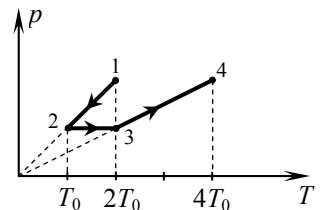
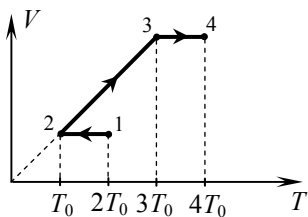


C2. Молекулярная физика. Термодинамика (2006)

1. 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°C ? Температура окружающего воздуха 7°C , его плотность $1,2 \text{ кг/м}^3$. Оболочку шара считать нерастяжимой. Ответ: 200 кг .
2. Воздушный шар объемом 2500 м^3 с массой оболочки 400 кг имеет внизу отверстие, через которое воздух в шаре нагревается горелкой. До какой минимальной температуры нужно нагреть воздух в шаре, чтобы шар взлетел вместе с грузом (корзиной и воздухоплателем) массой 200 кг ? Температура окружающего воздуха 7°C , его плотность $1,2 \text{ кг/м}^3$. Оболочку шара считать нерастяжимой. Ответ: 77°C .
3. Воздушный шар имеет внизу отверстие, через которое воздух в шаре нагревается горелкой. Масса оболочки шара 400 кг . Если температура окружающего воздуха 7°C и его плотность $1,2 \text{ кг/м}^3$, то при нагревании воздуха в шаре до температуры 77°C шар поднимает груз с максимальной массой 200 кг . Каков объем шара? Оболочку шара считать нерастяжимой. Ответ: 2500 м^3 .
4. Воздушный шар объемом 2500 м^3 имеет внизу отверстие, через которое воздух в шаре нагревается горелкой. Если температура окружающего воздуха 7°C и его плотность $1,2 \text{ кг/м}^3$, то при нагревании воздуха в шаре до температуры 77°C шар поднимает груз с максимальной массой 200 кг . Какова масса оболочки шара? Оболочку шара считать нерастяжимой. Ответ: 400 кг .
5. Воздушный шар с газонепроницаемой оболочкой содержит 100 кг гелия и может удерживать в воздухе на высоте, где температура воздуха 17°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 .
6. Воздушный шар имеет газонепроницаемую оболочку массой 400 кг и содержит 100 кг гелия. Какой груз он может удерживать в воздухе на высоте, где температура воздуха 17°C , а давление 10^5 Па ? 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: 225 кг .
7. Воздушный шар с газонепроницаемой оболочкой массой 400 кг заполнен гелием. Он может удерживать в воздухе на высоте, где температура воздуха 17°C , а давление 10^5 Па груз массой 225 кг . Какова масса гелия в оболочке 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: 100 кг .
8. В водонепроницаемый мешок, лежащий на дне моря на глубине $73,1 \text{ м}$, закачивается сверху воздух. Вода вытесняется из мешка через нижнее отверстие, и когда объем воздуха в мешке достигает $28,0 \text{ м}^3$, мешок всплывает вместе с прикрепленным к нему грузом массой $25,0 \text{ тонн}$. Определите массу оболочки мешка. Температура воды равна 7°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 .
9. В водонепроницаемый мешок, лежащий на дне моря на глубине $73,1 \text{ м}$, закачивается сверху воздух. Вода вытесняется из мешка через нижнее отверстие, и когда объем воздуха в мешке достигает некоторого значения, мешок всплывает вместе с прикрепленным к нему грузом массой $25,0 \text{ тонн}$. Масса оболочки мешка 2710 кг . Температура воды равна 7°C , атмосферное давление на уровне моря равно 10^5 Па . Каков объем воздуха в мешке в момент начала всплывания? Объемом груза и стенок мешка пренебречь. Молярная масса воздуха 29 г/моль . Ответ: 28 м^3 .
10. В водонепроницаемый мешок, лежащий на дне моря на глубине $73,1 \text{ м}$, закачивается сверху воздух. Вода вытесняется из мешка через нижнее отверстие, и когда объем воздуха в мешке достигает $28,0 \text{ м}^3$, мешок всплывает вместе с прикрепленным к нему грузом массой $25,0 \text{ тонн}$. Определите массу воздуха в мешке в момент начала его всплывания. Температура воды равна 7°C , атмосферное давление на уровне моря равно 10^5 Па . Объемом груза и стенок мешка пренебречь. Молярная масса воздуха 29 г/моль . Ответ: 290 кг .
11. В водонепроницаемый мешок, лежащий на дне моря на глубине $73,1 \text{ м}$, закачивается сверху воздух. Вода вытесняется из мешка через нижнее отверстие, и когда объем воздуха в мешке достигает $28,0 \text{ м}^3$, мешок всплывает вместе с прикрепленным к нему грузом массой $25,0 \text{ тонн}$. На сколько надо увеличить объем воздуха в мешке, чтобы он приподнял груз вдвое большей массы? Температура воды равна 7°C , атмосферное давление на уровне моря равно 10^5 Па . Объемом груза и стенок мешка пренебречь. Молярная масса воздуха 29 г/моль . Ответ: на $25,3 \text{ м}^3$.
12. В водонепроницаемый мешок, лежащий на дне моря на глубине $73,1 \text{ м}$, закачивается сверху воздух. Вода вытесняется из мешка через нижнее отверстие, и когда объем воздуха в мешке достигает $28,0 \text{ м}^3$, мешок всплывает вместе с прикрепленным к нему грузом массой $25,0 \text{ тонн}$. Какой максимальный груз приподнимет этот мешок, если в него закачать вдвое меньшее количество воздуха? Температура воды равна 7°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 .
13. 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.



14. 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.
15. 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: $\approx 2500 \text{ Па}$.

16. 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: $1,5$.
17. 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.

Молекулярная физика и термодинамика на вступительных экзаменах (МГУ, 2000 г)

Физический факультет

П.1. В комнате на столе стоят два одинаковых стакана. Температура в комнате 20°C . В первый стакан быстро наливают $m = 200\text{ г}$ воды с температурой $t = 0^\circ\text{C}$, а во второй кладут $\Delta m = 10\text{ г}$ льда с той же температурой и наливают $m - \Delta m = 190\text{ г}$ воды с температурой 0°C . Температура воды в первом стакане через время $\tau_1 = 2\text{ мин}$ увеличилась на $\Delta t = 1^\circ\text{C}$. Через какое время после заполнения второй стакан нагреется до той же температуры? Удельная теплота плавления льда $\lambda = 336\text{ Дж/г}$, теплоемкость воды $c = 4,2\text{ Дж/(г}\cdot\text{K)}$. Теплоемкостью стаканов пренебречь.

$$\tau_2 = \left(1 + \frac{\lambda \Delta m}{c m \Delta t}\right) \tau_1 = 10\text{ мин}$$

П.2. Абсолютно жесткий сосуд, заполненный гелием при нормальных условиях, движется со скоростью $v = 500\text{ м/с}$. На сколько процентов отличалось бы установившееся после остановки сосуда давление от первоначального, если бы отсутствовал теплообмен гелия с сосудом? $\frac{\Delta p}{p} = \frac{\Delta T}{T} = \frac{\mu v^2}{3RT} \approx 15\%$

П.3. В запаянной с обоих концов U-образной трубке, частично заполненной водой, в одном из колен находится воздух, а из другого колена воздух полностью удален. При температуре $t_1 = 27^\circ\text{C}$ уровень воды в коленах, содержащем воздух, ниже запаянного торца трубки на $L_1 = 80\text{ см}$, а перепад уровней воды в коленах равен $h_1 = 50\text{ см}$. Найти изменение разности уровней воды в коленах после нагревания трубки до температуры $t_2 = 87^\circ\text{C}$, пренебрегая тепловым расширением и объемом испарившейся воды.

$$x = \sqrt{(L_1 + h_1/2)^2 + 2h_1 L_1 (T_2 - T_1)/T_1} - (L_1 + h_1/2) \approx 7,4\text{ см}$$

П.4. Прямоугольный сосуд разделен на две равные части гладким толстым поршнем, ось которого горизонтальна. Левая часть сосуда длиной L полностью заполнена ртутью. При этом ртуть практически не оказывает давления на верхнюю грань сосуда. В правой части сосуда находится воздух. Пренебрегая тепловым расширением сосуда, поршня и ртути, а также давлением насыщенных паров ртути, найти перемещение поршня при медленном уменьшении абсолютной температуры сосуда с содержимым в $n = 1,5$ раза. Считать, что при конечной температуре ртуть остается жидкой. $x = 0,5(\sqrt{n(n+8)} - 2 - n)L = 0,25(\sqrt{57} - 7)L \approx 0,14L$

П.5. В цилиндре под поршнем в объеме $V_1 = 5\text{ л}$ находится воздух с насыщенными парами воды при температуре $t_1 = 17^\circ\text{C}$. Объем воздуха медленно уменьшили до величины $V_2 = 1\text{ л}$, одновременно увеличив температуру до $t_2 = 100^\circ\text{C}$. Найти относительную влажность воздуха в конечном состоянии. Давление насыщенных паров воды при начальной температуре равно $p_{н1} = 17\text{ мм рт. ст.}$

$$r = \frac{p_2}{p_a} = \frac{p_{н1} V_1 T_2}{p_a V_2 T_1} \approx 14\%$$

П.6. В гладком вертикальном цилиндре под поршнем массой M находится сухой воздух при температуре T_0 . Площадь поперечного сечения поршня равна S , атмосферное давление p_a . В цилиндр впрыснули некоторое количество воды, а затем его медленно нагрели до такой температуры T , при которой испарилась лишь часть воды, а давление ее насыщенных паров стало равным p_n . Во сколько раз при этом изменился объем воздуха под поршнем?

$$\frac{V}{V_0} = \frac{(p_a S + M g) T}{[(p_a - p_n) S + M g] T_0}$$

П.7. В гладком вертикальном цилиндре под поршнем в объеме $V = 6\text{ л}$ находятся частично сжатая пружина и насыщенные пары воды. На поршень медленно насыпали столько песка, что объем пара уменьшился в $n = 3$ раза. Сколько тепла при этом было отведено от цилиндра, если температура в нем оставалась неизменной и равной $t = 100^\circ\text{C}$? Удельная теплота парообразования воды при температуре $t = 100^\circ\text{C}$ равна $r = 2,26\text{ кДж/г}$.

$$\Delta Q = r \Delta m = \frac{r p_n \mu V}{RT} \left(1 - \frac{1}{n}\right) \approx 5,3\text{ кДж}$$

П.8. Найти удельную теплоемкость идеального одноатомного газа, если нагревание осуществляется так, что среднеквадратичная скорость u теплового движения его атомов массой m увеличивается прямо пропорционально давлению p .

$$c = c_{\mu} / \mu = 2k \cdot m$$

П.9. Давление одного моля идеального одноатомного газа изохорически изменили от начального до некоторого значения. Затем изобарически уменьшили объем газа в $n = 6$ раз. После этого газ изохорически перевели в конечное состояние. Зная, что температура газа в конечном состоянии в $k = 1,5$ раза превышает его температуру в начальном состоянии и полное количество теплоты, которым обменялся газ с внешними телами, равно нулю, найти отношение максимального давления газа к минимальному в этом процессе.

$$p_n : p : p_k = 1 : \frac{3(k-1)}{2(1-n^{-1})} : k n = 1 : 0,9 : 9 \quad x = \frac{p_{max}}{p_{min}} = 10$$

П.10. В качестве рабочего вещества теплового двигателя используется один моль идеального газа, состояние которого изменяется так, как показано на pV -диаграмме, изображенной на рис. 41, причем прямые 1-2 и 4-3 параллельны друг другу. Температуры газа по шкале Кельвина в точках 1, 2 и 3 равны T_1, T_2 и T_3 . Найти КПД газа за цикл.

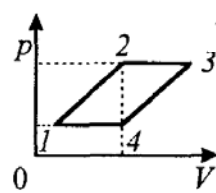


Рис. 41.

$$A = \left(T_1 - T_2 + T_3 - \frac{T_1 T_2}{2T_2 - T_3}\right) R$$

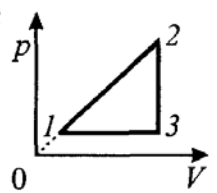


Рис. 42.

П.11. На pV -диаграмме, изображенной на рис. 42, показано изменение состояния одного моля идеального одноатомного газа, используемого в качестве рабочего вещества теплового двигателя. Отношение максимальной абсолютной температуры газа к его минимальной в данном цикле равно $n = 4$. Во сколько раз отличается КПД η этого цикла от максимально возможного при заданном значении n ?

$$x = \frac{\eta_K}{\eta} = \frac{4(\sqrt{n} + 1)^2}{n} = 9.$$

П.12. Какую минимальную мощность должен потреблять мотор морозильника, работающего по циклу Карно, в камере которого поддерживается температура $t_1 = -23^\circ\text{C}$, если в нее через стенки поступает количество теплоты, равное $q = 0,1\text{ МДж}$ за время $\tau = 1\text{ ч}$? Температура радиатора морозильника равна $t_2 = 57^\circ\text{C}$, а КПД мотора равен $\eta_m = 0,8$.

$$N_m = \frac{(t_2 - t_1) q}{(t_1 + 273) \tau \eta_m} \approx 11\text{ Вт}$$

Химический факультет

8. В гладком цилиндре под тяжелым поршнем массой $M = 10\text{ кг}$ и сечением $S = 14\text{ см}^2$ находится идеальный газ. На сколько процентов изменится высота столба газа в цилиндре, если его поместить в лифт, движущийся с ускорением $a = 4\text{ м/с}^2$, направленным вертикально вниз? Считать, что температура газа в цилиндре не изменяется, атмосферное давление равно $p_0 = 10^5\text{ Па}$, а ускорение свободного падения равно 10 м/с^2 .

$$\frac{M a}{p_0 S + M(g - a)} \cdot 100\% = 20\%$$

9. Рабочим телом тепловой машины является один моль идеального одноатомного газа. Рабочий цикл машины, показанный на рис. 8, состоит из адиабатного расширения 1-2, изотермического сжатия 2-3 и изохорного процесса 3-1. При этом ее КПД равен $\eta = 20\%$, а работа, совершаемая над газом в процессе изотермического сжатия, равна $A = 25\text{ Дж}$. Найти разность ΔT максимальной и минимальной температур газа в цикле. Универсальную газовую постоянную считать равной $\Delta T = \frac{2A}{3R(1-\eta)} \approx 2,5\text{ К}$
 $R = 8,3\text{ Дж/(моль}\cdot\text{K)}$.

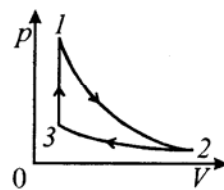


Рис. 8.

10. В двух баллонах объемами $V_1 = 25\text{ л}$ и $V_2 = 50\text{ л}$ находится влажный воздух при одинаковой температуре. Относительная влажность воздуха в первом баллоне $\phi_1 = 40\%$, а во втором - $\phi_2 = 20\%$. Какой будет относительная влажность, если баллоны соединить трубкой и дождаться установления равновесия? Температуру считать постоянной $\phi = \frac{p}{p_n} = \frac{\phi_1 V_1 + \phi_2 V_2}{V_1 + V_2} \approx 27\%$

Факультет вычислительной математики и кибернетики

П.1. Закрытый с обоих концов горизонтальный цилиндр заполнен идеальным газом при температуре $t = 27^\circ\text{C}$ и разделен подвижным теплонепроницаемым поршнем на две равные части длиной $l = 50\text{ см}$ каждая. На какую величину Δl нужно повысить температуру газа в одной половине цилиндра, чтобы поршень сместился на расстояние $l = 20\text{ см}$ при неизменной температуре газа во второй половине цилиндра?

$$\Delta t = \frac{2lT}{L-l} \approx 400\text{ К}$$


Рис. 16.

П.3. В закрепленном под углом $\alpha = 60^\circ$ к горизонту цилиндре (см. рис. 16) может без трения двигаться поршень массой $M = 10\text{ кг}$ и площадью $S = 50\text{ см}^2$. Под поршнем находится одноатомный идеальный газ. Газ нагревают так, что поршень перемещается на расстояние $l = 5\text{ см}$. Какое количество теплоты Q было сообщено газу? Атмосферное давление $p_0 = 10^5\text{ Па}$, ускорение свободного падения принять равным $g = 10\text{ м/с}^2$.

$$Q = 2,5l(p_0 S + M g \sin \alpha) \approx 74\text{ Дж}$$