

6 Термодинамика.

6.1 Внутренняя энергия идеального газа.

- 6.1.1 Рассчитайте внутреннюю энергию 3-х молей одноатомного идеального газа при температуре 127°C .
- 6.1.2 Какова температура одноатомного идеального газа, если известно, что внутренняя 2-х его молей составляет 831 кДж?
- 6.1.3 Какова внутренняя энергия идеального газа, если при температуре $T = 400\text{K}$ он занимает объем $V = 2,5\text{л}$ и концентрация молекул равна $n = 10^{20}\text{см}^{-3}$?
- 6.1.4 Идеальный газ занимает объем 2 л и имеет давление 300 кПа. Какова его внутренняя энергия?
- 6.1.5 Найти концентрацию молекул идеального газа в сосуде объемом 2 л при температуре 27°C , если внутренняя энергия равна 300 Дж.

6.2 Первое начало термодинамики. Работа газа.

- 6.2.1 Какая масса водорода находится под поршнем в цилиндрическом сосуде, если при нагревании его от 250 К до 680 К при постоянном давлении на поршень газ произвел работу, равную 400 Дж?
- 6.2.2 В цилиндрическом сосуде с площадью основания 250 см^2 находится 10 г азота, сжатого поршнем, на котором лежит гиля массой 12,5 кг. Какую работу совершит газ при его нагревании от 25°C до 625°C ? Насколько увеличится при этом объем газа? Атмосферное давление нормальное.
- 6.2.3 При изотермическом сжатии газ передал окружающим телам 800 Дж теплоты. Какую работу совершил газ? Какую работу совершили внешние силы?
- 6.2.4 При изохорном нагревании газу было передано от нагревателя 250 Дж теплоты. Какую работу совершил газ? Чему равно изменение внутренней энергии газа?
- 6.2.5 Какую работу совершил идеальный одноатомный газ и как при этом изменилась его внутренняя при изобарном нагревании 2-х молей газа на 50 К? Какое количество теплоты получил газ в процессе теплообмена?
- 6.2.6 С некоторым количеством газа был проведен циклический процесс (Рис. 1). а) определите на каких участках газ получал, отдавал тепло б) определите на каких участках газ совершал работу в) определите на каких участках и как менялась внутренняя энергия газа г) считая известным объем V_1 и давление p_1 найдите работу, количество теплоты и изменение внутренней энергии на каждом участке и за весь цикл.
- 6.2.7 Температура воздуха в комнате объемом 70 м^3 была 280 К. После того как протопили печь, температура поднялась до 296 К. Найти работу воздуха при расширении, если давление оставалось постоянным и равным 100 кПа. На сколько при этом изменилась масса воздуха в комнате?

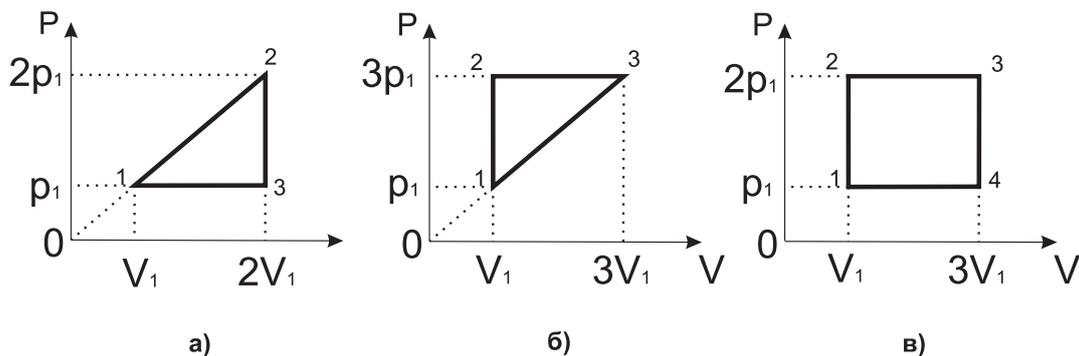


Рис. 1:

6.2.8 Какую работу совершают 320 г кислорода при изобарном нагревании на 10 К?

6.2.9 Вычислите увеличение внутренней энергии 2 кг водорода при повышении его температуры на 10 К: а) изохорно; б) изобарно.

6.2.10 Объем 160 г кислорода, температура которого 27°C, при изобарном нагревании увеличился вдвое. Найти работу газа при расширении, количество теплоты, которое пошло на нагревание кислорода, изменение внутренней энергии.

6.3 Адиабатический процесс.

6.3.1⁰ Внутренняя энергия идеального газа при адиабатическом процессе увеличилась на 180 Дж. Какую работу при этом совершил газ?

6.3.2⁰ При адиабатном сжатии газа над ним была совершена работа в 200 Дж. Как и насколько изменилась его внутренняя энергия?

6.3.3 Кислород, массой 0,1 кг сжимается адиабатически, температура газа при этом возрастает с 273 К до 378 К. Во сколько раз изменится объем и давление газа? Чему равны приращение внутренней энергии и работа, совершенная при сжатии газа?

6.3.4 Из баллона, содержащего водород под давлением 10^6 Па и температуре 291 К, быстро выпустили половину газа. Определите установившееся давление и температуру.

6.3.5 В цилиндре под легким подвижным поршнем находится гремучий газ объемом 0,1 л при температуре 293 К и давлении 10^5 Па. С какой высоты должен упасть на поршень груз массой 5 кг, чтобы газ воспламенился? Температура воспламенения гремучего газа 773 К. Каковы давление и плотность смеси перед воспламенением?

6.4 Теплоемкость газов.

- 6.4.1 Газ при нормальных условиях имеет плотность ρ . Чему равны его удельные теплоемкости C_p и C_v ?
- 6.4.2 При давлении в 10^5 Па для нагревания 1 кг аргона на 2 К необходимо затратить 1,1 МДж теплоты. При охлаждении газа от 373 К до 273 К при постоянном объеме 5 л выделяется 2,1 МДж теплоты, если начальное давление газа 10^6 Па. Определите отношение c_p/c_v .
- 6.4.3 При расширении идеального газа его давление менялось по закону $p = p_0 + \alpha V$. Найти молярную теплоемкость газа в указанном процессе, если α - постоянная величина.
- 6.4.4 При расширении идеального газа его давление менялось по закону $p \propto V^{-b}$, где b - постоянная величина. Найти молярную теплоемкость газа в данном процессе.
- 6.4.5 В процессе нагревания идеального газа его молярная теплоемкость менялась по закону $C_M = \alpha T$, где α - постоянная величина. Какими уравнениями связаны между собой давление и объем газа, объем и температура? Чему равна работа одного киломоля газа при нагревании его от температуры T_1 до T_2 ?

6.5 Количество теплоты. Удельная теплоемкость.

- 6.5.1 Почему климат островов умереннее и ровнее, чем климат материков?
- 6.5.2 Почему в пустынях температура днем поднимается очень высоко, а ночью опускается ниже нуля?
- 6.5.3 Известно, что на больших высотах (800—1000 км) скорости молекул газов, входящих в состав атмосферного воздуха, достигают величин, соответствующих температуре около 2000 °С. Отчего же не плавятся оболочки искусственных спутников Земли, летящих на такой высоте?
- 6.5.4 Определить температуру воды, установившуюся после смешения 39 л воды при 20 °С и 21 л воды при 60 °С.
- 6.5.5 Определить температуру воды, установившуюся после смешения 6 кг воды при 42 °С, 4 кг воды при 72 °С и 20 кг воды при 18 °С.
- 6.5.6 Сколько литров воды при 95 °С нужно добавить к 30 л воды при 25 °С, чтобы получить воду с температурой 67 °С?
- 6.5.7 Паровой котел содержит 40 м³ воды при температуре 225 °С. Какое количество воды при 9 °С было добавлено, если установилась общая температура 200 °С? Изменение плотности воды при повышении температуры не учитывать.
- 6.5.8 Сколько литров воды при 20 и 100 °С нужно смешать, чтобы получить 300 л воды при 40 °С?
- 6.5.9 Смешали 60 кг воды при 90 °С и 150 кг воды при 23 °С; 15% тепла, отданного горячей водой, пошло на нагревание окружающей среды. Определить конечную температуру воды.

- 6.5.10** В сосуд, содержащий 2,35 кг воды при $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, опускают кусок олова, нагретого до 507 К; температура воды в сосуде повысилась на 15 К. Вычислить массу олова. Испарением воды пренебречь.
- 6.5.11** Стальное сверло массой 0,090 кг, нагретое при закалке до $840\text{ }^{\circ}\text{C}$, опущено в сосуд, содержащий машинное масло при $20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Какое количество масла следует взять, чтобы его конечная температура не превысила $70\text{ }^{\circ}\text{C}$?
- 6.5.12** Как велика масса стальной детали, нагретой предварительно до $500\text{ }^{\circ}\text{C}$, если при опускании ее в сосуд, содержащий 18,6 л воды при $13\text{ }^{\circ}\text{C}$, последняя нагрелась до $35\text{ }^{\circ}\text{C}$? Испарением воды пренебречь.
- 6.5.13** Чугунный предварительно нагретый брусок массой 0,20 кг опускают в сосуд, содержащий 0,80 кг керосина при $15\text{ }^{\circ}\text{C}$. Окончательная температура керосина стала равной $20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Определить первоначальную температуру бруска.
- 6.5.14** Пластинку массой 0,30 кг, нагретую предварительно до $85\text{ }^{\circ}\text{C}$, опускают в алюминиевый калориметр массой 0,030 кг, содержащий 0,25 кг воды при $22\text{ }^{\circ}\text{C}$. Температура, установившаяся в калориметре, равна $28\text{ }^{\circ}\text{C}$. Определить удельную теплоемкость вещества пластинки.
- 6.5.15** В стеклянную колбу массой 50 г, где находилось 185 г воды при $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, вылили некоторое количество ртути при $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ и температура воды в колбе повысилась до $22\text{ }^{\circ}\text{C}$. Определить массу ртути.
- 6.5.16** Для определения температуры печи нагретый в ней стальной болт массой 0,30 кг бросили в медный сосуд массой 0,20 кг, содержащий 1,27 кг воды при $15\text{ }^{\circ}\text{C}$. Температура воды повысилась до $32\text{ }^{\circ}\text{C}$. Вычислить температуру печи.
- 6.5.17** В алюминиевый калориметр массой 0,030 кг, содержащий керосин при $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, опускают оловянный цилиндр массой 0,60 кг, нагретый предварительно до $100\text{ }^{\circ}\text{C}$. Какое количество керосина находилось в калориметре, если конечная температура равна $29,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, а потери тепла в окружающее пространство составляют 15%?
- 6.5.18** До какой температуры был нагрет при закалке стальной резец массой 0,15 кг, если после опускания его в алюминиевый сосуд массой 0,10 кг, содержащий 0,60 кг машинного масла при $15\text{ }^{\circ}\text{C}$, масло нагрелось до $48\text{ }^{\circ}\text{C}$? Считать, что потери тепла в окружающую среду составляют 25%.

6.6 Удельная теплоемкость и теплопроводность.

- 6.6.1** Одинаково ли быстро будет изменяться температура ртути и воды, налитых в тонкостенные стеклянные пробирки, при нагревании их в пламени спиртовки, если массы ртути и воды одинаковы, а масса пробирок мала по сравнению с массой жидкости, налитой в них?
- 6.6.2** Почему железные печи скорее нагревают комнату, чем кирпичные, но не так долго остаются теплыми?

Как известно, железо имеет большую теплоемкость, чем медь. Следовательно, жало паяльника, изготовленное из железа, имело бы больший запас тепла, чем такое же жало из меди при равенстве их масс и температур. Почему, несмотря на это, жало паяльника делают из меди?

6.7 Теплота и работа.

- 6.7.1** Вода падает с высоты 1200 м. Насколько повысится температура воды, если на ее нагревание затрачивается 60% работы силы тяжести?
- 6.7.2** С какой высоты должен упасть кусок олова, чтобы при ударе о землю он нагрелся до 373 К? до температуры плавления? Считать, что на нагревание олова идет 40,0% работы силы тяжести, а начальная температура равна 273 К.
- 6.7.3** Два шарика равной массы, медный и алюминиевый, сброшены с высоты 1000 м. Который из них нагреется больше и насколько? Потери тепла не учитывать.
- 6.7.4** Насколько нагреется при штамповке кусок стали массой 1,5 кг от удара молота весом 3920 Н, если скорость молота в момент удара 7,0 м/с, а на нагревание стали затрачивается 60% энергии молота?
- 6.7.5** Стальной молот массой 12 кг падает на лежащую на наковальне железную пластинку массой 0,20 кг. Высота падения молота 1,5 м. Считая, что на нагревание пластинки затрачивается 40% кинетической энергии молота, вычислить, насколько нагреется пластинка после 50 ударов молота.
- 6.7.6** Трамвайный вагон массой 12,5 т, имеющий скорость 28,8 км/ч, тормозит и останавливается. Насколько нагреваются его 8 чугунных тормозных колодок, если масса каждой колодки 9,0 кг и на их нагревание затрачивается 60% кинетической энергии вагона?

6.8 Теплота сгорания топлива.

- 6.8.1** Определить к. п. д. нагревателя, расходующего 80 г керосина на нагревание 3,0 л воды на 90 К.
- 6.8.2** Какое количество воды можно нагреть от 288 К до температуры кипения на газовой горелке с к.п.д. 40%, если сжечь 100 л природного газа?
- 6.8.3** Сколько времени потребуется, чтобы нагреть 1,55 л воды от 293 до 373 К, если горелка потребляет 0,30 кг спирта в час, а к.п.д. ее 24%?

- 6.8.4 Пуля массой 9,0 г вылетает из ствола винтовки со скоростью 850 м/с, масса порохового заряда 4,0 г. Определить к.п.д. выстрела.
- 6.8.5 К.п.д. плавильной печи 20%. Какое количество угля марки А-II нужно сжечь, чтобы нагреть 3,0 т серого чугуна от 283 К до температуры плавления?
- 6.8.6 Какое количество алюминия можно нагреть от 283 К до температуры плавления в плавильной печи с к.п.д. 26%, если сжечь 25 кг нефти?
- 6.8.7 Комната с печным отоплением теряет через стены и окна 40 кДж тепла в минуту. Какое количество дров нужно сжечь, чтобы поддерживать в комнате неизменную температуру в течение суток, если к.п.д. печи равен 22%?

6.9 Изменение агрегатных состояний вещества.

- 6.9.1 В радиаторе парового отопления сконденсировалось 2,5 кг пара при температуре 100 °С. Вода вышла из радиатора при температуре 50 °С. Сколько тепла получила комната?
- 6.9.2 Сколько расплавится льда, взятого при 0 °С, если ему сообщить такое же количество теплоты, которое выделяется при конденсации 4 кг водяного пара при 100 °С и нормальном давлении?
- 6.9.3 2 кг снега, взятого при 0 °С, превратили в пар. Какое количество теплоты потребовалось для этого?
- 6.9.4 При нагревании куска льда при 0 °С сгорело 55 г керосина, причем лед расплавился, вода нагрелась до 100 °С и вся испарилась. Определить массу растаявшего куска льда, считая, что потерь тепла нет.
- 6.9.5 Какое количество теплоты необходимо для обращения в пар 100 г льда, взятого при температуре -5 °С?
- 6.9.6 Какое количество воды при температуре 9 °С можно довести до кипения и затем превратить в пар теплотой, выделяемой при полном сгорании 3 кг каменного угля?
- 6.9.7 Какое количество льда, взятого при температуре -12 °С, можно расплавить, полученную при плавлении воду нагреть до 100 °С и обратить в пар, затратив на это количество теплоты, выделяемое при сгорании 0,1 кг природного газа?
- 6.9.8 Сколько воды, взятой при 20 °С, можно вскипятить на керосине при сжигании в ней 100 г керосина и обратить в пар, если к.п.д. керосина 70%?
- 6.9.9 Кофейник, емкостью 1,2 л заполнили водой при 15 °С. Какое количество теплоты пошло на нагревание и кипение воды в нем, если учитывать, что после снятия с плиты в результате испарения, кипяток в нем осталось на 50 см³ меньше?
- 6.9.10 В бак с водой при 30 °С впустили 400 г стоградусного пара. После конденсации пара температура установилась 32 °С. Какое количество воды было в баке?

- 6.9.11** Какое количество природного газа нужно затратить для того, чтобы довести до кипения воду, полученную при плавлении 1 кг льда, взятого при температуре $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$? К.П.Д. установки 100%
- 6.9.12** На сколько граммов уменьшится количество спирта в спиртовке после расплавления 20 г нафталина, помещенного в алюминиевый сосуд, массой 50 г, начальная температура которых $15\text{ }^{\circ}\text{C}$, К.П.Д. установки 10%.
- 6.9.13** Чтобы охладить 5 кг воды, взятой при $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $8\text{ }^{\circ}\text{C}$, в нее бросают лед имеющий температуру $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Какое количество льда потребуется для охлаждения?
- 6.9.14** Алюминиевый чайник массой 1,2 кг содержит 2 л воды при $15\text{ }^{\circ}\text{C}$. При нагревании чайника с водой было израсходовано 50% теплоты, полученной при сгорании в примусе 55 г керосина, при этом вода в чайнике закипела и часть ее испарилась. Сколько воды испарилось?
- 6.9.15** В сосуд, содержащий 400 г воды при температуре $17\text{ }^{\circ}\text{C}$, вводят 10 г пара при $100\text{ }^{\circ}\text{C}$, который превращается в воду. Определить конечную температуру воды. Теплоемкостью сосуда и потерями тепла пренебречь.
- 6.9.16** При изготовлении дроби расплавленный свинец с температурой $327\text{ }^{\circ}\text{C}$ выливают в воду. Какое количество дроби было изготовлено, если 3 л воды нагрелось при этом от $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $47\text{ }^{\circ}\text{C}$, потери тепла составили 25%.
- 6.9.17** В сосуд, содержащий 0,8 л воды при $15\text{ }^{\circ}\text{C}$, вылили 0,2 кг расплавленного свинца при температуре $327\text{ }^{\circ}\text{C}$. При этом 1 г воды обратился в пар. До какой температуры нагрелась находящаяся в сосуде вода?

6.10 Тепловые машины. Цикл Карно. КПД циклических процессов.

- 6.10.1** Тепловая машина с КПД 60% за цикл работы отдаёт холодильнику 500 Дж. Какое количество теплоты за цикл машина получает от нагревателя? Какую полезную работу машина совершает за цикл?
- 6.10.2** Температура нагревателя идеального теплового двигателя Карно 227 °С, а температура холодильника 27 °С. Рабочее тело двигателя совершает за цикл работу, равную 10 кДж. Какое количество теплоты получает рабочее тело от нагревателя за один цикл? Какое количество теплоты рабочее тело отдаёт холодильнику за два цикла?
- 6.10.3** Идеальная тепловая машина работает по циклу Карно, совершая за один цикл работу 2 кДж. Количество теплоты 2 кДж рабочее тело двигателя отдаёт за один цикл холодильнику, температура которого 17 °С. Чему равна температура нагревателя?
- 6.10.4** КПД тепловой машины равен 20%. Чему он будет равен, если количество теплоты, получаемое от нагревателя, увеличится на 25%, а количество теплоты, отдаваемое холодильнику, уменьшится на 25%?
- 6.10.5** Тепловой двигатель, работающий по циклу Карно, имеет нагреватель с температурой +127 °С и холодильник с температурой +27 °С. Какое количество теплоты этот двигатель отдаёт холодильнику за один цикл работы, если за каждый цикл он получает от нагревателя количество теплоты, равное 2 кДж?
- 6.10.6** Тепловая машина за один цикл совершает работу 25 Дж и отдаёт холодильнику количество теплоты 75 Дж. Температура нагревателя этой машины 600 К, а температура холодильника 300 К. Во сколько раз КПД идеальной тепловой машины, работающей при тех же температурах нагревателя и холодильника, больше КПД рассматриваемой тепловой машины?
- 6.10.7** Идеальная тепловая машина обменивается теплотой с тёплым телом - окружающей средой, находящейся при температуре +25 °С, и холодным телом с температурой -18 °С. В некоторый момент машину запустили в обратном направлении, так что все составляющие теплового баланса-работа и количества теплоты-поменяли свои знаки. При этом за счёт работы, совершенной двигателем тепловой машины, от холодного тела теплота стала отбираться, а тёплому телу-сообщаться. Какую работу совершил двигатель тепловой машины, если количество теплоты, отведенной от холодного тела, равно 165 кДж?
- 6.10.8** Идеальная тепловая машина с температурой холодильника 300 К и температурой нагревателя 400 К за один цикл своей работы получает от нагревателя количество теплоты 10 Дж. За счёт совершаемой машиной работы груз массой 10 кг поднимается вверх с поверхности земли. На какую высоту над землёй поднимется этот груз через 100 циклов работы машины?
- 6.10.9** Идеальная тепловая машина, обладающая КПД 10%, использует в качестве холодильника резервуар со льдом при температуре 0 °С. За один цикл работы этой машины в холодильнике тает 900 г льда. Какое количество теплоты потребляет эта машина от нагревателя за один цикл работы?

6.10.10 В тепловом двигателе 1 моль одноатомного разреженного газа совершает цикл 1-2-3-4-1, показанный на графике в координатах p - T (Рис. 2), где p -давление газа, T -абсолютная температура. Температуры в точках 2 и 4 равны и превышают температуру в точке 1 в 2 раза. Определите КПД цикла.

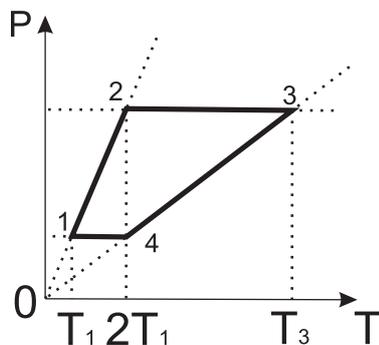


Рис. 2:

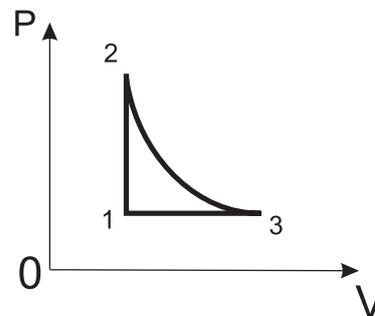


Рис. 3:

6.10.11 1 моль одноатомного идеального газа совершает цикл 1 - 2 - 3 - 1 (Рис. 3), состоящий из изохоры (1-2), адиабаты (2-3) и изобары (3-1). Абсолютные температуры газа $T_1 = 400\text{K}$, $T_2 = 600\text{K}$, $T_3 = 510\text{K}$. Определите КПД цикла.

6.10.12 На графике приведена зависимость КПД идеальной тепловой машины от температуры ее холодильника (Рис. 4). Чему равна температура нагревателя этой тепловой машины?

6.10.13 Тепловой двигатель использует в качестве рабочего вещества 1 моль идеального одноатомного газа. Цикл работы двигателя изображён на pV -диаграмме и состоит из двух адиабат, изохоры, изобары (Рис. 5). Модуль отношения изменения температуры газа при изобарном процессе ΔT_{12} к изменению его температуры ΔT_{34} при изохорном процессе равен 1,2. Определите КПД цикла.

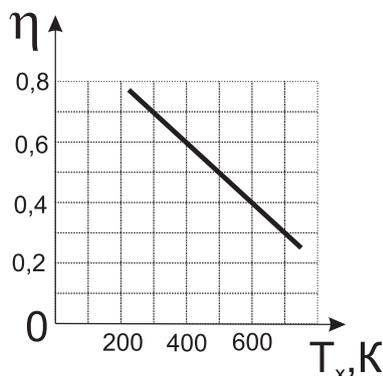


Рис. 4:

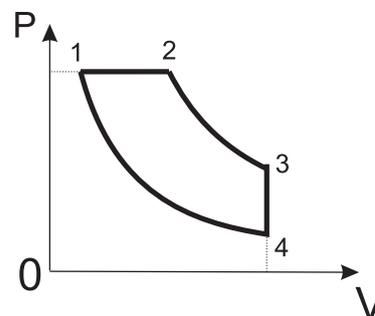


Рис. 5:

6.10.14 Цикл тепловой машины, рабочим веществом которой является ν молей идеального одноатомного газа, состоит из изотермического расширения, изохорного охлаждения и адиабатического сжатия (Рис. 6). Работа, совершённая газом в изотермическом процессе, равна A , а КПД тепловой машины равен η . Максимальная температура в этом цикле равна T_0 . Определите минимальную температуру T в этом циклическом процессе.

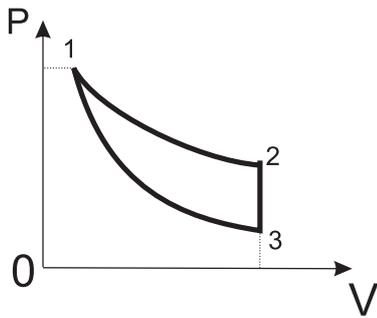


Рис. 6:

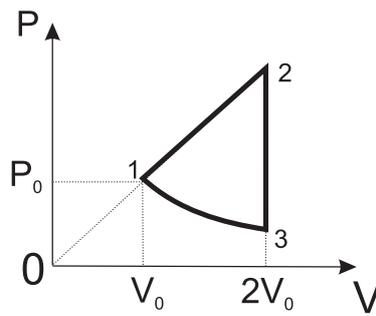


Рис. 7:

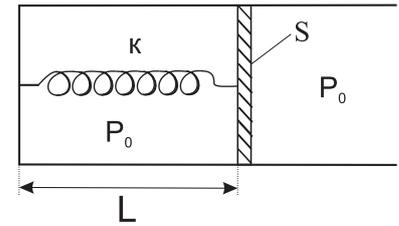


Рис. 8:

6.10.15 Над одноатомным идеальным газом проводится циклический процесс, показанный на рисунке 7. На адиабате 3-1 внешние силы сжимают газ, совершая работу $A_{31} = 370$ Дж. Количество теплоты, отданное газом за цикл холодильнику, равно $|Q_x| = 3370$ Дж. Количество вещества газа в ходе процесса не меняется. Найдите работу газа A_{12} на участке 1-2.

6.10.16 В горизонтальном цилиндре с гладкими стенками под массивным поршнем с площадью S находится одноатомный идеальный газ. Поршень соединен с основанием цилиндра пружиной жесткостью k . В начальном состоянии расстояние между поршнем и основанием цилиндра равно L , а давление газа в цилиндре равно внешнему атмосферному давлению p_0 (Рис. 8). Какое количество теплоты Q передано затем газу, если в результате поршень медленно переместился вправо на расстояние b ?