены тонкой трубкой. Отношение объемов сосудов $n = 2$. Первоначально температура газа в большем из сосудов $T_1 = 300$ К. В результате перемешивания происходит выравнивание температур. Найдите первоначальную температуру T_2 газа в меньшем сосуде, если конечная температура $T = 350$ К. В процессе перемешивания теплообменом со стенками пренебречь.

31.9 В сосудах объемами $V_1 = 3$ л и $V_2 = 5$ л содержится одноатомный газ при давлениях $P_1 = 4 \cdot 10^5$ Па и $P_2 = 6 \cdot 10^5$ Па, температурах $t_1 = 27$ °С и $t_2 = 12$ °С. Сосуды соединяют трубкой. Какие температура t и давление P установятся после достижения равновесия? Теплообмена с окружающими телами нет. Объемом трубки пренебречь.

32. Работа, тепло и первый закон термодинамики

Работа

32.1 Во время расширения, вызванного нагреванием, газу было передано количество теплоты $Q = 3 \cdot 10^5$ Дж, причем газ действовал на поршень с постоянной силой $F = 4 \cdot 10^5$ Н. На сколько ΔU увеличилась внутренняя энергия газа, если поршень передвинулся на расстояние $l = 30$ см?

32.2 Газ, находящийся при давлении $P = 10^5$ Па, расширился изобарически, совершив работу $A = 25$ Дж. Определите приращение ΔV объема газа.

32.3 В цилиндре под поршнем находится $m = 56$ г азота при температуре $t_1 = 100$ °С. Газ нагревают изобарически до температуры $t_2 = 200$ °С. Найдите работу A , совершаемую газом. Молярная масса азота $\mu = 0,028$ кг/моль. Универсальная газовая постоянная $R = 8,31$ Дж/(моль·К).

32.4 В цилиндре под поршнем находится $m = 1,6$ кг кислорода при температуре $T_1 = 290$ К. До какой температуры T_2 следует изобарно нагреть кислород, чтобы кислород совершил работу $A = 4 \cdot 10^4$ Дж? Молярная масса кислорода $\mu = 32$ г/моль. Универсальная газовая постоянная $R = 8,31$ Дж/(моль·К).

32.5 В цилиндре объемом $V_0 = 1$ м³, закрытом легким подвижным поршнем, находится воздух при нормальных условиях $P_0 = 10^5$ Па, $T_0 = 273$ К. Определите работу A , совершаемую воздухом при изобарном нагревании на $\Delta T = 1$ К.

32.6 При изобарном расширении $m = 20$ г водорода его объем увеличился в $n = 2$ раза. Начальная температура газа $T_0 = 300$ К. Определите работу A газа. Молярная масса водорода $\mu = 2$ г/моль. Универсальная газовая постоянная $R = 8,31$ Дж/(моль·К).

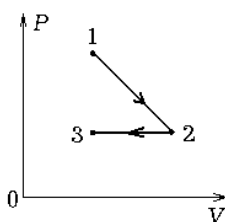
32.7 Определите работу A , которую совершит газ при изобарном нагревании от $t_1 = 20$ °С до $t_2 = 100$ °С, если он находится в вертикальном сосуде, закрытом подвижным поршнем сечением $S = 20$ см² и массой $M = 5$ кг. Начальный объем газа $V_0 = 5 \cdot 10^{-3}$ м³, атмосферное давление $P_0 = 10^5$ Па. Ускорение свободного падения $g = 10$ м/с².

32.8 Азот массой $m = 1$ кг изобарически сжимают. В результате этого процесса его температура изменилась на $|\Delta T| = 100$ К. Какая работа A была совершена внешней силой при сжатии азота? Молярная масса азота $\mu = 28$ г/моль. Универсальная газовая постоянная $R = 8,31$ Дж/(моль·К).

32.9 Одноатомный идеальный газ массой $m = 0,2$ кг находится в теплоизолированном сосуде под подвижным теплоизолированным поршнем. Внешнее давление на поршень медленно убывает, газ расширяется. Найдите работу A , которую совершает газ, если он при этом охлаждается от $T_1 = 300$ К до $T_2 = 268$ К. Молярная масса газа $\mu = 4 \cdot 10^{-3}$ кг/моль, универсальная газовая постоянная $R = 8,31$ Дж/(моль·К).

32.10 В теплоизолированном цилиндре с теплонепроницаемым поршнем находится одноатомный идеальный газ при давлении $P = 10^5$ Па и температуре $T_1 = 300$ К. Начальный объем газа $V = 3$ дм³. При медленном сжатии газа над ним совершили работу $A = 90$ Дж. Найдите температуру T_2 газа после сжатия.

32.11 Идеальный газ расширяется до удвоенного объема в процессе $1 \rightarrow 2$ с линейной зависимостью давления от объема. Затем его изобарически сжимают в процессе $2 \rightarrow 3$ до первоначального объема. Найдите отношение работ, совершенных газом в процессах расширения и сжатия. Известно, что температуры в точках 1 и 2 одинаковы.



32.12 Один моль идеального газа медленно нагревают так, что он переходит из состояния P_0, V_0 в состояние $2P_0, 2V_0$. Как при этом изменяется температура T газа в зависимости от его объема V , если зависимость давления от объема на графике в координатах P, V изображается отрезком прямой линии? Определите работу A , совершаемую газом в этом процессе. Универсальная газовая постоянная R .

32.13 Идеальный газ в количестве ν моль нагревают под поршнем так, что температура изменяется пропорционально квадрату давления $T = \alpha \cdot P^2$ от начального значения T_1 до конечного T_2 . Определите работу A , совершаемую газом. Универсальная газовая постоянная R .

Тепло

32.14 В герметичном сосуде объемом $V = 6,5$ л содержится одноатомный идеальный газ при давлении $P = 10^5$ Па. Какое количество Q теплоты необходимо сообщить газу, чтобы давление в сосуде увеличилось в $n = 3$ раза?

32.15 В герметичном сосуде объемом $V = 20$ дм³ содержится одноатомный идеальный газ при давлении $P_1 = 10^5$ Па. Какое давление P_2 установится в сосуде, если газу сообщить $Q = 3$ кДж теплоты?

32.16 Баллон объемом $V = 10$ л содержит одноатомный идеальный газ при давлении $P_1 = 10^5$ Па. Вентиль баллона выдерживает давление $P_2 = 6,1 \cdot 10^6$ Па. Какое наибольшее количество Q теплоты можно сообщить газу в баллоне, не опасаясь утечки газа?

32.17 В теплоизолированном герметичном баллоне, объем которого $V = 10^{-3}$ м³, находится одноатомный идеальный газ при давлении $P = 10^4$ Па. С помощью электронагревателя, расположенного внутри баллона, газ получает $Q = 30$ Дж тепла. Во сколько раз η увеличится средняя в расчете на один атом кинетическая энергия?

32.18 В теплоизолированном герметичном сосуде находится $\nu = 2$ моль одноатомного идеального газа при давлении $P_0 = 10^5$ Па и температуре $T = 300$ К. Найдите давление P газа после включения на время $\tau = 3$ мин небольшого электронагревателя мощностью $N = 16,6$ Вт, помещенного в сосуд. Универсальная газовая постоянная $R = 8,31$ Дж/(моль·К). Теплоемкостью сосуда пренебречь.

32.19 В теплоизолированном герметичном сосуде объемом $V = 0,5$ м³ находится одноатомный идеальный газ. После включения на время $\tau = 60$ с небольшого электронагревателя, помещенного в сосуд, давление в сосуде увеличилось на $\Delta P = 6 \cdot 10^3$ Па. Определите мощность N электронагревателя. Теплоемкостью сосуда пренебречь.

32.20 В теплоизолированном герметичном сосуде объемом $V = 1$ м³ находится одноатомный идеальный газ. После включения на время $\tau = 60$ с небольшого электронагревателя с сопротивлением $R = 100$ Ом, помещенного в сосуд, давление в сосуде увеличилось на ΔP . Найдите ΔP , если через нагреватель протекал ток величиной $I = 1$ А. Теплоемкостью сосуда пренебречь.

32.21 В теплоизолированном герметичном сосуде объемом $V = 2 \text{ м}^3$ находится одноатомный идеальный газ. Определите сопротивление R проволочки, помещенной в сосуд, если в результате пропускания через нее тока величиной $I = 1 \text{ А}$ в течение $\tau = 100 \text{ с}$ давление в сосуде увеличилось на $\Delta P = 10^4 \text{ Па}$. Теплоемкостью сосуда пренебречь.

32.22 Сосуд объемом $V = 0,25 \text{ м}^3$ содержит азот при давлении $P_1 = 120 \text{ кПа}$. Какое давление P_2 установится в сосуде, если азоту сообщить $Q = 8,4 \text{ кДж}$ тепла? Молярная теплоемкость азота при постоянном объеме $c_V = 21 \text{ Дж}/(\text{моль}\cdot\text{К})$, универсальная газовая постоянная $R = 8,31 \text{ Дж}/(\text{моль}\cdot\text{К})$.

32.23 Давление азота в сосуде объемом $V = 3 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$ в результате нагревания возросло на $\Delta P = 2,2 \cdot 10^6 \text{ Па}$. Определите количество Q теплоты, сообщенной газу. Удельная теплоемкость азота при постоянном объеме $c_V = 745 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$, молярная масса $\mu = 28 \cdot 10^{-3} \text{ кг}/\text{моль}$. Универсальная газовая постоянная $R = 8,31 \text{ Дж}/(\text{моль}\cdot\text{К})$.

Теплоемкости c_p и c_V

32.24 Для нагревания $m = 1 \text{ кг}$ некоторого идеального газа на $\Delta T = 1 \text{ К}$ при постоянном давлении требуется $Q_p = 915 \text{ Дж}$ тепла, а для нагревания при постоянном объеме $Q_V = 655 \text{ Дж}$ тепла. Найдите молярную массу μ газа. Универсальная газовая постоянная $R = 8,31 \text{ Дж}/(\text{моль}\cdot\text{К})$.

32.25 Одинаковое ли количество тепла необходимо для нагревания газа в одинаковых температурных пределах в сосуде, с поршнем в следующих случаях: 1) поршень не перемещается; 2) поршень легко подвижный?

32.26 Какая часть δ_1 количества теплоты, сообщенной одноатомному идеальному газу при изобарическом расширении, идет на увеличение внутренней энергии, а какая часть δ_2 на совершение работы?

32.27 В цилиндрическом сосуде под поршнем находится идеальный газ. При нагревании он расширяется так, что его давление остается постоянным. Найдите отношение работы A , совершенной газом, к количеству Q теплоты, переданной газу. Удельная теплоемкость газа при постоянном давлении c_p , молярная масса μ , универсальная газовая постоянная R .

32.28 Воздух массой $m = 0,005$ кг и начальной температурой $t_0 = 27$ °С нагревают при постоянном давлении так, что его объем увеличивается в $n = 2$ раза. Определите количество Q теплоты, сообщаемой воздуху. Удельная теплоемкость воздуха при постоянном давлении $c_p = 10^3$ Дж/(кг·К).

32.29 Какую работу A совершил воздух массой $m = 290$ г при изобарном нагревании на $\Delta T = 20$ К? На сколько ΔU изменилась его внутренняя энергия? Молярная масса воздуха $\mu = 29$ г/моль. Удельная теплоемкость воздуха при постоянном давлении $c_p = 10^3$ Дж/(кг·К). Универсальная газовая постоянная $R = 8,31$ Дж/(моль·К).

Первый закон термодинамики

32.30 Для изобарного нагревания $\nu = 800$ моль газа на $\Delta T = 500$ К газу сообщили количество теплоты $Q = 9,4$ МДж. Найдите работу A газа и приращение ΔU его внутренней энергии. Универсальная газовая постоянная равна $R = 8,31$ Дж/(моль·К).

32.31 Одноатомный идеальный газ, находящийся в цилиндре под поршнем, нагревают, при этом газ совершает работу $A = 600$ Дж. Какое количество Q тепла подведено к газу при нагревании?

32.32 При изобарическом охлаждении одноатомного идеального газа его внутренняя энергия уменьшается на $|\Delta U| = 1500$ Дж. Найдите работу A , совершенную газом.

32.33 Одноатомный идеальный газ, находящийся в цилиндре под поршнем, охлаждают, при этом газ совершает работу $A = -900$ Дж. Какое количество $|Q|$ тепла было отведено от газа при охлаждении?

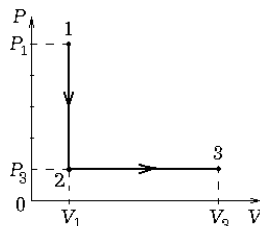
32.34 При изобарическом нагревании одноатомного идеального газа его внутренняя энергия увеличилась на $\Delta U = 1500$ Дж. Найдите количество Q тепла, которое было при этом подведено к газу.

32.35 На сколько ΔU увеличится внутренняя энергия одноатомного идеального газа в процессе изобарического расширения, если газу при этом сообщается $Q = 30$ кДж тепла?

32.36 Одноатомный газ в количестве $\nu = 2$ моль нагрели при постоянном давлении на $\Delta T = 50$ К. Какое количество Q тепла было подведено к газу? Универсальная газовая постоянная $R = 8,31$ Дж/(моль·К).

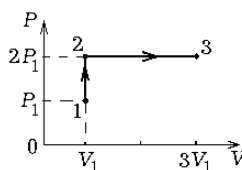
32.37 В цилиндре под поршнем находится $\nu = 2$ моль одноатомного газа. При изобарическом нагревании к газу подведено $Q = 18 \cdot 10^3$ Дж тепла, при этом объем газа увеличился в $n = 2,5$ раза. Определите начальную температуру T газа. Универсальная газовая постоянная $R = 8,31$ Дж/(моль·К).

32.38 Водород массой $m = 0,5$ кг перешел из состояния 1 в состояние 3, где его температура равна начальной $T_1 = 500$ К. Найдите работу A газа в процессе $1 \rightarrow 3$, если конечное давление в 5 раз меньше начального. Молярная масса водорода $\mu = 2$ г/моль, универсальная газовая постоянная $R = 8,31$ Дж/(моль·К).



32.39 Один моль идеального газа перевели из состояния 1 в состояние 2 изохорически так, что его давление уменьшилось в $n = 1,5$ раза, а затем изобарически нагрели до начальной температуры T_1 . При этом газ совершил работу $A = 0,83$ кДж. Найдите T_1 . Универсальная газовая постоянная $R = 8,31$ Дж/(моль·К).

32.40 Какое количество Q теплоты сообщают одноатомному идеальному газу в процессе $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3$? В состоянии 1 давление газа $P_1 = 10^5$ Па, объем $V_1 = 100$ л.



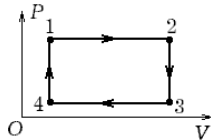
32.41 Одноатомный идеальный газ в количестве $\nu = 2$ моль сначала нагревают при постоянном давлении от температуры $T_1 = 300$ К до температуры $T_2 = 2T_1$, а затем продолжают нагревать при постоянном объеме до температуры $T_3 = 3T_1$. Какое количество Q теплоты сообщают при этом газу? Универсальная газовая постоянная $R = 8,31$ Дж/(моль·К).

32.42 Одноатомный идеальный газ в количестве $\nu = 5$ моль сначала охлаждают при постоянном объеме от температуры $T_1 = 600$ К до температуры $T_2 = 400$ К, а затем продолжают охлаждать при постоянном давлении до температуры $T_3 = 300$ К. Какое количество $|Q|$ теплоты отдает при этом газ? Универсальная газовая постоянная $R = 8,31$ Дж/(моль·К).

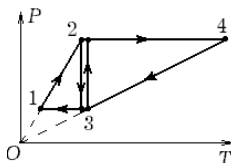
32.43 Одноатомный идеальный газ в количестве $\nu = 1$ моль, находящийся при температуре $T_0 = 300$ К, сначала нагревают при постоянном давлении, сообщая количество теплоты $Q_1 = 1000$ Дж, а затем охлаждают при постоянном объеме, отбирая количество теплоты $Q_2 = 600$ Дж. Определите конечную температуру T газа. Универсальная газовая постоянная $R = 8,31$ Дж/(моль·К).

Циклы

32.44 Идеальный газ участвует в циклическом процессе, состоящем из двух изобар и двух изохор. На рисунке изображен график процесса в координатах P, V . Представьте этот круговой процесс (цикл) в координатах P, T и V, T , обозначив соответствующие точки. На каких участках цикла газ получал и на каких отдавал тепло?

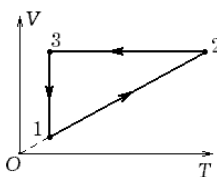


32.45 Идеальный газ участвует в двух циклах: $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 1$ и $3 \rightarrow 2 \rightarrow 4 \rightarrow 3$. В каком из них газ совершит большую работу?



32.46 Газ, занимающий объем $V_1 = 1$ л при давлении $P_1 = 1$ атм, расширился изотермически до объема $V_2 = 2$ л. Затем при этом объеме давление газа было уменьшено в два раза. В дальнейшем газ расширился при постоянном давлении до объема $V_4 = 4$ л. Постройте график зависимости P от V и, используя его, установите, в каком из перечисленных процессов газ совершил большую работу. Как менялась температура?

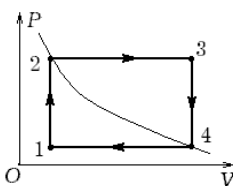
32.47 Идеальный газ участвует в цикле $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 1$, изображенном на графике зависимости объема от температуры. Представьте этот цикл на графике зависимости давления от объема и укажите, на каких участках цикла газ получал, а на каких отдавал тепло.



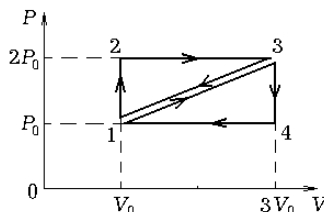
32.48 В цилиндре под поршнем находится воздух. Его состояние последовательно меняется следующим образом: 1) при постоянном объеме увеличивается давление; 2) при постоянном давлении увеличивается объем; 3) при постоянной температуре увеличивается объем; 4) при по-

стоянном давлении воздух возвращается к исходному состоянию. Постройте график этого цикла в координатах P, V и укажите, в каких процессах воздух в цилиндре получает тепло и в каких отдает.

32.49 Один моль идеального газа участвует в цикле, состоящем из двух изохор и двух изобар. Температуры в точках 1 и 3 равны соответственно T_1 и T_3 . Определите работу A , совершенную газом за цикл, если точки 2 и 4 лежат на одной изотерме. Универсальная газовая постоянная равна R .



32.50 На рисунке изображены два цикла: $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 1$ и $1 \rightarrow 3 \rightarrow 4 \rightarrow 1$, в которых участвует одноатомный идеальный газ. У какого из циклов КПД выше и во сколько раз?



Тепловые машины

32.51 У некоторой идеальной тепловой машины с коэффициентом полезного действия $\eta_1 = 60\%$, температуру нагревателя увеличили в $n = 2$ раза, а температуру холодильника уменьшили на $|\delta T| = 40\%$. Найдите новое значение коэффициента полезного действия η_2 этой тепловой машины.

32.52 В идеальной тепловой машине рабочее тело за цикл получает от нагревателя $Q_1 = 10^3$ Дж тепла и совершает работу $A = 300$ Дж. Определите КПД η машины и температуру T_1 нагревателя, если температура холодильника $T_2 = 280$ К.

33. Тепловые процессы

КПД двигателей

33.1 При сгорании $V_1 = 1$ л бензина выделяется $E_1 = 32$ МДж. За счет $\eta = 40\%$ этой энергии грузовик, масса которого $m = 20$ тонн, приходит в движение. Какой объем V_2 бензина потребуется, чтобы разогнать грузовик до скорости $V = 72$ км/ч?

33.2 Найдите расход бензина для автомобиля «Запорожец» на $s = 1$ км пути при скорости $V = 60$ км/ч. Мощность мотора $N = 23$ л.с., коэффициент полезного действия мотора $\eta = 30\%$. Теплотворная способность бензина $q = 4,5 \cdot 10^7$ Дж/кг. 1 л.с. = 735,5 Вт.

33.3 На сколько s километров пути хватит автомобилю $V = 40$ л бензина, если масса автомобиля $M = 3,6$ т, сила сопротивления движению составляет $k = 0,05$ веса, КПД двигателя $\eta = 18\%$. Автомобиль движется равномерно по горизонтальной прямой. Теплотворная способность бензина $q = 4,6 \cdot 10^7$ Дж/кг, плотность бензина $\rho = 700$ кг/м³. Ускорение свободного падения $g = 10$ м/с².

33.4 Автомобиль «Москвич» расходует $m = 5,67$ кг бензина на $s = 50$ км пути. Определите мощность N , развиваемую двигателем, если скорость движения $V = 90$ км/ч и КПД двигателя $\eta = 22\%$. Теплотворная способность бензина $q = 4,5 \cdot 10^7$ Дж/кг.

33.5 Двигатели реактивного самолета при перелете на расстояние $s = 4310$ км развивают среднюю силу тяги $F = 80$ кН. Какая масса m керосина будет израсходована за полет, если КПД двигателей $\eta = 25\%$? Удельная теплота сгорания керосина $q = 4,3 \cdot 10^7$ Дж/кг.

33.6 Определите КПД η энергетической установки атомного ледокола, если ее мощность $P = 32$ МВт, а атомный реактор расходует $m = 200$ г топлива ${}_{92}^{235}\text{U}$ в сутки. При делении одного ядра атома урана-235 выделяется энергия $E_1 = 3,2 \cdot 10^{-11}$ Дж. Постоянная Авогадро $N_A = 6 \cdot 10^{23}$ моль⁻¹.

Уравнение теплового баланса

33.7 В стакане содержится $m = 250$ г воды. Погруженный в стакан термометр показал температуру $t_2 = 78$ °С. Какой была температура t_0 воды непосредственно перед погружением в нее термометра? Теплоемкость термометра $C = 20$ Дж/К и до погружения в воду он показывал температуру $t_1 = 20$ °С. Удельная теплоемкость воды $c_w = 4200$ Дж/(кг·К). Считайте, что в теплообмене участвуют только два тела: вода и термометр.

33.8 При отрицательной калорической диете используется вода при $t_0 = 0$ °С. Когда человек выпивает эту воду, организм выделяет энергию, чтобы нагреть ее до температуры человеческого тела $t_1 = 37$ °С. Сколько

литров V ледяной воды следует выпивать, чтобы компенсировать поступление с пищей $Q = 10^5$ калорий (1 калория эквивалентна 4,2 Дж)? Плотность воды $\rho = 10^3$ кг/м³, удельная теплоемкость воды $c_e = 4200$ Дж/(кг·К).

33.9 В ведро налито $V_1 = 5$ л воды, температура которой $t_1 = 9$ °С. Сколько литров V_2 кипятку следует долить в ведро, чтобы температура воды стала $t = 30$ °С? Теплообменом воды с окружающими телами пренебречь.

33.10 Смешали $m_1 = 3$ кг воды при температуре $t_1 = 20$ °С и $m_2 = 10$ кг воды при температуре $t_2 = 80$ °С. Определите температуру t смеси. Теплообменом воды с окружающими телами пренебречь.

33.11 Для приготовления ванны емкостью $V = 200$ л смешали холодную воду при $t_1 = 10$ °С с горячей водой при $t_2 = 60$ °С. Какие объемы V_1 холодной и V_2 горячей воды следует взять, чтобы установилась температура $t = 40$ °С? Теплообменом воды с окружающими телами пренебречь.

33.12 После опускания в воду, температура которой $t_1 = 10$ °С, тела, нагретого до $t_2 = 100$ °С, через некоторое время установилась температура $t_3 = 40$ °С. Какой станет температура t воды, если, не вынимая первого тела, в нее опустить еще одно такое же тело, также нагретое до $t_2 = 100$ °С? Теплообменом упомянутых двух тел и воды с прочими телами пренебречь.

33.13 Для определения удельной теплоемкости металлического сплава производится следующий опыт: образец сплава массой $m = 200$ г погружается на длительное время в кипящую воду, температура которой $t = 100$ °С, а затем быстро переносится в калориметр, содержащий $m_e = 300$ г воды при температуре $t_0 = 20$ °С. В результате температура воды в калориметре возрастает на $\Delta t = 30$ °С, после чего рост ее прекращается. Найдите удельную теплоемкость c образца. Удельная теплоемкость воды $c_e = 4200$ Дж/(кг·К).

33.14 Кусок меди массой $m_1 = 200$ г при температуре $t_1 = 210$ °С помещается в алюминиевую чашку калориметра массой $m_2 = 180$ г, содержащую $m_3 = 800$ г воды при температуре $t_2 = 11$ °С. Найдите температуру t в состоянии теплового равновесия. Удельные теплоемкости меди $c_1 = 380$ Дж/(кг·К), алюминия $c_2 = 880$ Дж/(кг·К), воды $c_3 = 4200$ Дж/(кг·К).

33.15 В железном калориметре массой $m_1 = 0,1$ кг находится $m_2 = 0,5$ кг воды при температуре $t_{12} = 15$ °С. В калориметр бросают свинец и алюминий суммарной массой $m_{34} = 0,15$ кг и температурой $t_{34} = 100$ °С. В результате температура воды поднимается до $t = 17$ °С. Определите массы m_3 свинца и m_4 алюминия. Удельные теплоемкости железа $c_1 = 460$ Дж/(кг·К), воды $c_2 = 4200$ Дж/(кг·К), свинца $c_3 = 126$ Дж/(кг·К), алюминия $c_4 = 880$ Дж/(кг·К).

33.16 Кусок железа массой $m_1 = 290$ г при температуре $t_1 = 190$ °С помещается в алюминиевую чашку калориметра массой $m_2 = 100$ г, содержащую $m_3 = 250$ г глицерина при температуре $t_2 = 10$ °С. Измерена конечная температура $t = 38$ °С. Определите удельную теплоемкость c_3 глицерина. Удельные теплоемкости железа $c_1 = 460$ Дж/(кг·К), алюминия $c_2 = 880$ Дж/(кг·К).

33.17 В калориметр, содержащий $V = 5$ л воды при температуре $t_1 = 90$ °С, опустили кусок льда массой $m = 1$ кг при температуре $t_2 = -10$ °С. Определите температуру t воды после того, как лед растает и система придет в равновесие. Удельная теплоемкость льда $c_1 = 2100$ Дж/(кг·К), удельная теплоемкость воды $c_2 = 4200$ Дж/(кг·К), удельная теплота плавления льда $\lambda = 3,3 \cdot 10^5$ Дж/кг. Плотность воды $\rho = 10^3$ кг/м³. Температура плавления льда $t_0 = 0$ °С.

33.18 В сосуд, содержащий $m_1 = 0,5$ кг лимонада при температуре $t_1 = 20$ °С, добавлен лед массой $m_2 = 0,05$ кг при температуре $t_2 = 0$ °С. Найдите равновесную температуру t смеси. Удельная теплота плавления льда $\lambda = 3,3 \cdot 10^5$ Дж/кг, удельные теплоемкости воды и лимонада одинаковы и равны $c = 4200$ Дж/(кг·К). Считайте, что в теплообмене участвуют только лед, лимонад и вода.

33.19 Определите минимальный объем V льда, взятого при температуре $t_0 = 0$ °С, который следует добавить в воду массой $m = 170$ г при температуре $t_1 = 15$ °С, чтобы понизить ее температуру до $t_0 = 0$ °С. Удельная теплота плавления льда $\lambda = 3,3 \cdot 10^5$ Дж/кг, удельная теплоемкость воды $c = 4200$ Дж/(кг·К), плотность льда $\rho = 0,9$ г/см³. Теплообменом с окружающей средой пренебречь.

33.20 В калориметр, содержащий воду при температуре $t = 5$ °С, опустили $m = 40$ г льда при температуре $t_1 = -10$ °С. После установления теплового равновесия в калориметре осталось $m_1 = 19$ г льда. Какая масса M воды

была в калориметре до начала опыта? Удельная теплоемкость воды $c_w = 4200 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$, удельная теплоемкость льда $c_l = 2100 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$, удельная теплота плавления льда $\lambda = 3,3 \cdot 10^5 \text{ Дж}/\text{кг}$.

33.21 В калориметр поместили $m_1 = 0,3 \text{ кг}$ воды при температуре $t_1 = 80 \text{ }^\circ\text{C}$ и кусок льда массой $m_2 = 0,1 \text{ кг}$ при температуре $t_2 = -5 \text{ }^\circ\text{C}$. Определите конечную температуру t смеси. Удельные теплоемкости воды и льда равны соответственно $c_1 = 4200 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$ и $c_2 = 2100 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$. Удельная теплота плавления льда $\lambda = 3,3 \cdot 10^5 \text{ Дж}/\text{кг}$.

33.22 В калориметр, содержащий $m_1 = 2 \text{ кг}$ льда при температуре $t_1 = -5 \text{ }^\circ\text{C}$, добавили $m_2 = 200 \text{ г}$ воды при температуре $t_2 = +5 \text{ }^\circ\text{C}$. Определите массу m льда в калориметре после установления равновесия. Удельные теплоемкости льда $c_1 = 2100 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$, воды $c_2 = 4200 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$, удельная теплота плавления льда $\lambda = 3,3 \cdot 10^5 \text{ Дж}/\text{кг}$.

33.23 В калориметр, содержащий $m_1 = 100 \text{ г}$ льда при $t_1 = 0 \text{ }^\circ\text{C}$, наливают $m_2 = 150 \text{ г}$ воды при температуре $t_2 = 50 \text{ }^\circ\text{C}$. Определите установившуюся в калориметре температуру t . Удельная теплоемкость воды $c = 4200 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$. Удельная теплота плавления льда $\lambda = 3,3 \cdot 10^5 \text{ Дж}/\text{кг}$.

33.24 Имеется $m = 1 \text{ кг}$ воды, переохлажденной до $t_1 = -10 \text{ }^\circ\text{C}$. При некотором возмущении часть воды превращается в лед с температурой $t_2 = 0 \text{ }^\circ\text{C}$. Найдите массу m_1 образовавшегося льда. Удельная теплоемкость воды $c = 4200 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$, удельная теплота плавления льда $\lambda = 3,3 \cdot 10^5 \text{ Дж}/\text{кг}$.

33.25 В колбе находилась вода при $t = 0 \text{ }^\circ\text{C}$. Выкачивая из колбы воздух, заморозили всю воду посредством собственного испарения. Какая часть $\Delta m/m$ воды при этом испарилась, если нет притока тепла извне? Удельная теплота испарения воды при $0 \text{ }^\circ\text{C}$ равна $r = 2,5 \cdot 10^6 \text{ Дж}/\text{кг}$, удельная теплота плавления льда $\lambda = 3,3 \cdot 10^5 \text{ Дж}/\text{кг}$.

33.26 В сосуд, содержащий $m_1 = 10 \text{ кг}$ воды при $t_1 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$, вводится $m_2 = 0,2 \text{ кг}$ пара при $t_2 = 100 \text{ }^\circ\text{C}$, который полностью превращается в воду. Определите конечную температуру t воды. Теплоемкость сосуда и потери теплоты малы. Удельная теплоемкость воды $c = 4200 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$, удельная теплота парообразования воды $r = 2,26 \cdot 10^6 \text{ Дж}/\text{кг}$.

33.27 В калориметр с $m_1 = 0,1 \text{ кг}$ льда при $t_1 = 0 \text{ }^\circ\text{C}$ впущен пар, температура которого $t_2 = 100 \text{ }^\circ\text{C}$. Какая масса m воды окажется в кало-

риметре непосредственно после того, как весь лед растает? Удельная теплота плавления льда $\lambda_1 = 3,3 \cdot 10^5$ Дж/кг, удельная теплота парообразования воды $\lambda_2 = 2,3 \cdot 10^6$ Дж/кг, удельная теплоемкость воды $c_2 = 4200$ Дж/(кг·К).

33.28 В вертикально расположенном цилиндрическом сосуде под очень легким поршнем находится $m = 3$ кг воды при $t = 20$ °С. При нагревании воде было сообщено $Q = 1017$ кДж. На какую высоту h поднимется поршень? Атмосферное давление $P = 10^5$ Па, площадь поршня $S = 3$ дм². Удельная теплоемкость воды $c = 4200$ Дж/(кг·К). Удельная теплота парообразования воды $r = 2,26 \cdot 10^6$ Дж/кг. Молярная масса воды $\mu = 18 \cdot 10^{-3}$ кг/моль. Универсальная газовая постоянная $R = 8,31$ Дж/(моль·К). Изменением объема воды при испарении, а также ее тепловым расширением пренебречь.

33.29 Для определения удельной теплоты плавления олова в калориметр, содержащий $m_1 = 330$ г воды при $t_1 = 7$ °С влили $m_2 = 350$ г расплавленного олова при температуре затвердевания, после чего в калориметре, теплоемкость которого $C = 100$ Дж/К, установилась температура $t = 32$ °С. Определите удельную теплоту плавления λ_2 олова по данным опыта. Удельная теплоемкость воды $c_1 = 4200$ Дж/(кг·К), олова $c_2 = 230$ Дж/(кг·К), температура затвердевания олова $t_2 = 232$ °С.

33.30 Какое количество Q теплоты следует сообщить $m = 5$ кг меди, взятой при температуре $t_1 = 13$ °С, чтобы нагреть ее до плавления и расплавить? Температура плавления меди $t_2 = 1083$ °С, удельная теплоемкость меди $c = 390$ Дж/(кг·К). Удельная теплота плавления меди $\lambda = 1,75 \cdot 10^5$ Дж/кг.

33.31 Через какое время τ после включения закипит вода в электрическом чайнике мощностью $P = 600$ Вт? Масса воды $m = 2$ кг, начальная температура воды $t = 20$ °С, КПД чайника $\eta = 50\%$, удельная теплоемкость воды $c = 4200$ Дж/(кг·К).

33.32 Электрический чайник без устройства для самовыключения содержит воду массой $m = 1$ кг при температуре $t = 10$ °С. Через какое время τ после включения вода полностью выкипит? Мощность нагревателя $P = 1500$ Вт. Удельная теплоемкость воды $c = 4200$ Дж/(кг·К), удельная теплота парообразования воды $r = 2,26 \cdot 10^6$ Дж/кг. Считайте, что все тепло, выделяемое нагревателем, передается воде.

33.33 В электрический чайник налили воду, температура которой $t = 10^{\circ}\text{C}$. Через $\tau = 10$ мин после включения чайника вода закипела. Через какое время τ_1 она полностью испарится? Удельная теплоемкость воды $c = 4200$ Дж/(кг·К), удельная теплота парообразования воды $r = 2,26 \cdot 10^6$ Дж/кг. Потерями теплоты пренебречь.

33.34 На нагреватель поставили открытый сосуд с водой. Через $\tau_1 = 40$ мин после начала кипения в сосуд добавили воду, масса которой равна массе выкипевшей за это время воды. При неизменных условиях нагрева вода в сосуде снова закипела спустя $\tau_2 = 3$ мин. Какова была первоначальная температура t добавленной воды? Удельная теплоемкость воды $c = 4,2 \cdot 10^3$ Дж/(кг·К), удельная теплота парообразования воды $r = 2,26 \cdot 10^6$ Дж/кг, атмосферное давление нормальное. Потерями тепла пренебречь.

33.35 Сосуд с $m_1 = 100$ г воды при температуре $t_1 = 0^{\circ}\text{C}$ был подвешен посередине комнаты. Через $\tau_1 = 15$ мин температура воды поднялась до $t_2 = 2^{\circ}\text{C}$. В другой раз в тот же сосуд вместо воды поместили $m_2 = 100$ г льда при температуре $t_1 = 0^{\circ}\text{C}$. В тех же условиях лед растаял за $\tau_2 = 10$ ч. Оцените по этим данным удельную теплоту плавления λ льда. Удельная теплоемкость воды $c = 4200$ Дж/(кг·К). Теплоемкость сосуда считайте малой.

33.36 Какую массу m льда, взятого при температуре $t = -10^{\circ}\text{C}$, можно растопить за $\tau = 10$ мин с помощью электрического нагревателя, работающего при величине постоянного тока $I = 3$ А от сети с постоянным напряжением $U = 220$ В? КПД нагревателя $\eta = 80\%$. Удельная теплоемкость льда $c = 2100$ Дж/(кг·К), удельная теплота плавления льда $\lambda = 3,3 \cdot 10^5$ Дж/кг, температура плавления льда $t_0 = 0^{\circ}\text{C}$.

33.37 При изготовлении льда в холодильнике потребовалось $\tau_1 = 5$ мин, чтобы охладить воду от $t_0 = 4^{\circ}\text{C}$ до $t_1 = 0^{\circ}\text{C}$ и еще $\tau_2 = 1$ час 40 мин, чтобы превратить ее в лед. Определите по этим данным удельную теплоту плавления λ льда. Удельная теплоемкость воды $c = 4200$ Дж/(кг·К). Считайте, что в процессе охлаждения воды и ее замораживания скорость отвода тепла была постоянной.

33.38 Для приближенного определения теплоты парообразования воды ученик проделал следующий опыт. На электроплитке он нагрел воду, причем оказалось, что на нагревание ее от $t_1 = 10^{\circ}\text{C}$ до $t_2 = 100^{\circ}\text{C}$ потребовалось $\tau_1 = 18$ мин, а для обращения $\eta = 20\%$ ее массы в пар - еще $\tau_2 =$

23 мин. Какова удельная теплота парообразования r воды по данным этого опыта? Удельная теплоемкость воды $c = 4200$ Дж/(кг·К).

33.39 Лазер излучает световые импульсы с энергией $W = 0,1$ Дж. Частота повторения импульсов $f = 10$ Гц. КПД лазера, определяемый как отношение излучаемой энергии к потребляемой, составляет $K = 0,01$. Какой объем V воды следует прокачать за $\tau = 1$ ч через охлаждающую систему лазера, чтобы вода нагрелась не более чем на $\Delta t = 10$ °С? Удельная теплоемкость воды $c = 4200$ Дж/(кг·К). Плотность воды $\rho = 10^3$ кг/м³.

33.40 Стальной осколок, падая с высоты $H = 500$ м, двигался у поверхности Земли со скоростью $V = 59$ м/с. На сколько Δt повысилась температура осколка, если считать, что вся работа сил сопротивления воздуха привела только к нагреванию осколка? Удельная теплоемкость стали $c = 460$ Дж/(кг·К). Ускорение свободного падения $g = 10$ м/с².

33.41 Свинцовая пуля ударяется о препятствие и останавливается. Скорость пули перед ударом $V = 330$ м/с. Какая часть $\Delta m/m$ пули расплавится, если вся теплота, выделяющаяся при ударе, поглощается пулей? Температура пули перед ударом $t_0 = 27$ °С. Температура плавления свинца $t = 327$ °С. Удельная теплоемкость свинца $c = 126$ Дж/(кг·К) и удельная теплота плавления свинца $\lambda = 2,6 \cdot 10^4$ Дж/кг.

33.42. Свинцовая пуля пробивает деревянную стенку, причем скорость перед ударом $V_1 = 400$ м/с, а в момент вылета из стенки $V_2 = 100$ м/с. Какая часть $\Delta m/m$ пули расплавилась, если считать, что на ее нагревание и плавление идет $\eta = 60\%$ убыли кинетической энергии? Температура пули перед ударом $t_1 = 50$ °С. Температура плавления свинца $t_2 = 327$ °С. Удельная теплоемкость свинца $c = 126$ Дж/(кг·К), удельная теплота плавления свинца $\lambda = 2,6 \cdot 10^4$ Дж/кг.

33.43 В теплоизолированном сосуде в начальный момент находится одноатомный идеальный газ при температуре $T_0 = 300$ К и кусочек железа массой $m = 0,2$ кг, нагретый до температуры $T_1 = 500$ К. Начальное давление газа $P_0 = 10^5$ Па, его объем $V = 10^{-3}$ м³. Найдите давление P газа в равновесном состоянии. Удельная теплоемкость железа $c = 450$ Дж/(кг·К).

34. Влажность воздуха

34.1 В герметически закрытом сосуде объемом $V = 1,1$ л находится $m = 100$ г кипящей воды и пара при температуре $t = 100$ °С (воздуха в сосуде нет). Найдите массу m_n пара. Плотность воды при $t = 100$ °С $\rho_e = 10^3$ кг/м³. Плотность насыщенного водяного пара при $t = 100$ °С $\rho_n = 598$ г/м³.

34.2 В комнате объемом $V = 120$ м³ при температуре $t = 15$ °С относительная влажность $\varphi = 60\%$. Определите массу m водяных паров в воздухе комнаты. Давление насыщенного водяного пара при $t = 15$ °С $P_n = 1,71 \cdot 10^3$ Па. Молярная масса воды $\mu = 18 \cdot 10^{-3}$ кг/моль. Универсальная газовая постоянная равна $R = 8,31$ Дж/(моль·К).

34.3 Найдите массу m воды, которую следует испарить в помещении объемом $V = 10^2$ м³, чтобы увеличить относительную влажность воздуха от $\varphi_1 = 40\%$ до $\varphi_2 = 60\%$ при температуре $t = 16$ °С. Плотность насыщенного водяного пара при этой температуре $\rho_n = 13,6$ г/м³.

34.4 В помещение следует подать $V = 2 \cdot 10^4$ м³ воздуха при $t_1 = 15$ °С и относительной влажности $\varphi_1 = 50\%$, забирая его с улицы при $t_2 = 10$ °С и относительной влажности $\varphi_2 = 60\%$. Какую массу m воды следует дополнительно испарить в подаваемый воздух? Плотность насыщенных водяных паров при $t_1 = 15$ °С $\rho_{n1} = 12,8$ г/м³, при $t_2 = 10$ °С $\rho_{n2} = 9,4$ г/м³.

34.5 В комнате объемом $V = 168$ м³ относительная влажность воздуха $\varphi = 80\%$. Сколько еще граммов m воды может испариться из открытого сосуда? Температура воздуха $t = 20$ °С, давление насыщенных паров воды при 20 °С $P_n = 2,3 \cdot 10^3$ Па. Молярная масса воды $\mu = 18$ г/моль. Универсальная газовая постоянная $R = 8,31$ Дж/(моль·К).

34.6 В сосуде объемом $V = 1$ м³ при температуре $t = 20$ °С находится воздух с относительной влажностью $\varphi_1 = 30\%$. Найдите относительную влажность φ_2 после добавления в сосуд $m = 5$ г воды. Температура поддерживается постоянной. Давление насыщенных паров воды при $t = 20$ °С $P_n = 2,3 \cdot 10^3$ Па. Молярная масса воды $\mu = 18$ г/моль. Универсальная газовая постоянная $R = 8,31$ Дж/(моль·К).

34.7 Изотермически смешали $V_1 = 1 \text{ м}^3$ воздуха с влажностью $\varphi_1 = 20\%$ и $V_2 = 2 \text{ м}^3$ воздуха с влажностью $\varphi_2 = 30\%$. Смесь занимает объем $V_1 + V_2$. Определите относительную влажность φ смеси.

34.8 Относительная влажность воздуха при $t_1 = 30 \text{ }^\circ\text{C}$ $\varphi_1 = 80\%$. Воздух нагревают при постоянном объеме до $t_2 = 50 \text{ }^\circ\text{C}$. Найдите относительную влажность φ_2 при температуре t_2 . Давление насыщенных паров воды при $t_1 = 30 \text{ }^\circ\text{C}$ $P_{н1} = 31,8 \text{ мм рт. ст.}$, при $t_2 = 50 \text{ }^\circ\text{C}$ $P_{н2} = 92,5 \text{ мм рт. ст.}$

34.9 В сосуд объемом $V = 10 \text{ дм}^3$, наполненный сухим воздухом при давлении $P_1 = 10^5 \text{ Па}$ и температуре $t_1 = 0 \text{ }^\circ\text{C}$, вводят $m = 3 \text{ г}$ воды. Сосуд нагревают до температуры $t_2 = 100 \text{ }^\circ\text{C}$. Найдите давление P_2 влажного воздуха в сосуде при этой температуре. Давление насыщенного водяного пара при $t_2 = 100 \text{ }^\circ\text{C}$ $P_n = 10^5 \text{ Па}$, молярная масса воды $\mu = 18 \text{ г/моль}$, универсальная газовая постоянная $R = 8,31 \text{ Дж/(моль}\cdot\text{К)}$

34.10 Определите относительную влажность φ воздуха при температуре $t = 27 \text{ }^\circ\text{C}$, если при этой температуре плотность водяного пара $\rho = 8 \cdot 10^{-3} \text{ кг/м}^3$. Давление насыщенного водяного пара при $t = 27 \text{ }^\circ\text{C}$ $P_n = 3520 \text{ Па}$. Молярная масса воды $\mu = 18 \text{ г/моль}$. Универсальная газовая постоянная $R = 8,31 \text{ Дж/(моль}\cdot\text{К)}$.

34.11 В цилиндре под поршнем находится $m = 1,4 \text{ г}$ водяного пара при температуре $t = 19 \text{ }^\circ\text{C}$. Пар занимает объем $V = 100 \text{ л}$. Считая, что в рассматриваемом диапазоне температур зависимость плотности ρ_n насыщенного водяного пара в г/м^3 от температуры t в $^\circ\text{C}$ описывается формулой $\rho_n = 0,85 \cdot t$, объясните, какими способами можно сделать этот пар насыщенным. Объяснения подкрепите расчетами.

34.12 Вечером при $t_1 = 19 \text{ }^\circ\text{C}$ относительная влажность воздуха $\varphi_1 = 61\%$. Выпадет ли роса, если ночью температура понизится до $t_2 = 10 \text{ }^\circ\text{C}$? Считайте, что в рассматриваемом диапазоне температур зависимость плотности ρ_n насыщенного водяного пара в г/м^3 от температуры t в $^\circ\text{C}$ описывается формулой $\rho_n = 0,85 \cdot t$.

34.13 Определите отношение δ массы 1 м^3 сухого воздуха к массе 1 м^3 воздуха с относительной влажностью $\varphi = 50\%$. Обе порции воздуха

взяты при давлении $P = 0,1$ МПа и температуре $t = 20$ °С. Давление насыщенного водяного пара при температуре $t = 20$ °С $P_n = 2340$ Па. Молярные массы воздуха $\mu_1 = 29$ г/моль, воды $\mu_2 = 18$ г/моль.

34.14 Воздушный шарик надувают в комнате при температуре $t_1 = 22$ °С. На сколько $|\delta V|$ процентов изменится объем шарика, если вынести его на улицу, где температура $t_2 = 1$ °С? Считайте, что водяной пар в воздушном шарике насыщен. Давление насыщенного водяного пара при температуре $t_1 = 22$ °С $P_1 = 19,8$ мм рт. ст., а при температуре $t_2 = 1$ °С $P_2 = 4,9$ мм рт. ст. Атмосферное давление $P = 760$ мм рт. ст. Влиянием стенок шарика пренебречь.

34.15 Шар-зонд объемом $V = 1$ м³ заполняют воздухом, температура которого $T = 373$ К, давление $P = 10^5$ Па. На сколько ΔF отличаются подъемные силы двух шаров, один из которых заполнен сухим воздухом, а другой - воздухом с относительной влажностью $\phi = 30\%$? Давление насыщенного водяного пара при $T = 373$ К $P = 10^5$ Па. Молярные массы воздуха $\mu_1 = 29$ г/моль, воды $\mu_2 = 18$ г/моль. Универсальная газовая постоянная $R = 8,31$ Дж/(моль·К), ускорение свободного падения $g = 10$ м/с².

34.16 Давление насыщенного водяного пара при температуре $t = 36$ °С $P_n = 5940$ Па. Определите плотность ρ воздуха с относительной влажностью $\phi = 80\%$ при этой температуре и давлении $P = 10^5$ Па. Молярная масса воздуха $\mu_1 = 29$ г/моль, молярная масса воды $\mu_2 = 18$ г/моль, универсальная газовая постоянная $R = 8,31$ Дж/(моль·К).

34.17 В цилиндре под поршнем находится влажный воздух при температуре $t = 30$ °С. Давление в цилиндре $P_1 = 10^4$ Па, относительная влажность $\phi = 60\%$. Какое давление P_2 установится в цилиндре, если перемещением поршня уменьшить его объем в $n = 3$ раза, поддерживая температуру постоянной? Давление насыщенного водяного пара при $t = 30$ °С $P_n = 4,24 \cdot 10^3$ Па.

34.18 В цилиндре под поршнем находится влажный воздух, давление которого $P_1 = 10^5$ Па, относительная влажность $\phi = 20\%$. Воздух медленно изотермически сжимают. Найдите давление P_2 в тот момент, когда в цилиндре появятся первые капли воды?

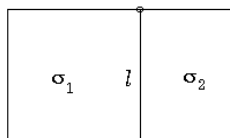
34.19 Оцените, какую долю δ от количества теплоты, необходимого для парообразования воды при $t = 100$ °С, составляет количество тепло-

ты, идущей на работу против сил внешнего давления. Удельная теплота парообразования $r = 2,26 \cdot 10^6$ Дж/кг, молярная масса воды $\mu = 18$ г/моль, универсальная газовая постоянная $R = 8,31$ Дж/(моль·К).

35. Поверхностное натяжение жидкостей

35.1 Проволочка диаметром $d = 0,2$ мм подвешена вертикально к чашке чувствительных весов и частично погружена на малую глубину в сосуд с водой. Коэффициент поверхностного натяжения воды $\sigma = 0,073$ Н/м. Какова величина ΔF силы, действующей дополнительно на весы? Вода полностью смачивает проволочку.

35.2 Пленки воды и масла разделены подвижной планкой длиной $l = 0,5$ см. Коэффициенты поверхностного натяжения воды $\sigma_1 = 0,073$ Н/м, масла $\sigma_2 = 0,030$ Н/м. Найдите величину F силы, которую следует приложить перпендикулярно планке в плоскости рамки, чтобы удерживать планку в равновесии.



35.3 Какова величина Δh абсолютной погрешности измерения атмосферного давления по высоте ртутного столбика, если внутренний диаметр барометрической трубки $d = 5$ мм, а коэффициент поверхностного натяжения ртути $\sigma = 0,465$ Н/м? Плотность ртути $\rho = 13,6$ г/см³, ускорение свободного падения $g = 10$ м/с². Ртуть не смачивает стекло.

35.4 Конец капиллярной трубки опущен в воду. Какое количество Q теплоты выделится при поднятии воды по капилляру? Плотность воды $\rho = 10^3$ кг/м³, коэффициент поверхностного натяжения воды $\sigma = 0,073$ Н/м, ускорение свободного падения $g = 10$ м/с². Переход механической энергии в тепловую происходит медленно.