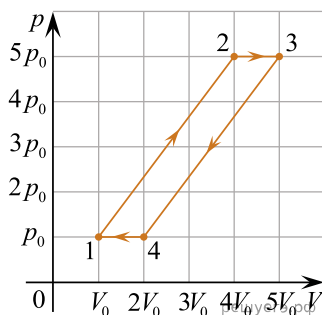
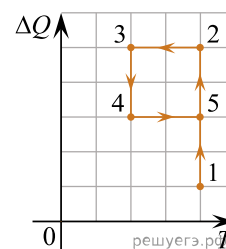


1. С одним молем идеального одноатомного газа совершают циклический процесс 1–2–3–4–1 (см. рис.). Во сколько раз  $n$  КПД данного цикла меньше, чем КПД идеальной тепловой машины, работающей при тех же максимальной и минимальной температурах?



2. На рисунке изображен процесс 1–2–3–4–5, проводимый над 1 молем идеального одноатомного газа. Вдоль оси абсцисс отложена абсолютная температура  $T$  газа, а вдоль оси ординат — количество теплоты  $\Delta Q$ , полученное или отданное газом на соответствующем участке процесса. После прихода в конечную точку 5 весь процесс циклически повторяется с теми же параметрами изменения величин, отложенных на осях. Найдите КПД этого цикла.



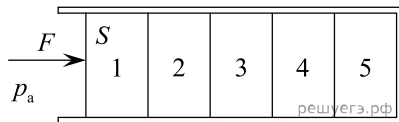
3. В цилиндре объемом  $V = 10$  л под поршнем находится воздух с относительной влажностью  $\varphi = 60\%$  при комнатной температуре  $T = 293$  К под давлением  $p = 1$  атм. Воздух сжимают до объема  $V/2$ , поддерживая его температуру постоянной. Какая масса  $m$  воды сконденсируется к концу процесса сжатия? Давление насыщенного пара воды при данной температуре равно  $p_n = 17,5$  мм рт. ст.

4. В цилиндре под поршнем находится 1 моль гелия в объеме  $V_1$  под некоторым давлением  $p$ , причем среднеквадратичная скорость движения атомов гелия равна  $u_1 = 500$  м/с. Затем объем гелия увеличивают до  $V_2$  таким образом, что при этом среднеквадратичная скорость движения атомов гелия увеличивается в  $n = 2$  раза, а отношение  $\frac{u^2}{V}$  в процессе остается постоянным ( $u$  — среднеквадратичная скорость газа,  $V$  — занимаемый им объем). Какое количество теплоты  $Q$  было подведено к гелию в этом процессе?

5. Во сколько раз  $n$  уменьшится потребление электроэнергии морозильником, поддерживающим внутри температуру  $t_0 = -18$  °С, если из комнаты, температура в которой равна  $t_1 = +27$  °С, вынести морозильник на балкон, где температура равна  $t_2 = -3$  °С? Скорость теплопередачи пропорциональна разности температур тела и среды.

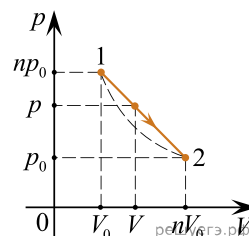
6. Идеальный одноатомный газ массой  $m = 72$  г совершал обратимый процесс, в течение которого среднеквадратичная скорость его молекул уменьшалась от  $u_1 = 900$  м/с до  $u_2 = 450$  м/с по закону  $u = a\sqrt{V}$ , где  $a$  — некоторая постоянная величина, а  $V$  — объем газа. Какую работу  $A$  совершил газ в этом процессе?

7. Горизонтальный хорошо теплопроводящий цилиндр, разделенный подвижными поршнями площадью  $S = 100 \text{ см}^2$  на 5 отсеков (№ 1–5), содержит в них одинаковые количества идеального газа при температуре окружающей среды и под давлениями, равными давлению  $p_a = 10^5 \text{ Па}$  окружающей цилиндр атмосферы (см. рис.). Каждый поршень сдвигается с места, если приложенная к нему горизонтальная сила превышает силу сухого трения  $F_{\text{тр}} = 2 \text{ Н}$ . К самому левому поршню прикладывают горизонтальную силу  $F$ , медленно увеличивая ее по модулю. Какого значения достигнет  $F$ , когда объем газа в самом правом, 5-м отсеке цилиндра уменьшится в  $n = 2$  раза? Процессы изменения состояния газов в отсеках цилиндра считать изотермическими.

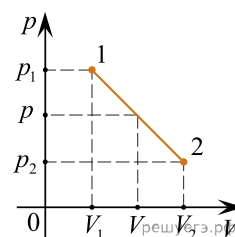


8. В цилиндре под поршнем находится некоторое количество идеального одноатомного газа, среднеквадратичная скорость молекул которого равна  $u = 400 \text{ м/с}$ . В результате некоторого процесса объем газа увеличился на  $a = 80\%$ , а давление уменьшилось на  $b = 20\%$ . Каким стало новое значение  $v$  среднеквадратичной скорости молекул этого газа?

9. Процесс 1–2 с идеальным газом, изображенный на  $p$ – $V$ -диаграмме, имеет вид прямой линии  $p(V)$ , соединяющей две точки (1 и 2), лежащие на одной изотерме. Во сколько раз максимальная температура  $T_M$  в этом процессе превышает температуру  $T_0$  на изотерме? Параметры точек 1 и 2 (давления и объемы) приведены на рисунке,  $n = 5$ .

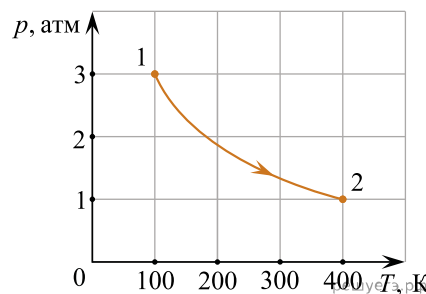


10. С некоторым количеством идеального газа проводят процесс 1–2, для которого график зависимости давления от объема представляет собой на  $pV$ -диаграмме прямую линию (см. рис.). Параметры начального и конечного состояний процесса:  $p_1 = 3 \text{ атм}$ ,  $V_1 = 1 \text{ л}$ ,  $p_2 = 1 \text{ атм}$ ,  $V_2 = 4 \text{ л}$ . Какой объем  $V_M$  соответствует максимальной температуре газа в данном процессе?



11. Некоторое количество идеального газа находится в объеме  $V_1 = 30 \text{ л}$  под давлением  $p_1 = 2,5 \cdot 10^4 \text{ Па}$  при температуре  $T_1 = 100 \text{ К}$ . Какое количество теплоты  $Q$  надо подвести к газу для его нагревания до температуры  $T_2 = 300 \text{ К}$  в процессе, при котором молярная теплоемкость этого газа зависит от температуры по закону  $C_M = aT$ , где  $a = 0,25 \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К}^2)$ ?

12. С одним молем гелия, находящегося в цилиндре под поршнем, провели процесс 1–2, изображенный на  $p$ – $T$ -диаграмме. Во сколько раз изменилась при этом частота  $\nu$  столкновений атомов со стенками сосуда, то есть число ударов атомов в единицу времени о единицу площади стенок? Начальные и конечные параметры процесса 1–2 приведены на рисунке.

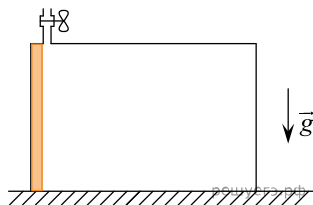


13. Морозильная камера установлена на кухне, где температура равна  $t_1 = +20 \text{ }^\circ\text{C}$ , и потребляет в течение длительного времени среднюю мощность  $P = 89,4 \text{ Вт}$ , обеспечивая внутреннюю температуру  $t_2 = -18 \text{ }^\circ\text{C}$ . Оцените мощность подвода теплоты в камеру из окружающей среды, считая, что морозильник работает по обратному циклу Карно. Ответ выразите в Вт и округлите до целого числа.

14. В вертикальный теплоизолированный стакан калориметра объемом  $200 \text{ см}^3$  налили до краев воду при температуре  $t_1 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ , а затем опустили туда кусок алюминия массой  $m = 270 \text{ г}$ , находящийся при температуре  $t_2 = -100 \text{ }^\circ\text{C}$ . Какой объем льда окажется в стакане после установления теплового равновесия? Теплоемкостью стакана и поверхностным натяжением воды можно пренебречь. Плотность льда  $0,9 \text{ г/см}^3$ .

15. Известно, что при сжатии газа в компрессоре без теплообмена с окружающей средой он нагревается (осуществляется адиабатический процесс). Однако часто бывает нужно, чтобы сжатый газ на выходе из компрессора имел ту же температуру, что и на входе. Для этого в процессе сжатия газа поршнем компрессора необходимо отводить от газа теплоту. Такой компрессор называют «изотермическим». Пусть мощность, потребляемая электроприводом этого компрессора равна  $P = 300 \text{ Вт}$ , а КПД компрессора в целом составляет  $\eta = 60\%$ . Какое количество теплоты отводится от сжимаемого газа (воздуха) за время  $t = 0,5 \text{ часа}$ ?

16. В закрытый теплопроводящий цилиндр объемом  $V = 10 \text{ л}$  с гладкими внутренними стенками вставлен тонкий тяжелый поршень, находящийся вначале, при горизонтальном положении цилиндра, около его левой крышки. Внутренний объем цилиндра сообщается с сухим атмосферным воздухом, находящимся при нормальных условиях, через тонкую трубку с открытым краном, который может отсоединять цилиндр от атмосферы. В исходном положении поршень находится чуть левее отверстия трубки (см. рис.).



В некоторый момент цилиндр ставят в вертикальное положение с поршнем наверху, который опускается вниз, сразу перекрывая трубку и сжимая воздух под собой, а после установления равновесия находится на высоте  $\frac{l}{2}$  над дном цилиндра (высота цилиндра  $l = 0,9 \text{ м}$ ). Затем кран перекрывают и снова кладут цилиндр горизонтально. На какое расстояние  $\Delta l$  сдвинется поршень после нового установления равновесия?

17. С одним молем неона провели процесс, в котором газ из начального состояния с давлением  $p_1 = 10^5 \text{ Па}$  и объемом  $V_1 = 25 \text{ л}$  перешел в конечное состояние с объемом  $V_2 = 50 \text{ л}$ . Давление при этом изменялось по линейному закону  $p = p_0 + \alpha V$  где  $p_0$  — некоторая постоянная величина,  $\alpha = \frac{p_1}{2V_1}$ . На какую величину изменилась при этом среднеквадратичная скорость движения атомов неона?

18. Из опытов по изучению процессов изменения агрегатного состояния воды известно, что если в ней нет примесей, являющихся центрами парообразования (при кипении) или кристаллизации (при замерзании), то такие процессы могут начинаться при температурах, довольно сильно отличающихся от их табличных значений. При этом сами процессы, начавшись, происходят довольно бурно. Представим себе, что в теплоизолированном сосуде с неподвижной чистой холодной водой массой  $m = 10 \text{ кг}$  при нормальном атмосферном давлении температура опустилась до  $-10 \text{ }^\circ\text{C}$ , но кристаллизация еще не произошла. После резкой встряски или добавления в воду малого числа частиц мелкодисперсного порошка начинает образовываться лед, а температура в сосуде растет и в конце процесса достигает нормального значения  $0 \text{ }^\circ\text{C}$ . Какая масса воды в результате превратится в лед?

19. Вертикальный цилиндр объемом  $V_0 = 15$  л, заполненный воздухом с температурой  $T = 20^\circ\text{C}$  при атмосферном давлении  $p_A = 10^5$  Па, закрыли сверху поршнем массой  $m = 10$  кг и площадью  $S = 250$  см<sup>2</sup>, который может перемещаться по вертикали без трения. После того, как в системе установилось равновесие при той же постоянной температуре, в дне цилиндра образовалась течь. Через нее воздух начал медленно выходить наружу, в атмосферу, со скоростью потери числа  $N$  молекул в цилиндре, пропорциональной разности давлений  $(p - p_A)$  в цилиндре и в окружающей атмосфере и равной  $\frac{\Delta N}{\Delta t} = \alpha(p - p_A)$ , где коэффициент пропорциональности  $\alpha = 2,58 \cdot 10^{16}$  (Па·с)<sup>-1</sup>. Процесс вытекания газа можно считать изотермическим, происходящим при той же температуре  $T = 20^\circ\text{C}$ . Через какое время  $t$  из цилиндра выйдет весь воздух?

20. В закрытом горизонтальном цилиндре длиной  $l = 0,6$  м, разделенном на две части тонким поршнем, который может двигаться без трения, находится идеальный газ при температуре  $T_1 = 0^\circ\text{C}$  и давлении  $p_1 = 10^5$  Па в количествах  $\nu_1 = 1$  моль слева и  $\nu_2 = 2$  моля справа от поршня. В левую часть цилиндра впрыснули  $\nu_3 = 0,1$  моля жидкой воды, а затем нагрели всю систему до температуры  $T_2 = 100^\circ\text{C}$ . На сколько и в какую сторону сдвинулся поршень в результате установления равновесия?

21. В закрытом горизонтальном цилиндре длиной  $l = 0,9$  м, разделенном на две части тонким поршнем, который может двигаться без трения, находится идеальный газ при температуре  $t_1 = 0^\circ\text{C}$  и давлении  $p_1 = 10^5$  Па в количествах  $\nu_1 = 2,5$  моля слева и  $\nu_2 = 1,25$  моля справа от поршня. В правую часть цилиндра впрыснули  $\nu_3 = 0,15$  моля жидкой воды, а затем нагрели всю систему до температуры  $T_2 = 100^\circ\text{C}$ . На сколько и в какую сторону сдвинулся поршень в результате установления равновесия?