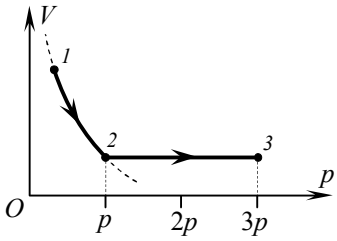
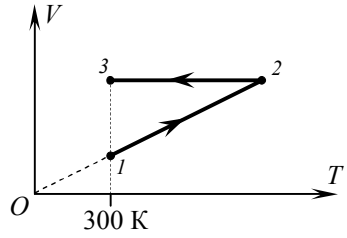
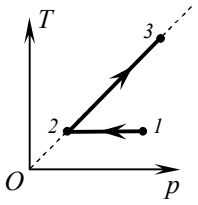
# 2. Термодинамика.



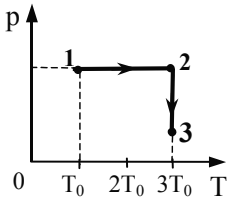

**1.** Идеальный одноатомный газ в количестве 1 моль сначала изотермически сжали ($T_1$ = 300 К). Затем газ нагрели, повысив давление в 3 раза (см. рисунок). Какое количество теплоты получил газ на участке 2-3? Ответ: $Q_{23} = 3\nu RT_1 = 7479$ Дж.




**2.** Один моль идеального одноатомного газа сначала нагрели, а затем охладили до первоначальной температуры 300 К, уменьшив давление в 3 раза (см. рисунок). Какое количество теплоты сообщено газу на участке 1 - 2?
Ответ: $Q_{12} = 5\nu RT_1 = 12{,}5$ кДж.

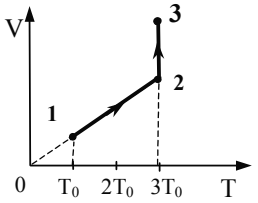



**3.** Идеальный одноатомный газ в количестве 1 моль сначала изотермически расширился ($T_1$ = 300 К). Затем газ нагрели, повысив давление в 3 раза (см. рисунок). Какое количество теплоты получил газ на участке 2-3?
Ответ: $Q_{23} = 3\nu RT_1 = 7479$ Дж.

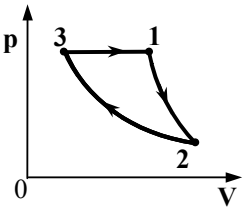



**4.** Один моль одноатомного идеального газа совершает процесс 1 – 2 – 3. На участке 2 – 3 к газу подводят 2500 Дж теплоты. $T_0$ = 300 К. Найдите отношение полного количества подведенной к газу теплоты $Q_{123}$ к работе $A_{123}$, совершаемой газом в ходе всего процесса.

Ответ: $\dfrac{Q_{123}}{A_{123}} = \dfrac{5\nu RT_0 + Q_{23}}{2\nu RT_0 + Q_{23}} \approx 2.$




**5.** Один моль гелия совершает процесс 1 – 2 – 3. На участке 2 – 3 к газу подводят 2500 Дж теплоты (см. рисунок). $T_0$ = 300 К. Найдите отношение работы $A_{123}$, совершаемой газом в ходе всего процесса, ко всему подведенному к газу количеству теплоты $Q_{123}$.




Ответ: $\dfrac{A_{123}}{Q_{123}} = \dfrac{2\,\nu RT_0 + Q_{23}}{5\,\nu RT_0 + Q_{23}} \approx 0{,}5.$

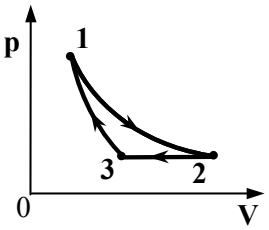
**6.** Один моль аргона совершает цикл, изображенный на $pV$-диаграмме (см. рисунок). Участок 1 – 2 — адиабата, 2 – 3 — изотерма, 3 – 1 — изобара. Разность температур в состояниях 1 и 2 $\Delta T$ = 300 К. На участке 2 – 3 газ отдает количество теплоты $Q$ = 6 кДж. Какая работа совершена газом за цикл?

Ответ: $A = \dfrac{5}{2}\nu R\Delta T - Q = 232{,}5$ Дж.

**7.** Гелий в количестве 1 моль совершает цикл, изображенный на $pV$-диаграмме (см. рисунок к предыдущей задаче). Участок 1 – 2 — адиабата, 2 – 3 — изотерма, 3 – 1 — изобара. Работа, совершенная газом за цикл, равна $A$. На участке 2 – 3 газ отдает количество теплоты $Q$. Какова разность температур гелия в состояниях 1 и 2?

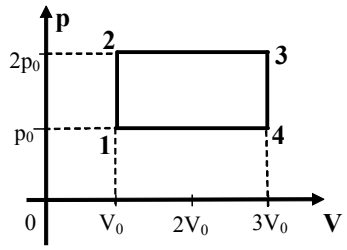
Ответ: $\Delta T = \dfrac{2}{5}\,\dfrac{(A+Q)}{\nu R}$.

**8.** Один моль одноатомного идеального газа совершает цикл, изображенный на $pV$-диаграмме (см. рисунок). Участок 1 – 2 — изотерма, 2 – 3 — изобара, 3 – 1 — адиабата. Работа, совершаемая газом за цикл, равна A. Разность температур в состояниях 1 и 3 составляет $\Delta T$. Какую работу совершает газ при изотермическом процессе?




Ответ: $A_{12} = A - \dfrac{1}{2}\nu R\Delta T.$

**9.** В цилиндре под поршнем находится идеальный одноатомный газ. Какое количество теплоты получил газ, если при давлении $1{,}2\cdot10^5$ Па он изобарно расширился с 0,12 м$^3$ до 0,14 м$^3$? Ответ: 6 кДж




**10.** Рассчитайте КПД тепловой машины, использующей в качестве рабочего тела одноатомный идеальный газ и работающей по циклу, изображенному на рисунке.

Ответ: $\eta = \dfrac{2p_0V_0}{4p_0V_0 + \dfrac{15}{2}p_0V_0} = \dfrac{4}{23}$.

**11.** В медный стакан калориметра массой 200 г, содержащий 150 г воды, опустили кусок льда, имевший температуру 0°С. Начальная температура калориметра с водой 25°С. В момент времени, когда наступит тепловое равновесие, температура воды и калориметра стала равной 5°С. Рассчитайте массу льда. Удельная теплоемкость меди 390 Дж/кг·К, удельная теплоемкость воды 4200 Дж/кг·К, удельная теплота плавления льда 3,35·105 Дж/кг. Потери тепла калориметром считать пренебрежимо малыми. Ответ: 0,04 кг.

**12.** Теплоизолированный сосуд объемом $V$ = 2 м$^3$ разделен пористой перегородкой на две равные части. В начальный момент в первой части сосуда находится $m$ = 1 кг гелия, а во второй — $m$ = 1 кг аргона, а средняя квадратичная скорость атомов аргона равна скорости атомов гелия и составляет $u$ = 500 м/с. Атомы гелия могут свободно проникать через поры в перегородке, а атомы аргона - нет. Определите внутреннюю энергию гелий-аргоновой смеси во второй половине сосуда после установления равновесия в системе.

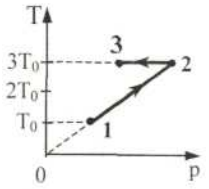
Ответ: $U' = \dfrac{mu^2}{2}\cdot\dfrac{\mu_{Ar} + 2\mu_{He}}{\mu_{Ar} + \mu_{He}} \approx 136$ кДж.

**13.** Теплоизолированный сосуд объемом $V$ = 2 м$^3$ разделен пористой перегородкой на две равные части. В начальный момент в одной части сосуда находится $\nu_{He}$ = 2 моль гелия, а в другой - $\nu_{Ar}$ = 1 моль аргона. Температура гелия $T_{He}$ = 300 К, а температура аргона $T_{Ar}$ = 600 К. Атомы гелия могут свободно проникать через поры в перегородке, а атомы аргона - нет. Определите температуру гелия после установления теплового равновесия в системе.

Ответ: $T = \dfrac{\nu_{He} T_{He} + \nu_{Ar} T_{Ar}}{\nu_{He} + \nu_{Ar}} = 400\ \text{K}$ .

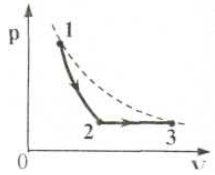
**14.** Теплоизолированный сосуд объемом $V = 2$ м$^3$ разделен теплопроводной перегородкой на две равные части. В начальный момент в одной части сосуда находится $m = 1$ кг гелия, а в другой — $m = 1$ кг аргона. Температура гелия $T_{He} = 300$ К, а температура аргона $T_{Ar} = 600$ К. Определите внутреннюю энергию аргона после установления равновесия в системе.

Ответ: $U' = \dfrac{3mR}{2\mu_{Ar}} \cdot \dfrac{\mu_{Ar} T_{He} + \mu_{He} T_{Ar}}{\mu_{Ar} + \mu_{He}} \approx 102$ кДж .

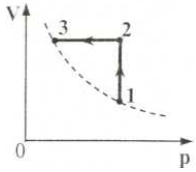



**15.** Один моль одноатомного идеального газа совершает процесс 1-2-3 (см. рисунок). На участке 2 - 3 к газу подводят 3 кДж теплоты. $T_0 = 100$ К. Найдите отношение работы, совершаемой газом в ходе всего процесса $A_{123}$, к соответствующему полному количеству подведенной к нему теплоты $Q_{123}$.

Ответ: $\dfrac{A_{123}}{Q_{123}} = \dfrac{Q_{23}}{3\nu R T_0 + Q_{23}} = 0{,}55$ .

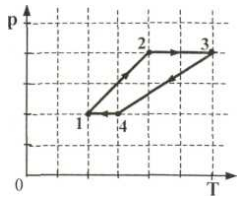



**16.** Идеальный одноатомный газ расширяется сначала адиабатно, а затем изобарно. Конечная температура газа равна начальной (см. рисунок). За весь процесс 1-2-3 газом совершается работа, равная 5 кДж. Какую работу совершает газ при адиабатном расширении? Ответ: $A_{12} = \dfrac{3}{5} A_{123} = 3$ кДж .

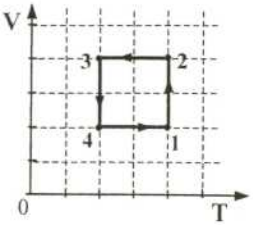



**17.** Один моль идеального одноатомного газа сначала нагрели, а затем охладили до первоначальной температуры 300 К, уменьшив давление в 3 раза (см. рисунок). Какое количество теплоты сообщено газу на участке 1 - 2?

Ответ: $Q_{12} = 5\nu R T_1 = 12{,}5$ кДж .

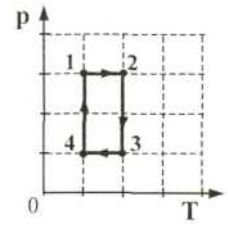



**18.** На рисунке в координатах $p$, $T$ показан цикл тепловой машины, у которой рабочим телом является идеальный газ. На каком из четырех участков цикла $1-2$, $2-3$, $3-4$ и $4-1$ модуль работы газа имеет наибольшее значение? Ответ: на участке 2-3.




**19.** На рисунке в координатах $V$, $T$ показан цикл тепловой машины, у которой рабочим телом является идеальный газ. На каком из двух участков цикла 1- 2 и 3 - 4 модуль работы газа больше?

Ответ: на участке 1-2.




**20.** На рисунке в координатах $p$, $T$ показан цикл тепловой машины, у которой рабочим телом является идеальный газ. На каком из участков цикла 1-2, 2-3, 3-4, 4-1 работа газа наибольшая по модулю?

Ответ: на участке 2-3.

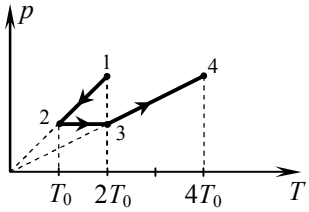
**21.** Воздушный шар объемом 2500 м$^3$ с массой оболочки 400 кг имеет внизу отверстие, через которое воздух в шаре нагревается горелкой. Какова максимальная масса груза, который может поднять шар, если воздух в нем нагреть до температуры 77 $^o$C? Температура окружающего воздуха 7 $^o$C, его плотность 1,2 кг/м$^3$. Оболочку шара считать нерастяжимой. Ответ: 200 кг.

**22.** Воздушный шар с газонепроницаемой оболочкой содержит 100 кг гелия и может удерживать в воздухе на высоте, где температура воздуха 17 $^o$C, а давление $10^5$ Па, груз массой 225 кг. Какова масса оболочки шара? Считать, что оболочка шара не оказывает сопротивления изменению объема шара. Молярные массы воздуха и гелия равны соответственно 29 г/моль и 4 г/моль. Ответ: 400 кг.

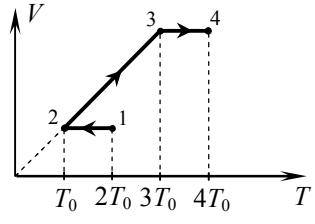
**23.** В водонепроницаемый мешок, лежащий на дне моря на глубине 73,1 м, закачивается сверху воздух. Вода вытесняется из мешка через нижнее отверстие, и когда объем воздуха в мешке достигает 28,0 м$^3$, мешок всплывает вместе с прикрепленным к нему грузом массой 25,0 тонн. Определите массу оболочки мешка. Температура воды равна 7 $^o$C, атмосферное давление на уровне моря равно $10^5$ Па. Объемом груза и стенок мешка пренебречь. Молярная масса воздуха 29 г/моль. Ответ: 2710 кг.

**24.** В водонепроницаемый мешок, лежащий на дне моря на глубине 73,1 м, закачивается сверху воздух. Вода вытесняется из мешка через нижнее отверстие, и, когда объем воздуха в мешке достигает 28,0 м$^3$, мешок всплывает вместе с прикрепленным к нему грузом массой 25,0 тонн. На сколько надо увеличить объем воздуха в мешке, чтобы он приподнял груз вдвое большей массы? Температура воды равна 7 $^o$C, атмосферное давление на уровне моря равно $10^5$ Па. Объемом груза и стенок мешка пренебречь. Молярная масса воздуха 29 г/моль. Ответ: на 25,3 м$^3$.

**25.** В водонепроницаемый мешок, лежащий на дне моря на глубине 73,1 м, закачивается сверху воздух. Вода вытесняется из мешка через нижнее отверстие, и, когда объем воздуха в мешке достигает 28,0 м$^3$, мешок всплывает вместе с прикрепленным к нему грузом массой 25,0 тонн. Какой максимальный груз приподнимет этот мешок, если в него закачать вдвое меньшее количество воздуха? Температура воды равна 7 $^o$C, атмосферное давление на уровне моря равно $10^5$ Па. Объемом груза и стенок мешка пренебречь. Молярная масса воздуха 29 г/моль. Ответ: 11145 кг.




**26.** С одним молем идеального одноатомного газа совершают процесс 1-2-3-4, показанный на рисунке в координатах $p$-$T$. Во сколько раз количество теплоты, полученное газом в процессе 1-2-3-4 больше работы газа в этом процессе? Ответ: 4.




**27.** С одним молем идеального одноатомного газа совершают процесс 1-2-3-4, показанный на рисунке в координатах $V$-$T$. Во сколько раз количество теплоты, полученное газом в процессе 1-2-3-4, больше работы газа в этом процессе? Ответ: 2,5.

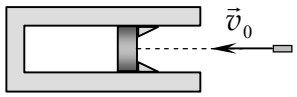
**28.** Сосуд, объемом 2 м$^3$ разделен пористой перегородкой на две равные части. В начальный момент в одной части сосуда находится 2 моль гелия, а в другой — такое же количество молей аргона. Атомы гелия могут свободно проникать через поры в перегородке, а атомы аргона — нет. Температура гелия равна температуре аргона 300 К. Определите давление гелия после установления равновесия в системе. Ответ: ≈2500 Па.

**29.** Теплоизолированный цилиндр разделен подвижным теплопроводным поршнем на две части. В одной части цилиндра находится гелий, а в другой — аргон. В начальный момент температура гелия равна 300 К, а аргона — 900 К. При этом объемы,

занимаемые газами, одинаковы. Чему равно отношение внутренней энергии гелия после установления теплового равновесия к его энергии в начальный момент, если поршень перемещается без трения? Теплоемкостью сосуда и поршня пренебречь. Ответ: 1,5.

**30.** Теплоизолированный цилиндр разделен подвижным теплопроводным поршнем на две части. В одной части цилиндра находится гелий, а в другой — аргон. В начальный момент температура гелия равна 300 К, а аргона — 900 К. При этом объемы, занимаемые газами, одинаковы. Какую температуру будут иметь газы в цилиндре после установления теплового равновесия, если поршень перемещается без трения? Теплоемкостью сосуда и поршня пренебречь. Ответ: 450 К.

**31.** В вакууме закреплен горизонтальный цилиндр. В цилиндре находится гелий, запертый поршнем. Поршень массы $M = 90$ г удерживается упорами и может скользить влево вдоль стенок цилиндра без трения. В поршень попадает пуля массой $m = 10$ г, летящая горизонтально со скоростью $v_0 = 400$ м/с, и застревает в нем. Температура гелия в момент остановки поршня в крайнем левом положении возрастает на $\Delta T = 64$ К. Чему равно количество вещества гелия в цилиндре? Считать, что за время движения газ не успевает обменяться теплом с цилиндром и поршнем. Ответ: $\nu = m^2 v_0^2/[3R\Delta T\,(m + M)] \approx 1$ моль.




**32.** В сосуде с небольшой трещиной находится воздух, который может просачиваться сквозь трещину. Во время опыта давление воздуха в сосуде уменьшилось в 2 раза, а его абсолютная температура уменьшилась в 4 раза при неизменном объеме. Во сколько раз изменилась внутренняя энергия воздуха в сосуде? (Воздух считать идеальным газом.) Ответ: уменьшилась в 2 раза.

**33.** В цилиндре под подвижным поршнем находится газ. Во время опыта газ сжали и охладили так, что его объем уменьшился в 4 раза. Оказалось, что газ мог просачиваться в зазор вокруг поршня, и за время опыта давление газа уменьшилось в 1,5 раза. Во сколько раз изменилась внутренняя энергия газа в цилиндре? (Газ считать идеальным.) Ответ: в 6 раз.

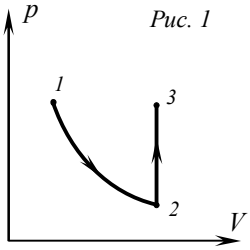


*Рис. 1*

**34.** Один моль одноатомного идеального газа сначала изотермически расширился ($T_1 = 300$ К). Затем газ нагрели, повысив давление в 3 раза (см. рисунок 1). Какое количество теплоты получил газ на участке 2-3? Ответ: ≈ 7,5 кДж.

**35.** В цилиндре под поршнем находится 8 г гелия при температуре 27 °С. Газ изобарно нагревают, сообщая ему количество теплоты 12465 Дж. После нагревания объем газа становится равен 2 л. Определите начальный объем газа. Молярная масса гелия 0,004 кг/моль. Ответ: 1 л.

**36.** В сосуде находится 12 г одноатомного идеального газа при температуре 400 К. Вначале давление в сосуде было 400 кПа, а после охлаждения газа давление понизилось до 200 кПа. Какова молярная масса газа, если отданное им количество теплоты 7,5 кДж? Ответ: ≈ 0,004 кг/моль.

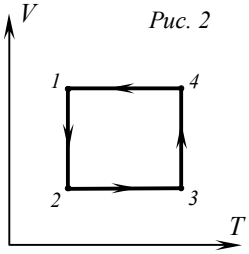


*Рис. 2*

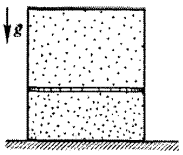
**37.** С один молем одноатомного идеального газа провели циклический процесс, график которого изображен на рисунке 2. Определите КПД этого процесса, если температура $T_1 = 300$ К, а температура $T_4 = 600$ К. Работа внешних сил над газом на участке 1-2 равна $A = 1$ кДж. Ответ: ≈ 17 %.

**38.** В литр воды при температуре 20 °С брошен ком снега массой 250 г, частично уже растаявший, т. е. содержащий некоторое количество воды при 0 °С. Температура воды в сосуде при достижении теплового равновесия оказалась равна 5 °С. Определите количество воды в коме снега. Ответ: 75 г.

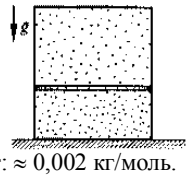
**39.** В двух сосудах имеется по 4,18 кг воды при одинаковых температурах. В первый сосуд вливают 0,42 кг воды при температуре 100 °С, во второй вводят столько же водяного пара при температуре 100°С. На сколько градусов температура в одном сосуде будет больше, чем в другом после установления в каждом из них теплового равновесия? Ответ: на 50 °С.

**40.** В двух сосудах имеется по 500 г воды при температуре 20 °С. В первый сосуд наливают 50 г холодной воды при температуре 0 °С, а во второй добавляют 50 г льда при температуре 0 °С. На сколько градусов температура в первом сосуде будет больше, чем во втором после установления теплового равновесия в сосудах? Теплоемкостью сосудов пренебречь. Ответ: ≈ 7 °С.

41. Вертикально расположенный замкнутый цилиндрический сосуд высотой 50 см разделен подвижным поршнем весом 110 Н на две части, в каждой из которых содержится одинаковое количество идеального газа при температуре 361 К. Сколько молей газа находится в каждой части цилиндра, если поршень находится на высоте 20 см от дна сосуда? Толщиной поршня пренебречь. Ответ: ≈ 0,022 моль.




42. Вертикально расположенный замкнутый цилиндрический сосуд высотой 50 см разделен подвижным поршнем весом 110 Н на две части, в каждой из которых содержится по 44 мг идеального газа при температуре 360 К. Определите молярную массу газа, если поршень находится на высоте 20 см от дна сосуда. Толщиной поршня пренебречь. Ответ: ≈ 0,002 кг/моль.



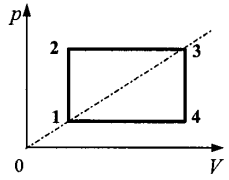

43. В горизонтально расположенной трубке неизменного сечения, запаянной с одного конца, помещен столбик ртути длиной 15 см, который отделяет воздух в трубке от атмосферы. Трубку расположили вертикально запаянным концом вниз и нагрели на 60 К. При этом объем, занимаемый воздухом, не изменился. Температура воздуха в лаборатории 300 К. Каково атмосферное давление (мм рт.ст.)? Ответ: 750 мм. рт. ст.

44. В калориметре находился лед при температуре $t_1 = -5$ °С. Какой была масса $m_1$ льда, если после добавления в калориметр $m_2 = 4$ кг воды, имеющей температуру $t_2 = 20$ °С, и установления теплового равновесия температура содержимого калориметра оказалась равной $t = 0$ °С, причем в калориметре была только вода? Ответ: ≈ 1 кг.

45. В калориметре находилось $m_1 = 1$ кг льда. Какой была температура $t_1$ льда, если после добавления в калориметр $m_2 = 4$ кг воды, имеющей температуру $t_2 = 20$ °С, в калориметре установилось тепловое равновесие при $t = 0$ °С, причем в нем оказалась только вода? Ответ: ≈ –3 °С.

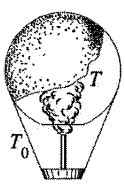
46. В калориметре находится 1 кг льда при температуре – 5°С. Какое количество воды, имеющей температуру 20°С, нужно добавить в калориметр, чтобы температура его содержимого после установления теплового равновесия оказалась – 2°С? Теплообменом с окружающей средой и теплоемкостью калориметра пренебречь. Ответ: ≈ 15 г.

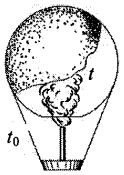
47. В цикле, состоящем из двух изохор и двух изобар (см. рисунок), температура идеального газа равна 300 К в точке 1 и 675 К в точке 3. Диагональ цикла 1–3 лежит на прямой, проходящей через начало координат. Найдите температуру газа в точке 2. Ответ: 450 К.




48. Сферическая оболочка воздушного шара сделана из материала, квадратный метр которого имеет массу 1 кг. Шар наполнен гелием при атмосферном давлении $10^5$ Па. При каком минимальном радиусе шар поднимает сам себя? Температура гелия и окружающего воздуха одинаковы и равны 0°С. Ответ: ≈ 2,7 м.

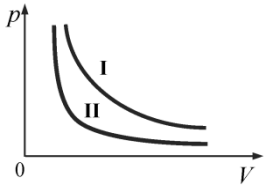
49. Воздушный шар наполняется горячим воздухом при нормальном атмосферном давлении. Абсолютная температура $T$ горячего воздуха в 2 раза больше температуры $T_0$ окружающего воздуха. При каком отношении массы оболочки к массе наполняющего ее газа шар начнет подниматься? Оболочка шара нерастяжима и имеет в нижней части небольшое отверстие. Ответ: 1.




50. 

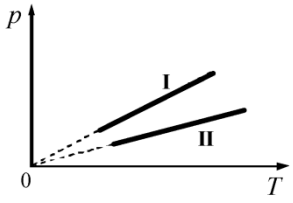
Воздушный шар, оболочка которого имеет массу $M = 145$ кг и объем $V = 230$ м$^3$, наполняется при нормальном атмосферном давлении горячим воздухом, нагретым до температуры $t = 265$°С. Определите максимальную температуру $t_0$ окружающего воздуха, при которой шар начнет подниматься. Оболочка шара нерастяжима и имеет в нижней части небольшое отверстие. Ответ: ≈ 273 К.

51. Две порции одного и того же идеального газа изотермически расширяются при одной и той же температуре. Изотермы представлены на рисунке. Почему изотерма I лежит выше изотермы II? Ответ поясните, указав, какие физические закономерности Вы использовали для объяснения.



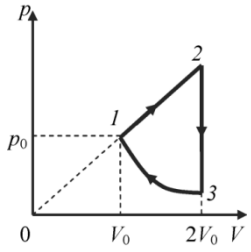

52. В сосуде объёмом $V = 0{,}02$ м$^3$ с жёсткими стенками находится одноатомный газ при атмосферном давлении. В крышке сосуда имеется отверстие площадью $S$, заткнутое пробкой. Максимальная сила трения покоя $F$ пробки о края отверстия равна 100 Н. Пробка выскакивает, если газу передать количество теплоты не менее 15 кДж. Определите значение $S$, полагая газ идеальным.

53. Две порции одного и того же идеального газа нагреваются в сосудах одинакового объёма. Графики процессов представлены на рисунке. Почему изохора I лежит выше изохоры II? Ответ поясните, указав, какие физические закономерности Вы использовали для объяснения.



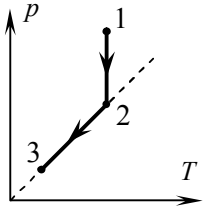

54. Один моль аргона, находящийся в цилиндре при температуре $T_1 = 600$ К и давлении $p_1 = 4\cdot10^5$ Па, расширяется и одновременно охлаждается так, что его температура при расширении обратно пропорциональна объёму. Конечное давление газа $p_2 = 10^5$ Па. Какое количество теплоты газ отдал при расширении, если при этом он совершил работу $A = 2493$ Дж?

55. Над одноатомным идеальным газом проводится циклический процесс, показанный на рисунке. На участке 1-2 газ совершает работу $A_{12} = 1000$ Дж. Участок 3-1 — адиабата. Количество теплоты, отданное газом за цикл холодильнику, равно $|Q_{хол}| = 3370$ Дж. Количество вещества газа в ходе процесса не меняется. Найдите работу внешних сил на адиабате и КПД цикла.




56. В горизонтальном цилиндрическом сосуде, закрытом поршнем, находится одноатомный идеальный газ. Первоначальное давление газа $p_1 = 4\cdot10^5$ Па. Расстояние от дна сосуда до поршня $L = 30$ см. Площадь поперечного сечения поршня $S = 25$ см$^2$. В результате медленного нагревания газа поршень сдвинулся на расстояние $x = 10$ см. При движении поршня на него со стороны стенок сосуда действует сила трения величиной $F_{тр} = 3\cdot10^3$ Н. Какое количество теплоты получил газ в этом процессе? Считать, что сосуд находится в вакууме. Ответ: 1,65 кДж.

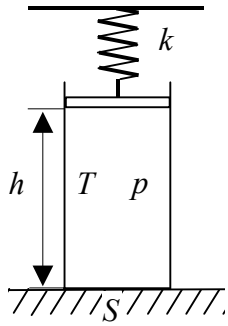
57. Один моль идеального одноатомного газа сначала изотермически расширился ($T_1 = 300$ К). Затем газ охладили, понизив давление в 3 раза (см. рисунок). Какое количество теплоты отдал газ на участке 2-3?




58. Сферическую оболочку воздушного шара делают из материала, квадратный метр которого имеет массу 1 кг. Шар наполняют газом при атмосферном давлении $10^5$ Па. Во сколько раз молярная масса воздуха больше молярной массы газа, которым наполнен шар, если шар поднимает сам себя при радиусе 2,7 м? Температура газа и окружающего воздуха одинакова и равна 0 °С.

(Площадь сферы $S = 4\pi r^2$, объем шара $V = (4/3)\pi r^3$)

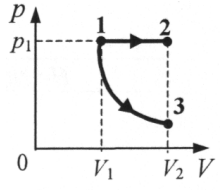
59. Газ с температурой $T = 300$ К и давлением $p = 2\cdot10^5$ Па находится в цилиндрическом сосуде с сечением $S = 0{,}1$ м$^2$ под невесомым поршнем, который удерживается пружиной с жесткостью $k = 1{,}5\cdot10^4$ Н/м на высоте $h = 2$ м над дном сосуда (см. рис.). Температуру газа увеличили на $\Delta T = 15$ К. Чему равно при этом смещение поршня $\Delta h$? Ответ: 4 см




60. Гелий в количестве 0,15 моль находится при комнатной температуре в равновесии в вертикальном цилиндре под поршнем массой 3,3 кг и площадью 30 см$^2$. Поршень способен свободно перемещаться Трение между поршнем и стенками цилиндра отсутствует. Внешнее атмосферное давление равно $10^5$ Па. В результате медленного нагревания температура гелия поднялась на 8 К. На какое расстояние передвинулся поршень.

61. В сосуде лежит кусок льда. Температура льда $t_1 = 0$ °С. Если сообщить ему количество теплоты $Q$, то весь лёд растает и образовавшаяся вода нагреется до температуры $t_2 = 20$ °С. Какая доля льда $k$ растает, если сообщить ему количество теплоты $q = (Q/2)$? Тепловыми потерями на нагрев сосуда пренебречь. Ответ: ≈ 0,63

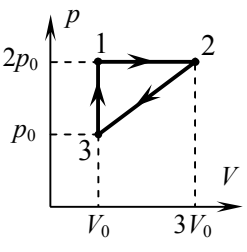
62. Некоторое количество одноатомного идеального газа расширяется из одного и того же начального состояния ($p_1$; $V_1$) до одного и того же конечного объема $V_2$ первый раз по изобаре, а второй — по адиабате (см. рисунок). Отношение количества теплоты $Q_{12}$, полученного газом на изобаре от нагревателя, к модулю изменения внутренней энергии газа $|U_3 - U_1|$ на адиабате $k = Q_{12}/|U_3 - U_1| = 6$. Чему равно отношение $x$ работы газа на изобаре $A_{12}$ к работе газа на адиабате $A_{13}$?




63. В сосуде лежит кусок льда. Температура льда $t_1 = 0$ °С. Если сообщить ему количество теплоты $Q$, то 3/4 льда растает. До какой температуры $t_2$ нагреется вода после того, как весь лёд растает, если куску льда в первоначальном состоянии сообщить количество теплоты $q = 2Q$? Тепловыми потерями на нагрев сосуда пренебречь. Ответ: ≈ 39,3 °С

64. В калориметре находится 1 кг льда при температуре $-5$°С. После добавления в калориметр 15 г воды, в нем установилось тепловое равновесие при температуре $-2$ °С ? Какова начальная температура воды, добавленной в калориметр? Теплообменом с окружающей средой и теплоёмкостью калориметра пренебречь. Ответ: ≈ 20 °С

65. Одноатомный идеальный газ неизменной массы совершает циклический процесс, показанный на рисунке. За цикл от нагревателя газ получает количество теплоты $Q_н = 8$ кДж. Чему равна работа газа за цикл?



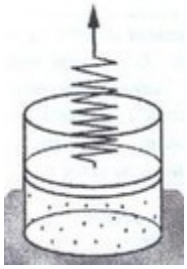

66. В калориметре находится 1 кг льда при температуре $-5$ °С. Какую массу воды, имеющей температуру 20 °С, нужно добавить в калориметр, чтобы температура его содержимого после установления теплового равновесия оказалась равной 0 °С, причём в калориметре был бы только лёд? Теплообменом с окружающей средой и теплоёмкостью калориметра пренебречь. Ответ: ≈ 25 г.

67. В сосуде лежит кусок льда. Температура льда $t_1 = 0$°С. Если сообщить ему количество теплоты $Q = 50$ кДж, то половина льда растает. Какое количество теплоты надо после этого сообщить содержимому сосуда дополнительно, чтобы весь лёд растаял и образовавшаяся вода нагрелась до температуры $t_2 = 20$°С? Тепловыми потерями на нагрев сосуда пренебречь.

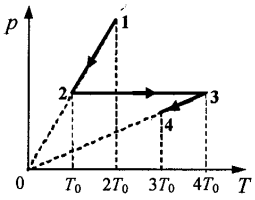
68. В вертикальном цилиндрическом сосуде с площадью поперечного сечения 5 см$^2$ находится воздух под тяжелым поршнем. Масса поршня 1 кг. Первоначально высота поршня над дном сосуда равна 13 см. На сколько сантиметров опустится поршень,

если на него положить груз массой 0,5 кг? Воздух считать идеальным газом, а его температуру — неизменной. Атмосферное давление равно $10^5$ Па. Трением поршня о стенки сосуда пренебречь.

69. В вертикальном цилиндре с гладкими, тонкими, но прочными металлическими стенками под поршнем массой 10 кг заключен воздух. Цилиндр закреплен на горизонтальной поверхности. Начальный объем воздуха под поршнем равен 4 л, площадь поперечного сечения цилиндра 100 см$^2$, атмосферное давление принять равным 100 кПа. Поршень тянут пружиной жесткостью 10 кН/м, медленно увеличивая ее удлинение от нуля до 2 см. На какую величину при этом увеличится объем воздуха под поршнем?

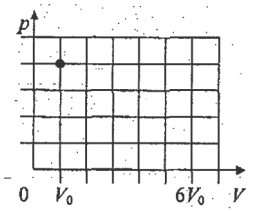


70. В пластиковую бутылку объёмом $V = 0{,}5$ л при комнатной температуре $T_к = 20$ °C залили жидкий азот объёмом $V_0 = 30$ мл и плотно завинтили пробку. Бутылка медленно нагревается из-за теплообмена с окружающей средой. При какой температуре $T$ она взорвётся, если стенки бутылки выдерживают внутреннее давление $p = 20$ атм? Плотность жидкого азота $\rho = 808$ кг/м$^3$, его температура кипения при нормальном давлении $p = 1$ атм $= 10^5$ Па равна $T_0 = 77$ К. Газообразный азот считать идеальным газом, растяжением бутылки при повышении давления пренебречь.



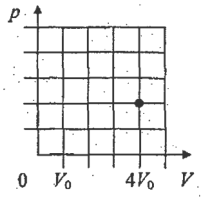

71. Один моль идеального одноатомного газа участвует в процессе 1-2-3-4, показанном на $pT$-диаграмме. Во сколько раз общее количество теплоты, полученное газом в ходе всего процесса 1-2-3-4, больше работы газа в этом процессе?

72. В горизонтальном цилиндрическом сосуде, закрытом подвижным поршнем, находится одноатомный идеальный газ. Площадь поперечного сечения поршня 30 см$^2$. Давление окружающего воздуха $10^5$ Па. Трение между поршнем и стенками сосуда пренебрежимо мало. Какое количество теплоты нужно отвести от газа при его медленном охлаждении, чтобы поршень передвинулся на расстояние 10 см? Ответ: $|Q| = 75$ Дж




73. В цилиндре под поршнем при комнатной температуре долгое время находится только вода и её пар. Масса жидкости в 2 раза больше массы пара. Первоначальное состояние системы показано точкой на $pV$-диаграмме. Медленно перемещая поршень, объём $V$ под поршнем изотермически увеличивают от $V_0$ до $6V_0$. Постройте график зависимости давления $p$ в цилиндре от объёма $V$ на отрезке от $V_0$ до $6V_0$. Укажите, какими закономерностями Вы при этом воспользовались.

74. В стеклянном цилиндре под поршнем при комнатной температуре находятся только водяной пар. Первоначальное состояние системы показано точкой на $pV$-диаграмме. Медленно перемещая поршень, объём $V$ под поршнем изотермически уменьшают от $4V_0$ до $V_0$. Когда объём достигает значения $2V_0$, на внутренней стороне стенок цилиндра выпадает роса. Постройте график зависимости давления $p$ в цилиндре от объёма $V$ на отрезке от $V_0$ до $4V_0$. Укажите, какими закономерностями Вы при этом воспользовались.

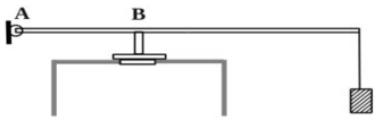



75. Плотность водяного пара в воздухе при температуре 36 °C и относительной влажности 80 % равна 33,3 г/м$^3$. Каково давление насыщенного водяного пара при этой температуре?

76. Какую массу воды можно нагреть до кипения при сжигании на костре 1,8 кг сухих дров, если в окружающую среду рассеивается 95 % тепла от их сжигания? Начальная температура воды 10 °C, удельная теплота сгорания сухих дров 8,3 МДж/кг.

77. Теплоизолированный сосуд разделен подвижным теплопроводящим поршнем на две части. В одной части цилиндра находится гелий, а в другой аргон. В начальный момент температура гелия равна 300 К, аргона — 900 К, объемы, занимаемые газами, одинаковы и поршень находится в равновесии. Во сколько раз изменится объем, занимаемый гелием, после установления теплового равновесия, если поршень перемещается без трения? Теплоемкостью цилиндра и поршня пренебречь.

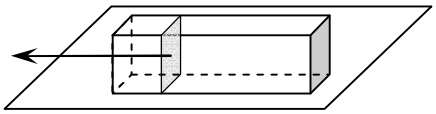
78. В цилиндр закачивается воздух со скоростью 0,002 кг/с. В верхнем торце цилиндра есть отверстие площадью $5 \cdot 10^4$ м$^2$, закрытое предохранительным клапаном. Клапан удерживается в закрытом состоянии невесомым стержнем длиной 0,5 м, который может свободно поворачиваться вокруг оси в точке $A$ (см. рисунок). Расстояние $AB$ равно 0,1 м. К свободному концу стержня подвешен груз массой 2 кг. Клапан открывается через 580 с работы насоса, если в начальный момент времени давление воздуха в цилиндре было равно атмосферному. Температура воздуха в цилиндре и снаружи не меняется и равна 300 К. Определите объём цилиндра. Ответ: $\approx 0{,}5$ м$^3$



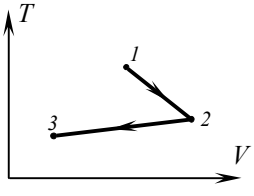

79. Теплоизолированный сосуд объемом $V = 2$ м$^3$ разделен теплоизолирующей перегородкой на две равные части. В одной части сосуда находится 2 моль He, а в другой – такое же количество моль Ar. Температура гелия $T_1 = 300$ К, а температура аргона $T_2 = 600$ К. Определите парциальное давление аргона в сосуде после удаления перегородки. Ответ: 3735 Па

80. Необходимо расплавить лёд массой 0,2 кг, имеющий температуру 0 ºС. Выполнима ли эта задача, если потребляемая мощность нагревательного элемента рана 400 Вт, тепловые потери составляют 30%, а время работы нагревателя не должно превышать 5 минут? Ответ: да

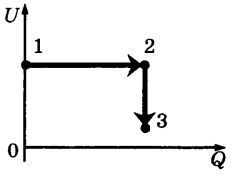
81. В горизонтальном металлическом сосуде находится воздух, отделенный от атмосферы вертикальным поршнем. Сосуд имеет массу 10 кг и покоится на горизонтальной поверхности стола. Трение между поршнем и стенками сосуда пренебрежимо мало, а коэффициент трения между сосудом и поверхностью стола равен 0,5. В некоторый момент поршень с помощью привязанного к нему шнура начинают очень медленно тянуть в горизонтальном направлении. На сколько процентов возрастет объем воздуха в сосуде к тому моменту, когда сосуд начнет скользить по столу? Площадь поршня 108 см$^2$. Атмосферное давление $10^5$ Па. Масса поршня и воздуха, заключенного в сосуде значительно меньше массы сосуда.



82. На диаграмме $T$ - $V$ (см. рисунок) показан процесс изменения состояния идеального одноатомного газа в сосуде под поршнем. Объясните, как меняется давление газа по мере его перехода из состояния 1 в состояние 2, а затем в состояние 3.




83. В цилиндре, закрытом подвижным поршнем, находится идеальный газ. На рисунке показана диаграмма, иллюстрирующая изменение внутренней энергии $U$ газа и передаваемое ему количество теплоты $Q$. Опишите изменение объёма газа при его переходе из состояния 1 в состояние 2, а затем в состояние 3. Свой ответ обоснуйте, указав, какие физические закономерности вы использовали для объяснения.



84. В вертикальном цилиндре с гладкими стенками под массивным металлическим поршнем находится идеальный газ. В первоначальном состоянии *1* поршень опирается на жёсткие выступы на внутренней стороне стенок цилиндра (рис. 1), а газ занимает объём $V_0$ и находится под давлением $p_0$, равным внешнему атмосферному. Его температура в этом состоянии равна $T_0$. Газ медленно нагревают, и он переходит из состояния *1* в состояние *2*, в котором давление газа равно $2p_0$, а его объём равен $2V_0$ (рис. 2). Количество вещества газа при этом не меняется. Постройте график зависимости объёма газа от его температуры при переходе из состояния *1* в состояние *2*. Ответ поясните, указав, какие явления и закономерности Вы использовали для объяснения.

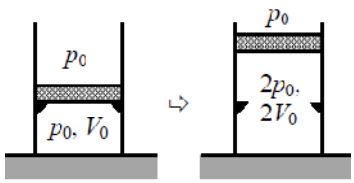
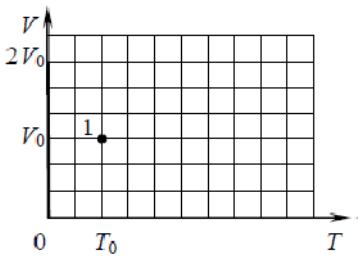


Рис. 1 Рис. 2




85. Теплоизолированный горизонтальный сосуд разделён пористой перегородкой на две равные части. В начальный момент в левой части сосуда находится ν = 2 моль гелия, а в правой – такое же количество моль аргона. Атомы гелия могут проникать через перегородку, а для атомов аргона перегородка непроницаема. Температура гелия равна температуре аргона: $T = 300$ К. Определите отношение внутренних энергий газов по разные стороны перегородки после установления термодинамического равновесия. Ответ: 1/3.
86. Сосуд объёмом 10 л содержит смесь водорода и гелия общей массой 2 г при температуре 27 °С и давлении 200 кПа. Каково отношение массы водорода к массе гелия в смеси?
87. Цилиндрический сосуд разделён неподвижной теплоизолирующей перегородкой. В одной части сосуда находится кислород, в другой – водород, концентрации газов одинаковы. Давление кислорода в 2 раза больше давления водорода. Чему равно отношение средней кинетической энергии молекул кислорода к средней кинетической энергии молекул водорода?
88. Два сосуда объёмами 20 л и 30 л, соединённые трубкой с краном, содержат влажный воздух при комнатной температуре. Относительная влажность в сосудах равна соответственно 30% и 40%. Если кран открыть, то какой будет относительная влажность воздуха в сосудах после установления теплового равновесия, считая температуру постоянной?
89. Кусок льда, имеющий температуру 0 °С, помещён в калориметр с электронагревателем. Чтобы превратить этот лёд в воду температурой 20 °С, требуется количество теплоты 100 кДж. Какая температура установится внутри калориметра, если лёд получит от нагревателя количество теплоты 75 кДж? Теплоёмкостью калориметра и теплообменом с внешней средой пренебречь.
90. В камере, заполненной азотом, при температуре $T_0 = 300$ К находится открытый цилиндрический сосуд (рис. 1). Высота сосуда $L = 50$ см. Сосуд плотно закрывают цилиндрической пробкой и охлаждают до температуры $T_1$. В результате расстояние от дна сосуда до низа пробки становится $h = 40$ см (рис. 2). Затем сосуд нагревают до первоначальной температуры $T_0$. Расстояние от дна сосуда до низа пробки при этой температуре становится $H = 46$ см (рис. 3). Чему равна температура $T_1$? Величину силы трения между пробкой и стенками сосуда считать одинаковой при движении пробки вниз и вверх. Массой пробки пренебречь. Давление азота в камере во время эксперимента поддерживается постоянным. Ответ: ≈ 219 К.

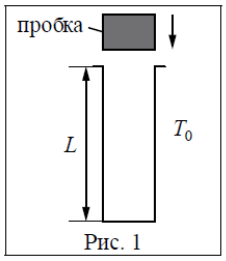


Рис. 1

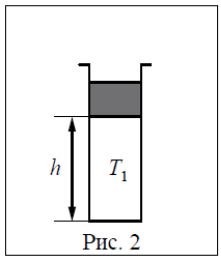


Рис. 2

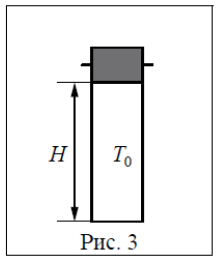
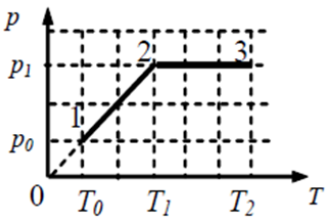
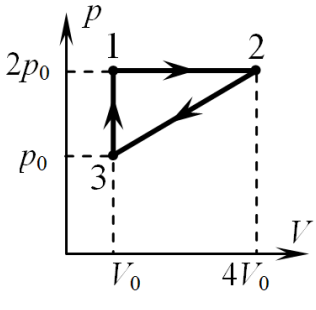


Рис. 3

91. В школьном физическом кружке изучали уравнение теплового баланса. В одном из опытов использовали два калориметра. В первом находилась вода при 57 ºС, а во втором 100 г льда и 100 г воды при 0 ºС. Какой была масса воды в первом калориметре, если после добавления в него содержимого второго калориметра установилась температура 2 ºС? Теплоемкостями калориметров пренебречь.
92. Теплоизолированный сосуд разделен не проводящей тепло перегородкой на две части одинакового объема. В первой части находится 2 моль гелия при температуре $T_1$, во второй — 2 моль аргона при температуре $T_2 = 2T_1$. Найти отношение давления, которое установилось после того, как перегородку убрали, к первоначальному давлению гелия.
93. Теплоизолированный сосуд разделен не проводящей тепло перегородкой на две части, отношение объемов которых $V_1/V_2 = 1/4$. В первой части находится газ под давлением $3p$, во второй — газ под давлением $2p$. Какое давление установится в сосуде после того, как уберут перегородку?
94. В горизонтальном сосуде, закрытом поршнем, находится разреженный газ. Максимальная сила трения между поршнем и стенками сосуда составляет $F_{тр}$ площадь поршня $S$. На $pT$-диаграмме показано, как изменялись давление и температура разреженного газа в процессе его нагревания. Как изменялся объем газа (увеличивался, уменьшался, или же оставался неизменным) на участках 1-2 и 2-3? Объясните причины такого изменения объема газа в процессе его нагревания, указав, какие физические явления и закономерности вы использовали для объяснения.




95. Одноатомный идеальный газ в количестве 0,25 моль при адиабатном расширении совершил работу 2493 Дж. До какой температуры охладился газ, если его начальная температура была 1200 К?
96. В сосуде под поршнем находится влажный воздух. Температура воздуха $T = 373$ К, его относительная влажность φ = 100%. Давление внутри сосуда $p = 3 \cdot 10^5$ Па. Воздух изотермически сжали, уменьшив объём под поршнем в 3 раза. Во сколько раз изменилось при этом давление внутри сосуда?
97. В сосуде под поршнем находится влажный воздух. Температура воздуха $T = 373$ К, его относительная влажность φ = 30%. Давление внутри сосуда $p = 3 \cdot 10^5$ Па. Воздух изотермически сжали, уменьшив объём под поршнем в 3 раза. Во сколько раз изменилось при этом давление внутри сосуда?
98. Одноатомный идеальный газ неизменной массы совершает циклический процесс, показанный на рисунке. При переходе из состояния *1* в состояние *2* газ совершает работу $A_{12} = 5$ кДж. Какое количество теплоты газ отдает холодильнику в этом цикле?