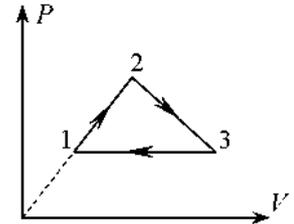


Термодинамика и молекулярная физика

1. По магистральному газопроводу с диаметром труб 1020 мм подается смесь горючих газов под давлением 10 атмосфер. Скорость движения газов в трубе 10 м/с, температура 17 °С, средняя молярная масса смеси 44 г/моль. Какая масса газа перекачивается по газопроводу за 1 год?

2. В вакуумной теплоизолированной камере находятся два масляных пузыря одинакового размера, один из которых наполнен гелием, а другой водородом до давления P_0 каждый. Найти отношение давления P , установившегося в камере, после того, как пузыри лопнули, к начальному давлению газа в пузырях. Отношение температуры гелия T_1 к температуре водорода T_2 составляет $T_1/T_2 = 0,6$. Молярная теплоемкость гелия при постоянном объеме $C_{v1} = (3/2)R$, водорода $C_{v2} = (5/2)R$, R — газовая постоянная. Объем пузыря в 160 раз меньше объема камеры. Изменением поверхностной энергии пленок при разрыве пузырей пренебречь.

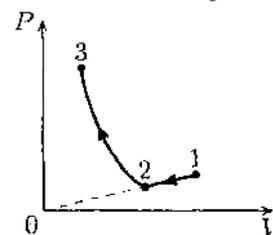
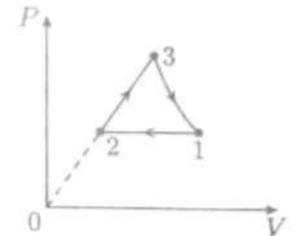
3. На рисунке показан цикл, происходящий с ν молями гелия. На участке 3-1 над газом совершили работу A ($A > 0$), и его температура уменьшилась в 4 раза. Температуры в состояниях 2 и 3 равны. Точки 1 и 2 на диаграмме PV лежат на прямой, проходящей через начало координат. Определить температуру T_1 в точке 1. Определить работу газа за цикл.



4. По некоторым оценкам масса озона (O_3) в атмосфере Венеры составляет $\alpha = 10^{15}$ % от массы всей атмосферы. Какой толщины слой образовал бы озон, если бы он собрался вблизи поверхности планеты и имел бы при этом температуру и давление, равные температуре и давлению атмосферы у поверхности Венеры? Ускорение свободного падения у поверхности Венеры $g = 8,2$ м/с², температура атмосферы $T = 800$ К.

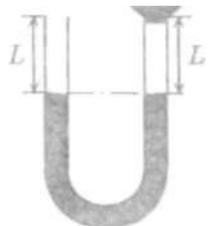
5. В сосуде находится жидкость и ее насыщенный пар. В процессе изотермического расширения объем, занимаемый паром, увеличивается в $\beta = 3$ раза, а давление пара уменьшается в $\alpha = 2$ раза. Найти отношение массы жидкости m_2 к массе пара m_1 , которые первоначально содержались в сосуде.

6. Газообразный гелий находится в цилиндре под подвижным поршнем. Газ охлаждают при постоянном давлении, переводя его из состояния 1 в состояние 2 (см. рис.). При этом от газа отводится количество теплоты Q ($Q > 0$). Затем газ расширяется в процессе 2-3, когда его давление P прямо пропорционально объему V , совершая работу A_{23} . Наконец, газ расширяется в адиабатическом процессе 3-1. Найти работу A_{31} , совершенную газом в процессе адиабатического расширения.



7. Моль гелия сжимают из начального состояния 1 в конечное состояние 3 в двух процессах. Сначала сжатие идет в процессе 1-2, когда давление гелия P прямо пропорционально его объему V . Затем из состояния 2 газ сжимают в процессе 2-3 с постоянной теплоемкостью так, что тепло подводится к газу. В конечном состоянии 3 температура гелия равна его начальной температуре в состоянии 1. Найти теплоемкость газа в процессе 2-3, если в процессе сжатия 1-2 над газом совершена работа A ($A > 0$), а в процессе сжатия 2-3 над газом совершена работа $2A$.

8. В вертикально расположенной трубке постоянного внутреннего сечения и длиной $3L = 1080$ мм с открытым в атмосферу верхним концом, столбиком ртути длиной $L = 360$ мм заперт слой воздуха тоже длиной L . Какой длины столб ртути останется в трубке, если ее перевернуть открытым концом вниз? Внешнее давление $P_0 = 774$ мм рт. ст.



9. U-образная тонкая трубка постоянного внутреннего сечения с вертикально расположенными коленами заполняется ртутью так, что в каждом из открытых колен остается слой воздуха длиной $L = 320$ мм (см. рис.). За тем правое колено закрывается пробкой. Какой максимальной длины слой ртути можно долить в левое колено, чтобы она не выливалась из трубки? Внешнее давление $P_0 = 720$ мм. рт. ст.



10. Имеется Г-образная тонкая трубка постоянного внутреннего сечения и общей длиной $3L = 1260$ мм. Между слоем воздуха длиной $L = 420$ мм и атмосферой находится слой ртути той же длины L (см. рис.). Какой длины слой ртути останется в трубке, если вертикальное колено повернуть на 180°, расположив его открытым концом вниз? Внешнее давление $P_0 = 735$ мм рт. ст.

11. В вертикально расположенной тонкой трубке длиной $3L = 840$ мм с открытым в атмосферу верхним концом, столбиком ртути длиной $L = 280$ мм заперт слой воздуха длиной L . Какой максимальной длины слой ртути можно долить сверху в трубку, чтобы она из трубки не выливалась? Внешнее давление $P_0 = 770$ мм рт. ст.

12. Резиновый шарик массой $m = 2$ г надувается гелием при температуре $t = 17$ °С. По достижении в шарике давления, равного 1,1 атм, он лопается. Какая масса гелия была в шарике, если перед тем, как лопнуть, он имел сферическую форму? Известно, что резиновая пленка рвется при толщине $\Delta = 2 \cdot 10^{-3}$ см. Плотность резины $\rho = 1,1$ г/см³, молярная масса гелия $\mu = 4$ г/моль, универсальная газовая постоянная $R = 8,31$ Дж/(моль·К).

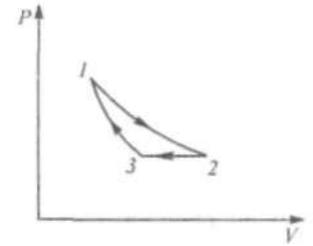
13. В кастрюлю-скороварку залили небольшое количество воды при температуре $t_0 = 20$ °С, причем занимаемый водой объем намного меньше объема кастрюли. После этого ее герметично закрыли крышкой и медленно нагрели. Когда температура в кастрюле достигла $t_1 = 115$ °С, а давление трех атмосфер, вся вода испарилась. Оценить по этим данным, какую часть объема кастрюли занимала вода до начала нагрева. Давлением водяных паров в кастрюле при 20 °С можно пренебречь. Универсальная газовая постоянная $R = 8,31$ Дж/(моль·К), молярная масса воды $\mu = 18$ г/моль, плотность воды $\rho = 1$ г/см³.

14. Моль гелия сжимают в адиабатическом процессе так, что относительные изменения давления $\Delta P/P$, объема $\Delta V/V$ и температуры $\Delta T/T$ газа малы. Найти относительное изменение давления газа, если над ним была совершена работа $A = 15$ Дж. Начальная температура газа $T = 300$ К.

15. Моль гелия расширяется в процессе $P^2V = \text{const}$ так, что изменение температуры газа составило $\Delta T = 0,3$ градуса. Какую по величине работу совершил газ, если относительные изменения давления $\Delta P/P$, объема $\Delta V/V$ и температуры $\Delta T/T$ газа малы?

16. Температура гелия уменьшается в $\kappa = 3$ раза в процессе $PV^\kappa = \text{const}$ (P — давление газа, V — его объем). При этом его внутренняя энергия изменилась на величину, равную 50 Дж. Найти: 1) максимальное давление газа P_{max} , 2) величину объема газа $V_{\text{к}}$ в конечном состоянии. Минимальное давление газа в этом процессе составило $P_{\text{min}} = 10^5$ Па.

17. Моль гелия расширяется в изотермическом процессе 1-2, совершая работу величиной A_{12} . Затем газ охлаждается в изобарическом процессе 2-3 и, наконец, в адиабатическом процессе 3-1 возвращается в исходное состояние. Какую работу совершил газ в замкнутом цикле, если разность максимальной и минимальной температур газа в нем составила величину ΔT градусов?



18. Летним днем перед грозой плотность влажного воздуха (масса пара и воздуха в м^3) $\rho = 1140 \text{ г/м}^3$ при давлении $P = 100 \text{ кПа}$ и температуре 30°C . Найти отношение парциального давления водяного пара, содержащегося в воздухе, к парциальному давлению воздуха. Принять, что молярные массы воздуха и пара $\mu_{\text{в}} = 29 \text{ г/моль}$, $\mu_{\text{п}} = 18 \text{ г/моль}$, газовая постоянная $R = 8,31 \text{ Дж/(моль}\cdot\text{К)}$

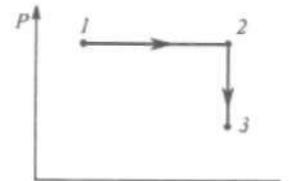
19. После теплого летнего дождя относительная влажность воздуха у поверхности земли достигла 100%. При этом плотность влажного воздуха (масса пара и воздуха в 1 м^3) оказалась равной $\rho = 1171 \text{ г/м}^3$, его давление $P = 100 \text{ кПа}$ и температура 22°C . Найти по этим данным давление насыщенного водяного пара $P_{\text{нас}}$ при температуре 22°C . Принять, что молярные массы воздуха и пара $\mu_{\text{в}} = 29 \text{ г/моль}$, $\mu_{\text{п}} = 18 \text{ г/моль}$, газовая постоянная $R = 8,31 \text{ Дж/(моль}\cdot\text{К)}$

20. В парной бани относительная влажность воздуха составляла $a = 50\%$ при температуре 100°C . После того, как температура уменьшилась до 97°C и пар “осел”, относительная влажность воздуха стала равной $a_2 = 45\%$. Какая масса воды выделилась из влажного воздуха парной, если ее объем $V = 30 \text{ м}^3$? Известно, что при температуре 97°C давление насыщенного пара на 80 мм рт. ст. меньше, чем при 100°C .

21. Воздух состоит в основном из кислорода и азота. Концентрация молекул кислорода при этом в $\alpha = 4$ раза меньше концентрации молекул азота. Чему равна суммарная кинетическая энергия вращения всех молекул кислорода, который содержится в воздухе комнаты объемом $V = 60 \text{ м}^3$? Атмосферное давление $P = 10^5$ Па. Указание: внутренняя энергия моля двухатомного газа равна $5/2 RT$ (R — газовая постоянная, T — температура), она возрастает по сравнению с энергией одноатомного газа за счет кинетической энергии вращения молекул.

22. В горизонтально расположенном теплопроводящем цилиндре под подвижным поршнем заперт воздух при атмосферном давлении и комнатной температуре. В объем под поршнем впрыснули $m = 5 \text{ г}$ легко испаряющейся жидкости. После того, как жидкость испарилась, оказалось, что объем, занятый воздухом и парами жидкости, увеличился на $\Delta V = 0,6 \text{ л}$. Найти по этим данным молярную массу жидкости. Наружное давление равно атмосферному, газовая постоянная $R = 8,31 \text{ Дж/(моль}\cdot\text{К)}$, $t = 27^\circ\text{C}$. Объемом, занимаемым жидкостью в начале опыта, можно пренебречь.

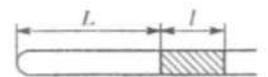
23. Легкая подвижная перегородка делит герметичный теплопроводящий сосуд на две неравные части, в которых находится воздух при атмосферном давлении и комнатной температуре. В меньшую часть сосуда впрыскивается легко испаряющаяся жидкость, давление насыщенного пара которой при комнатной температуре равно 3,5 атм. Спустя некоторое время перегородка перестала двигаться, а жидкость почти вся испарилась. Объем части сосуда, в которой находятся воздух и пары, увеличился при этом вдвое по сравнению с первоначальным. Найти, какую часть объема сосуда составляла вначале его меньшая часть? Объемом, занимаемым жидкостью в начале и конце опыта, можно пренебречь.



24. Моль одноатомного идеального газа переводится из состояния 1 в состояние 3 путем изобарического нагрева 1-2 и изохорического охлаждения 2-3. На участке 1-2 газ совершает работу $A = 1250 \text{ Дж}$. В процессе всего перехода 1-2-3 газ получает суммарное (алгебраическая сумма) количество теплоты $Q = 750 \text{ Дж}$. Найти разность температур T_2 и T_3 .

25. В процессе расширения к одноатомному идеальному газу было подведено количество теплоты, в 4 раза превышающее величину его внутренней энергии в начальном состоянии. Во сколько раз увеличился объем газа, если в процессе расширения он изменялся прямо пропорционально давлению ($V \sim P^{-1}$)? Под внутренней энергией газа понимается сумма кинетических энергий всех молекул.

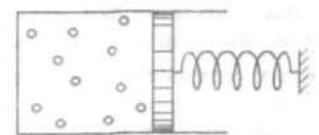
26. В горизонтально расположенной трубке столбиком ртути длиной $l = 12 \text{ см}$ заперт слой воздуха толщиной $L = 35 \text{ см}$ (см. рис.). Если трубку повернуть один раз открытым концом вниз, а другой раз вверх, то столбик ртути смещается. Разность величин этих смещений от начального горизонтального положения равна 2 см. Найдите величину наружного давления (в мм ртутного столба).



27. 300 г пропана (C_3H_8) были закачаны при температуре 17°C и давлении 16 атмосфер в переносной газовой баллон объемом 1 литр. Сколько пропана в газообразном состоянии содержится в этом баллоне, если при указанных выше давлении и температуре пропан превращается в жидкость с плотностью 440 кг/м^3 ?

28. Вода и водяной пар находятся в цилиндре под поршнем при температуре 110°C . Вода занимает при этом 0,1 % объема цилиндра. При медленном изотермическом увеличении объема вода начинает испаряться. К моменту, когда она вся испарилась, пар совершил работу величиной $A = 177 \text{ Дж}$, а объем, который он занимал, увеличился на $\Delta V = 1,25 \text{ л}$. Найти давление, при котором производился опыт. Сколько воды и пара было в цилиндре в начальном состоянии?

29. В цилиндре поршнем с пружиной (см. рис.) заперты водяной пар и вода, масса которой $M = 1 \text{ г}$. Температура в цилиндре поддерживается постоянной и равной 100°C . После того, как из цилиндра выпустили часть пара массой $m = 7 \text{ г}$, поршень стал двигаться. После установления равновесия объем содержимого в цилиндре под поршнем оказался в 2 раза меньше первоначального. Какая масса пара была в цилиндре и какой объем он занимал в начале опыта? Внешнее давление отсутствует, недеформированная пружина соответствует положению поршня у дна цилиндра, трением между поршнем и стенками цилиндра пренебречь.



30. Чему равна масса m азота, который содержится в воздухе комнаты объема $V = 75 \text{ м}^3$? Средняя квадратичная скорость молекул азота $v = 500 \text{ м/с}$. Считать, что воздух состоит из азота и кислорода. Концентрация молекул азота в $\beta = 4$ раза больше концентрации молекул кислорода. Атмосферное давление $P = 10^5 \text{ Па}$.