

$$A = \left( p_0 + \frac{mg}{S} \right) \frac{V\Delta T}{T}. \quad (3)$$

На основании выражений (1) и (3) получим:

$$\Delta U = Q - \left( p_0 + \frac{mg}{S} \right) \frac{V\Delta T}{T}, \quad \Delta U = 33 \text{ Дж.}$$

## Задачи для самостоятельного решения

**451.** Чтобы охладить  $V = 4,5$  л воды от температуры  $t_1 = 30^\circ\text{C}$  до  $t_2 = 10^\circ\text{C}$ , в воду бросают кусочки льда при температуре  $t_3 = 0^\circ\text{C}$ . Найти массу льда, необходимого для охлаждения воды. Плотность воды  $\rho = 1 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ , удельная теплоемкость воды  $c = 4190 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{K)}$ , удельная теплота плавления льда  $\lambda = 3,3 \cdot 10^5 \text{ Дж/кг}$ .

**452.** В сосуд, содержащий  $m_1 = 2,35$  кг воды при температуре  $T_1 = 293 \text{ K}$ , опускают кусок олова, нагретого до температуры  $T_2 = 503 \text{ K}$ . Температура воды в сосуде повысилась на  $\Delta T = 15 \text{ K}$ . Вычислить массу олова. Испарением воды пренебречь. Удельная теплоемкость воды  $c_1 = 4,19 \cdot 10^3 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{K)}$ , олова  $c_2 = 2,5 \cdot 10^2 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{K)}$ .

**453.** Нагретую железную болванку поставили на лед, имеющий температуру  $t_1 = 0^\circ\text{C}$ . В результате охлаждения болванки до  $0^\circ\text{C}$  под ней расплавилось  $m_1 = 460$  г льда. Какова была температура нагретой болванки, если ее масса  $m_2 = 3,3$  кг? Удельная теплоемкость железа  $c = 460 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{K)}$ , удельная теплота плавления льда  $\lambda = 3,3 \cdot 10^5 \text{ Дж/кг}$ .

**454.** При нормальном атмосферном давлении некоторую массу воды нагревают до температуры кипения, пропуская через нее пар при температуре  $t_1 = 100^\circ\text{C}$ . Во сколько раз увеличится масса воды, когда она достигнет температуры кипения? Начальная температура воды  $t_2 = 20^\circ\text{C}$ , ее удельная теплоемкость и удельная теплота парообразования — соответственно  $c = 4,19 \cdot 10^3 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{K)}$ ,  $r = 22,6 \cdot 10^5 \text{ Дж/кг}$ .

**455.** В калориметр налито  $m_1 = 2,0$  кг воды при температуре  $t_1 = 6,0^\circ\text{C}$  и положен кусок льда массой  $m_2 = 2,0$  кг, температура которого  $t_2 = -20^\circ\text{C}$ . Каково будет содержимое калориметра после установления теплового равновесия? Теплоемкостью калориметра и теплообменом

с внешней средой пренебречь. Удельная теплоемкость воды  $c_1 = 4,19 \cdot 10^3$  Дж/(кг · К), льда  $c_2 = 2,1 \cdot 10^3$  Дж/(кг · К), удельная теплота плавления льда  $\lambda = 3,3 \cdot 10^5$  Дж/кг.

**456.** В смесь, состоящую из льда массой  $m_1 = 5$  кг и воды массой  $m_2 = 4$  кг при температуре  $t_1 = 0$  °С, впускают водяной пар массой  $m_3 = 0,5$  кг при температуре  $t_2 = 100$  °С. Определить температуру смеси  $t$  и массу  $m_4$  растаявшего льда. Удельная теплота плавления льда  $\lambda = 3,3 \cdot 10^5$  Дж/кг. Удельная теплоемкость воды  $c = 4,19 \cdot 10^3$  Дж/(кг · К). Удельная теплота парообразования воды  $r = 22,6 \cdot 10^5$  Дж/кг.

**457.** В калориметр, в котором находится вода массой  $m_1$  при температуре  $T_1$ , вливают расплавленный металл, масса которого  $m_2$ , а температура равна температуре плавления  $T_{\text{пл}}$ . При этом температура воды в калориметре повышается до  $T_2$ , а часть воды выкипает. Определить массу выкипевшей воды. Удельная теплоемкость воды  $c_1$ , удельная теплоемкость металла  $c_2$ , удельная теплота плавления металла  $\lambda$ , удельная теплота парообразования воды  $r$ , температура кипения воды  $T_{\text{к}}$ .

**458.** С какой скоростью должна удариться о преграду свинцовая пуля, чтобы она расплавилась, если до удара температура пули была  $T = 373$  К? При ударе на нагревание пули идет  $\eta = 0,60$  ее энергии. Температура плавления свинца  $T_{\text{пл}} = 600$  К, его удельная теплоемкость  $c = 130$  Дж/(кг · К), удельная теплота плавления  $\lambda = 30 \times 10^3$  Дж/кг.

**459.** Свинцовая пуля, летящая горизонтально со скоростью  $v_0 = 500$  м/с, пробивает доску на высоте  $h = 2,0$  м над поверхностью земли, не изменяя направления своей скорости. На каком расстоянии от доски пуля упадет на землю, если при движении через доску она нагревается на  $\Delta T = 200$  К? Считать, что вся теплота, выделившаяся при движении через доску, пошла на нагревание пули. Удельная теплоемкость свинца  $c = 130$  Дж/(кг · К). Сопротивлением воздуха пренебречь.

**460.** Поезд массой  $m = 1000$  т при торможении с ускорением  $a = 0,2$  м/с<sup>2</sup> остановился через  $\tau = 100$  с. Какое количество теплоты выделилось при торможении?

**461.** Рабочий забивает в доску железный гвоздь массой  $m = 50$  г и ударяет при этом  $n = 5$  раз молотком, масса которого  $M = 0,5$  кг. Импульс молотка непосредственно перед ударом  $p = 6$  кг · м/с. На сколько градусов нагреется гвоздь, если вся выделившаяся при ударах теплота по-

шла на его нагревание? Удельная теплоемкость железа  $c = 0,45$  кДж/(кг · К).

**462.** Лазер излучает световые импульсы с энергией  $W = 0,1$  Дж. Частота повторения импульсов  $\nu = 10$  Гц. КПД лазера, определяемый отношением излучаемой энергии к потребляемой,  $\eta = 0,01$ . Какой объем воды нужно прокачать за  $\tau = 1$  ч через охлаждающую систему лазера, чтобы вода нагрелась не более чем на  $\Delta t = 10$  °С?

**463.** Найти массу льда, имеющего температуру  $t = -10$  °С, который можно растопить за  $\tau = 10$  мин с помощью электрического нагревателя, работающего при токе силой  $I = 3$  А от сети с напряжением  $U = 220$  В? КПД нагревателя  $\eta = 80\%$ . Удельная теплоемкость льда  $c = 2,1 \cdot 10^3$  Дж/(кг · К), удельная теплота плавления льда  $\lambda = 3,3 \cdot 10^5$  Дж/кг.

**464.** В кастрюлю налили холодной воды при температуре  $t_1 = 10$  °С и поставили ее на электроплиту. Через время  $\tau_1 = 5,0$  мин вода закипела. Через сколько времени после начала кипения вода полностью испарится? Удельная теплоемкость воды  $c = 4,19 \cdot 10^3$  Дж/(кг · К), удельная теплота парообразования воды  $r = 2,26 \cdot 10^6$  Дж/кг. Кипение происходит в открытой кастрюле при нормальном давлении.

**465.** Определить КПД нагревателя, расходующего  $m_1 = 0,08$  кг керосина на нагревание  $m_2 = 3,0$  кг воды на  $\Delta T = 90$  К. Удельная теплота сгорания керосина  $q = 4,2 \cdot 10^7$  Дж/кг, удельная теплоемкость воды  $c = 4,19 \cdot 10^3$  Дж/(кг · К).

**466.** Для расплавления  $m = 1000$  кг стали используется электропечь мощностью  $P = 100$  кВт. Сколько времени продолжается плавка, если слиток до начала плавления надо нагреть на  $\Delta T = 1500$  К? Удельная теплоемкость стали  $c = 500$  Дж/(кг · К), удельная теплота плавления стали  $\lambda = 2,7 \cdot 10^5$  Дж/кг.

**467.** Вертикальный цилиндр с тяжелым поршнем наполнен азотом, масса которого  $m_1 = 0,1$  кг. После увеличения температуры азота на  $\Delta T = 100$  К поршень поднялся на высоту  $h = 0,1$  м. Над поршнем все время сохраняется нормальное атмосферное давление  $p_0 = 1 \cdot 10^5$  Па. Площадь поршня  $S = 0,02$  м<sup>2</sup>. Определить массу поршня. Универсальная газовая постоянная  $R = 8,31$  Дж/(моль · К), молярная масса азота  $M = 28 \cdot 10^{-3}$  кг/моль.

**468.** Определить изменение внутренней энергии газа, взятого в количестве  $\nu = 0,5$  моль, при нагревании его

при постоянном давлении от температуры  $T_1 = 300$  К до температуры  $T_2 = 320$  К, если газу было сообщено количество теплоты  $Q = 290$  Дж. Универсальная газовая постоянная  $R = 8,31$  Дж/(моль · К).

**469.** Найти внутреннюю энергию одноатомного газа, занимающего объем  $V = 2$  м<sup>3</sup> при давлении  $p = 200$  кПа.

**470.** Идеальный газ, количество вещества которого  $\nu = 0,5$  моль, из состояния с температурой  $T = 100$  К расширяется изобарно, а затем изохорно переходит в состояние с начальной температурой. Во сколько раз изменится при этом объем газа, если для перевода газа из начального состояния в конечное к нему подвели количество теплоты  $Q = 831$  Дж? Универсальная газовая постоянная  $R = 8,31$  Дж/(моль · К).

**471.** Вычислить работу, которую совершит газ при изобарном нагревании от  $t_1 = 20$  °С до  $t_2 = 100$  °С, если он находится в вертикальном цилиндрическом сосуде, закрытом подвижным поршнем с площадью поперечного сечения  $S = 20$  см<sup>2</sup> и массой  $m = 5$  кг. Первоначальный объем газа  $V = 5 \cdot 10^{-3}$  м<sup>3</sup>, атмосферное давление  $p_0 = 1 \cdot 10^5$  Па. Трением пренебречь.

**472.** В вертикальном цилиндре вместимостью  $V = 2$  л под тяжелым поршнем находится газ при температуре  $T = 300$  К. Масса поршня  $m = 50$  кг, его площадь  $S = 50$  см<sup>2</sup>. Температуру газа повысили на  $\Delta T = 100$  К. Найти изменение внутренней энергии газа, если его теплоемкость  $C = 5$  Дж/К. Атмосферное давление  $p_0 = 1 \cdot 10^5$  Па. Трение поршня о стенки не учитывать. Принять  $g = 10$  м/с<sup>2</sup>.

**473.** Для нагревания некоторого количества идеального газа с молярной массой  $M = 28 \cdot 10^{-3}$  кг/моль на  $\Delta T = 14$  К при постоянном давлении потребовалось количество теплоты  $Q_1 = 10$  Дж. Чтобы охладить газ до исходной температуры при постоянном объеме, необходимо отнять от него количество теплоты  $Q_2 = 8,0$  Дж. Найти массу газа. Универсальная газовая постоянная  $R = 8,31$  Дж/(моль · К).

**474.** Газ, взятый при температуре  $T = 100$  К в количестве  $\nu = 5$  моль, сначала нагревают при постоянном объеме так, что термодинамическая температура газа возрастает в  $n = 3$  раза, а затем сжимают при постоянном давлении, доводя температуру до первоначального значения. Какая работа совершена при сжатии? Универсальная газовая постоянная  $R = 8,31$  Дж/(моль · К).

**475.** Найти удельную теплоемкость одноатомного идеального газа в изобарном  $c_p$  и изохорном  $c_v$  процессах. Молярная масса газа равна  $M$ , универсальная газовая постоянная равна  $R$ .

**476.** При изотермическом расширении идеальный газ совершил работу  $A = 25$  Дж. Какое количество теплоты сообщено газу?

**477.** При адиабатном сжатии одноатомного идеального газа была совершена работа  $A = 900$  Дж и температура газа увеличилась на  $\Delta T = 24$  К. Определить количество вещества этого газа. Универсальная газовая постоянная  $R = 8,31$  Дж/(моль  $\cdot$  К).

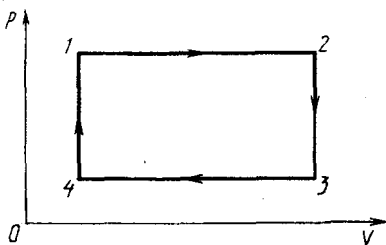
**478.** В цилиндрическом сосуде под легким подвижным поршнем находится  $\nu = 1,5$  моль идеального одноатомного газа при температуре  $t = 27$  °С. Какое количество теплоты надо подвести к газу, чтобы его объем увеличился в  $n = 3$  раза? Трением поршня о стенки сосуда пренебречь. Универсальная газовая постоянная  $R = 8,31$  Дж/(моль  $\cdot$  К).

**479.** Идеальный газ в количестве  $\nu = 5$  моль, имевший начальную температуру  $T = 300$  К, изобарно расширился, совершив работу  $A = 12,5 \cdot 10^3$  Дж. Во сколько раз при этом увеличился объем газа?

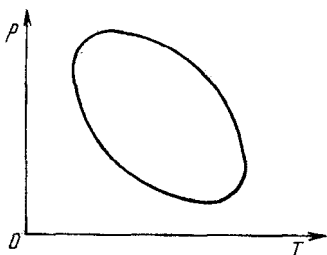
**480.** Гелий массой  $m = 10$  г нагрели на  $\Delta T = 100$  К при постоянном давлении. Определить количество теплоты, переданное газу, изменение внутренней энергии и работу газа при расширении. Молярная масса гелия  $M = 4 \cdot 10^{-3}$  кг/моль. Универсальная газовая постоянная  $R = 8,31$  Дж/(моль  $\cdot$  К).

**481.** Газ, занимающий при давлении  $p = 1 \cdot 10^5$  Па объем  $V = 0,1$  м<sup>3</sup>, изобарно расширяется. При этом его термодинамическая температура увеличивается в  $n = 2$  раза, а внутренняя энергия изменяется на  $\Delta U = 26$  кДж. Найти массу угля, который необходимо сжечь для этого, если на нагревание газа затрачивается  $\eta = 0,2$  количества теплоты, выделяющегося при сгорании. Удельная теплота сгорания угля  $q = 30$  МДж/кг.

**482.** Процессы, происходящие в цилиндре теплового двигателя с идеальным газом, изображены на диаграмме  $p - V$  (рис. 143). Известно, что  $T_2 = 500$  К,  $T_3 = 450$  К,  $T_4 = 300$  К. Найти, на сколько кельвин температура в точке 1 отличается от температуры в точке 3.



Р и с. 143



Р и с. 144

**483.** На рис. 144 изображен график процесса, проводимого с идеальным газом. Объем газа постоянен. Найти точки, в которых масса газа максимальна и минимальна.

**484.** Идеальная тепловая машина, работающая при нормальных условиях окружающего воздуха, который для нее является холодильником, поднимает груз массой  $m = 400$  кг. Рабочее тело машины получает от нагревателя с температурой  $t = 200$  °С количество теплоты  $Q = 80$  кДж. На какую максимальную высоту поднимает груз эта тепловая машина? Трением пренебречь.

**485.** Чтобы принять ванну, необходимо нагреть  $V = 200$  л воды от температуры  $t_1 = 7$  °С до температуры  $t_2 = 47$  °С. Если такое количество теплоты сообщить идеальной тепловой машине, работающей при температуре нагревателя  $t_2$  и холодильника  $t_1$ , то с помощью этой машины можно поднять груз массой  $m = 4,2 \cdot 10^4$  кг на высоту  $H = 10$  м. Определить по этим данным удельную теплоемкость воды. Плотность воды  $\rho = 1 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>. Ускорение свободного падения  $g = 10$  м/с<sup>2</sup>.

**486.** Температура газов, образующихся при сгорании топлива в цилиндрах двигателя автомобиля,  $t_1 = 827$  °С, температура выхлопных газов  $t_2 = 97$  °С. Сколько километров проедет с постоянной скоростью автомобиль, имеющий в баке  $V = 40$  л топлива, если удельная теплота сгорания топлива  $q = 46 \cdot 10^6$  Дж/кг, плотность топлива  $\rho = 710$  кг/м<sup>3</sup>, а сила сопротивления движению  $F$  остается постоянной и по модулю равной  $1,7 \cdot 10^3$  Н? Двигатель считать идеальной тепловой машиной, работающей с максимально возможным КПД.

**487.** При расширении газа тепловая машина совершает работу, при этом объем газа увеличивается от  $V_1 = 1 \cdot 10^{-3}$  м<sup>3</sup>

до  $V_2 = 2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$ , а давление линейно убывает от  $p_1 = 6 \cdot 10^5 \text{ Па}$  до  $p_2 = 4 \cdot 10^5 \text{ Па}$ . Определить изменение внутренней энергии газа при его расширении и КПД тепловой машины, если известно, что количество теплоты, полученное за цикл тепловой машины от нагревателя,  $Q_1 = 1 \text{ кДж}$ , а отданное холодильнику  $Q_2 = 0,8 \text{ кДж}$ .