

*Индивидуальное*

*задание N 7*

1.1. Два сосуда одинакового объема содержат кислород. В одном сосуде давление  $P_1 = 2$  МПа и температура  $T_1 = 800$  К, в другом  $P_2 = 2,5$  МПа,  $T_2 = 200$  К. Сосуды соединили трубкой и охладили находящийся в них кислород до температуры  $T = 200$  К. Определить установившееся в сосудах давление  $P$ .

2.1. Найти среднюю кинетическую энергию  $\epsilon_k$  вращательного движения одной молекулы кислорода при температуре  $T = 350$  К, а также кинетическую энергию  $E$  вращательного движения всех молекул кислорода массой  $m = 4$  г.

3.1. Пылинки, взвешенные в воздухе, имеют массу  $m = 10^{-18}$  г. Во сколько раз уменьшится их концентрация  $n$  при увеличении высоты на  $\Delta h = 10$  м? Температура воздуха  $T = 300$  К.

4.1. Определить удельные теплоемкости  $C_p$  и  $C_v$  газообразной окиси углерода  $CO$ .

1.2. В баллоне объемом  $V = 10$  л находится гелий под давлением  $P_1 = 1$  МПа и при температуре  $T_1 = 300$  К. После того, как из баллона было взято  $m = 10$  г гелия, температура в баллоне понизилась до  $T_2 = 290$  К. Определить давление  $P_2$  гелия, оставшегося в баллоне.

2.2. Определить суммарную кинетическую энергию  $E_k$  поступательного движения всех молекул газа, находящегося в сосуде объемом  $V = 3$  л под давлением  $P = 540$  кПа.

3.2. Одинаковые частицы массой  $m = 10^{-12}$  г каждая распределены в однородном гравитационном поле напряженностью  $s = 0,2$  мкН/кг. Определить отношение  $n_1/n_2$  концентраций частиц, находившихся на эквипотенциальных уровнях, отстоящих друг от друга на  $\Delta z = 10$  м. Температура  $T$  во всех слоях считается одинаковой и равной 290 К.

4.2. Смесь газа состоит из кислорода ( $O_2$ ) с массовой долей  $w = 85\%$  и озона ( $O_3$ ) с массовой долей  $w = 15\%$ . Определить удельные теплоемкости  $C_v$  и  $C_p$  этой газовой смеси.

1.3. Баллон содержит  $m_1 = 80$  г кислорода и  $m_2 = 320$  г аргона. Давление смеси  $P = 1$  МПа, температура  $T = 300$  К. Принимая данные газы за идеальные, определить объем  $V$  баллона.

2.3. Определить среднюю кинетическую энергию  $\langle \epsilon_{\hat{e}} \rangle$  одной молекулы водяного пара при температуре  $T = 500$  К.

3.3. На сколько уменьшится атмосферное давление  $P = 100$  кПа при подъеме наблюдателя над поверхностью Земли на высоту  $h = 100$  м? Считать, что температура воздуха равна 290 К и не изменяется с высотой.

4.3. Газовая смесь состоит из азота массой  $m_1 = 31$  кг и водяного пара массой  $m_2 = 1$  кг. Принимая эти газы как идеальные, определить удельные теплоемкости  $C_p$  и  $C_v$  газовой смеси.

1.4. Один баллон объемом  $V_1 = 10$  л содержит кислород под давлением  $P_1 = 1,5$  МПа, другой баллон объемом  $V_2 = 22$  л содержит азот под давлением  $P_2 = 0,6$  МПа. Оба баллона были соединены между собой и оба газа смешались, образовав однородную смесь (без изменения температуры). Найти парциальные давления  $P'_1$  и  $P'_2$  обоих газов в смеси и полное давление  $P$  смеси.

2.4. Определить среднюю квадратичную скорость  $\langle v_{\text{кв}} \rangle$  молекулы газа, заключенного в сосуде объемом  $V = 2$  л под давлением  $P = 200$  кПа. Масса газа  $m = 0,3$  г.

3.4. На какой высоте  $h$  над поверхностью Земли атмосферное давление вдвое меньше, чем на её поверхности? Считать, что температура  $T$  воздуха равна 290 К и не изменяется с высотой.

4.4. Молекула газа состоит из двух атомов; разность удельных теплоемкостей газа при постоянном давлении и постоянном объеме равна 260 Дж/кг К. Найти молярную массу газа  $M$  и его удельные теплоемкости  $C_p$  и  $C_v$ .

1.5. Смесь водорода и азота общей массой  $m = 290$  г при температуре  $T = 600$  К и давлении  $P = 2,46$  МПа занимает объем  $V = 30$  л. Определить массу  $m$  водорода и массу  $m$  азота.

2.5. При какой температуре средняя кинетическая энергия поступательного движения молекулы газа равна  $4,14 \cdot 10^{-21}$  Дж?

3.5. Барометр в кабине летящего вертолета показывает давление  $P=90$  кПа. На какой высоте  $h$  летит вертолет, если на взлетной площадке барометр показывал давление  $P_0=100$  кПа? Считать, что температура  $T$  воздуха равна  $290$  К и не изменяется с высотой.

4.5. Водород занимает объём  $V=10$  м<sup>3</sup> при давлении  $P_1=0,1$  МПа. Газ нагрели при постоянном объёме до давления  $P_2=0,3$  МПа. Определить изменение  $\Delta U$  внутренней энергии газа, работу  $A$ , совершаемую газом, и теплоту  $Q$ , сообщенную газу.

1.6. В баллоне объёмом  $V=22,4$  л находится водород при нормальных условиях. После того, как в баллон было дополнительно введено некоторое количество гелия, давление в баллоне возросло до  $P=0,25$  МПа, а температура не изменилась. Определить массу гелия, введенного в баллон.

2.6. Определить концентрацию  $n$  молекул идеального газа при температуре  $T=300$  К и давлении  $P=1$  МПа.

3.6. Найти изменение высоты  $\Delta h$ , соответствующее изменению давления на  $\Delta p=100$  Па, в двух случаях: 1) вблизи поверхности Земли, где температура  $T_1=290$  К, давление  $P_1=100$  кПа; 2) на некоторой высоте, где температура  $T_2=220$  К, давление  $P_2=25$  кПа.

4.6. Кислород, массой  $1$  кг, при неизменном давлении  $P=80$  кПа нагревается. Его объём увеличивается от  $V_1=1$  м до  $V_2=3$  м. Определить изменение  $\Delta U$  внутренней энергии кислорода, работу  $A$ , совершаемую им при расширении, а также теплоту  $Q$ , сообщенную газу.

1.7. Смесь кислорода и азота находится в сосуде под давлением  $P=1,2$  МПа. Определить парциальные давления  $P_1'$  и  $P_2'$  газов, если массовая доля  $w$  кислорода в смеси равна  $20\%$ .

2.7. Определить давление  $P$  идеального газа при двух значениях температуры газа: 1)  $T=3$  К, 2)  $T=1$  кК. Принять концентрацию  $n$  молекул газа равной  $\sim 10^{19}$  см<sup>-3</sup>.

3.7. Барометр в кабине летящего самолета все время показывает одинаковое давление  $P=80$  кПа, благодаря чему летчик считает высоту  $h$  полета неизменной. Однако температура воздуха изменилась на  $\Delta T=1$  К. Какую ошибку  $\Delta h$  в определении высоты допустил летчик? Считать, что температура не зависит от высоты и что у поверхности Земли давление  $P_0=100$  кПа.

4.7. В цилиндре под поршнем находится азот, имеющий массу  $m=0,6$  кг и занимающий объём  $V_1=1,2$  м при температуре  $T_1=560$  К. В результате нагревания газ расширяется и занимает объём  $V_2=4,2$  м, причем температура осталась неизменной. Найти изменение  $\Delta U$  внутренней энергии газа, совершенную им работу  $A$  и теплоту, сообщенную газу.

1.8. В сосуде объёмом  $V=10$  л при температуре  $T=450$  К находится смесь азота массой  $m_1=5$  г и водорода массой  $m_2=2$  г. Определить давление  $P$  смеси.

2.8. Сколько молекул газа содержится в баллоне вместимостью  $V=30$  л при температуре  $T=300$  К и давлении  $P=5$  МПа?

3.8. Ротор центрифуги вращается с угловой скоростью  $\omega$ . Используя функцию распределения Больцмана, установить распределение концентрации  $n$  частиц массой  $m$ , находящихся в роторе центрифуги, как функцию расстояния  $r$  от оси вращения.

4.8. В сосуде объёмом  $V=6$  л находится при нормальных условиях двухатомный газ. Определить теплоемкость  $C_v$  этого газа при постоянном объёме.

1.9. Смесь азота с массовой долей  $w_1=87,5\%$  и водорода с массовой долей  $w_2=12,5\%$  находится в сосуде объёмом  $V=20$  л при температуре  $T=560$  К. Определить давление  $P$  смеси, если масса  $m$  смеси равна  $8$  г.

2.9. Давление  $P$  газа равно 1 мПа, концентрация  $n$  его молекул равна  $10^{10} \text{ см}^{-3}$ . Определить: 1) температуру  $T$  газа; 2) среднюю кинетическую энергию  $\langle \epsilon_k \rangle$  поступательного движения молекул газа.

3.9. Зная функцию распределения молекул по скоростям, вывести формулу наиболее вероятной скорости  $v_v$ .

4.9. Вычислить удельные теплоемкости газа, зная, что его молярная масса  $M=4 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$  и отношение теплоемкостей  $C_p/C_v = 1,67$ .

1.10. В баллоне содержится газ при температуре  $t=100 \text{ C}$ . До какой температуры  $t$  нужно нагреть газ, чтобы его давление увеличилось в два раза?

2.10. Определить среднее значение  $\langle \epsilon_n \rangle$  полной кинетической энергии одной молекулы гелия, кислорода и водяного пара при температуре  $T=400 \text{ K}$ .

3.10. Зная функцию распределения молекул по скоростям, определить среднюю арифметическую скорость  $\langle V \rangle$  молекул.

4.10. Трехатомный газ под давлением  $P=240 \text{ кПа}$  и температуре  $t=20^\circ \text{ C}$  занимает объем  $V=10 \text{ л}$ . Определить теплоемкость  $C_p$  этого газа при постоянном давлении.

1.11. При нагревании идеального газа на  $T=1 \text{ K}$  при постоянном давлении объем его увеличился на  $1/350$  первоначального объема. Найти начальную температуру  $T$  газа.

2.11. Определить кинетическую энергию  $\epsilon_1$ , приходящуюся в среднем на одну степень свободы молекулы азота, при температуре  $T=1 \text{ кК}$ , а также среднюю кинетическую энергию  $\langle \epsilon_{\text{пост}} \rangle$  поступательного движения,  $\langle \epsilon_{\text{вр}} \rangle$  вращательного движения и среднее значение полной кинетической энергии  $\langle \epsilon \rangle$  молекулы.

3.11. По функции распределения молекул по скоростям определить среднюю квадратичную скорость  $\langle v_{\text{кв}} \rangle$ .

4.11. При адиабатическом сжатии давление воздуха было увеличено от  $P_1=50 \text{ кПа}$  до  $P_2=0,5 \text{ МПа}$ . Затем при неизменном объеме температура воздуха была понижена до первоначальной. Определить давление  $P_3$  газа в конце процесса.

1.12. Полый шар объемом  $V=10 \text{ см}^3$ , заполненный воздухом при температуре  $T_1=573 \text{ K}$ , соединили трубкой с чашкой, заполненной ртутью. Определить массу  $m$  ртути, вошедшей в шар при остывании воздуха в нем до температуры  $T_2=293 \text{ K}$ . Изменением объема шара пренебречь.

2.12. Для получения высокого вакуума в стеклянном сосуде необходимо прогревать его при откачке с целью удалить адсорбированные газы. Определить, на сколько повысится давление в сферическом сосуде радиусом  $R=10 \text{ см}$ , если все адсорбированные молекулы перейдут со стенок в сосуд. Слой молекул на стенках считать мономолекулярным, сечение  $s$  одной молекулы равно  $10^{-15} \text{ см}^2$ . Температура  $T$ , при которой производится откачка, равна  $600 \text{ K}$ .

3.12. Водород находится при нормальных условиях и занимает объем  $V=1 \text{ см}$ . Определить число  $N$  молекул в этом объеме, обладающих скоростями, меньшими некоторого значения  $v_{\text{max}}=1 \text{ м/с}$ .

4.12. Кислород массой  $m=200 \text{ г}$  занимает объем  $V_1=100 \text{ л}$  и находится под давлением  $P_1=200 \text{ кПа}$ . При нагревании газ расширяется при постоянном давлении до объема  $V_2=300 \text{ л}$ , а затем его давление возросло до  $P_2=500 \text{ кПа}$  при неизменном объеме. Найти изменение внутренней энергии  $\Delta U$  газа, совершенную им работу  $A$  и теплоту  $Q$ , переданную газу.

1.13. Баллон объёмом  $V=12$  л содержит углекислый газ. Давление  $P$  газа равно 1 МПа, температура  $T=300$  К. Определить массу  $m$  газа в баллоне.

2.13. Найти среднюю квадратичную  $\langle v_{\text{кв}} \rangle$ , среднюю арифметическую  $\langle v \rangle$  и наиболее вероятную  $v_{\text{в}}$  скорости молекул водорода. Вычисления выполнить для трех значений температуры: 1)  $T=20$  К, 2)  $T=300$  К, 3)  $T=5$  кК.

3.13. Найти выражение средней кинетической энергии  $\langle \epsilon_n \rangle$  поступательного движения молекул. Функцию распределения молекул по энергиям считать известной.

4.13. Смешали воду массой  $m_1=5$  кг при температуре  $T_1=280$  К с водой массой  $m_2=8$  кг при температуре  $T_2=350$  К. Найти изменение  $\Delta S$  энтропии, происходящее при смешивании.

1.14. Какой объём  $V$  занимает идеальный газ, содержащий количество водорода = 1 кмоль при давлении  $P=1$  МПа и температуре  $T=400$  К?

2.14. При какой температуре  $T$  средняя квадратичная скорость атомов гелия станет равной второй космической скорости  $v_2=11,2$  км/с?

2.14. При какой температуре  $T$  средняя квадратичная скорость атомов гелия станет равной второй космической скорости  $v_2=11,2$  км/с?

3.14. Определить долю молекул идеального газа, энергии которых отличаются от средней энергии  $\langle \epsilon_n \rangle$  поступательного движения молекул при той же температуре не более чем на 1%.

4.14. В результате изохорического нагревания водорода массой  $m=1$  г давление  $P$  газа увеличилось в два раза. Определить изменение  $\Delta S$  энтропии газа.

1.15. Котел объёмом  $V=2$  дм<sup>3</sup> содержит перегретый водяной пар массой  $m=10$  кг при температуре  $T=500$  К. Определить давление  $P$  пара в котле.

2.15. При какой температуре  $T$  молекулы кислорода имеют такую же среднюю скорость  $\langle v_{\text{кв}} \rangle$ , как молекулы водорода при температуре  $T=100$  К?

3.15. Вывести формулу, определяющую долю  $w$  молекул, энергия  $\epsilon$  которых много меньше  $kT$ . Функцию распределения молекул по энергиям считать известной.

4.15. Найти изменение  $\Delta S$  энтропии при изобарическом расширении азота массой  $m=4$  г от объёма  $V_1=5$  л до объёма  $V_2=9$  л.

1.16. В баллоне объёмом  $V=25$  л находится водород при температуре  $T=290$  К. После того, как часть водорода израсходовали, давление в баллоне понизилось на  $\Delta P=0,4$  МПа. Определить массу  $m$  израсходованного водорода.

2.16. Колба вместимостью  $V=4$  л содержит некоторый газ массой  $m=0,6$  г под давлением  $P=200$  кПа. Определить среднюю квадратичную скорость  $\langle v_{\text{кв}} \rangle$  молекул газа.

3.16. Определить долю  $w$  молекул, энергия которых заключена в пределах от  $\epsilon_1=0$  до  $\epsilon_2=0,01$  кТ.

4.16. Кусок льда массой  $m=200$  г, взятый при температуре  $t_1=-10^\circ$  С, был нагрет до температуры  $t_2=0^\circ$  С и расплавлен, после чего образовавшаяся вода была нагрета до температуры  $t_3=10^\circ$  С. Определить изменение  $\Delta S$  энтропии в ходе указанных процессов.

1.17. Какой объём  $V$  занимает смесь газов: азота массой  $m_1=1$  кг и гелия массой  $m_2=1$  кг - при нормальных условиях?

2.17. Смесь гелия и аргона находится при  $T=1,2$  кК. Определить среднюю квадратичную скорость  $\langle v_{\text{кв}} \rangle$  и среднюю кинетическую энергию атомов гелия и аргона.

3.17. Найти относительное число  $w$  молекул идеального газа, кинетические энергии которых отличаются от наиболее вероятного значения  $\epsilon_v$  энергии не более чем на 1 %.

4.17. Кислород массой  $m=2$  кг увеличил свой объём в  $n$  раз один раз изотермически, другой - адиабатически. Найти изменения энтропии в каждом из указанных процессов.

1.18. В баллонах объёмом  $V_1=20$  л и  $V_2=44$  л содержится газ. Давление в первом баллоне  $P_1=2,4$  МПа, во втором  $P_2=1,6$  МПа. Определить общее давление  $P$  и парциальные  $P_1'$  и  $P_2'$  после соединения баллонов, если температура газа осталась прежней.

2.18. Взвешенные в воздухе мельчайшие пылинки движутся так, как если бы они были очень крупными молекулами. Определить среднюю квадратичную скорость  $\langle v_{\text{кв}} \rangle$  пылинки массой  $m=10$  г, если температура  $T$  воздуха равна 300 К.

3.18. Определить относительное число  $w$  молекул идеального газа, кинетический энергии которых заключены в пределах от нуля до значения, равного  $0,01\epsilon_v$ . ( $\epsilon_v$  - наиболее вероятное значение кинетической энергии молекул).

4.18 Водород массой  $m=100$  г был изобарически нагрет так, что его объём увеличился в  $n=3$  раза, затем водород был изохорически охлажден так, что давление его уменьшилось в  $n=3$  раза. Найти изменение  $\Delta S$  энтропии в ходе указанных процессов.

1.19. В сосуде объёмом  $V=0,01$  м содержится смесь газов: азот массой  $m_1=7$  г и водорода массой  $m_2=1$  г - при температуре  $T=280$  К. Определить давление смеси газов.

2.19. Во сколько раз средняя квадратичная скорость  $\langle v_{\text{кв}} \rangle$  молекул кислорода больше средней квадратичной скорости пылинки массой  $10^{-8}$  г, находящейся среди молекул кислорода?

3.19. Какова вероятность  $W$  того, что данная молекула идеального газа имеет скорость, отличную от  $1/2v_v$  не более, чем на 1%?

4.19. Объём водорода при изотермическом расширении увеличился в  $n=3$  раза. Определить работу  $A$ , совершенную газом, и теплоту  $Q$ , полученную им при этом. Масса  $m$  водорода равна 200 г.

1.20. Паровая смесь, состоящая из кислорода и азота, находится в баллоне под давлением  $P=1$  МПа. Определить парциальные давления  $P_1$  кислорода и  $P_2$  азота, если массовая доля  $w$  кислорода в смеси равна 0,2.

2.20. Определить среднюю арифметическую скорость  $\langle v \rangle$  молекул газа, если их средняя квадратичная скорость  $\langle v_{\text{кв}} \rangle = 1$  км/с.

3.20. Найти число молекул гелия в  $1\text{см}^3$ , скорости которых лежат в интервале от 2,39 км/с до 2,41 км/с. Температура гелия  $690^\circ\text{C}$ , его плотность 2,16 кг/м.

4.20. Водород массой  $m=40$  г, имевший температуру  $T=300$  К, адиабатически расширился, увеличив объём в  $n=3$  раза. Затем при изотермическом сжатии объём газа уменьшился в  $n=2$  раза. Определить полную работу  $A$ , совершенную газом, и конечную температуру  $T$  газа.

1.21. Баллон объёмом  $V=30$  л содержит смесь водорода и гелия при температуре  $T=300$  К и давлении  $P=828$  кПа. Масса  $m$  смеси равна 24 г. Определить массу  $m_1$  водорода и массу  $m_2$  гелия.

2.21. Молекулярный пучок падает на стенку и отражается от неё по закону абсолютно упругого удара. Найти давление  $P$  молекулярного пучка на стенку, если скорость молекул составляет угол  $\alpha$  с нормалью к стенке. Известны масса  $m$  и скорость  $v$

молекул, а также число молекул в единице объёма  $n$ . Рассмотреть случаи: 1) стенка неподвижна, 2) стенка движется в направлении своей нормали со скоростью.

3.21. В баллоне, объём которого 10,6 л, находится водород. При температуре  $0^\circ\text{C}$  давление водорода 100 кПа. Найти число молекул водорода, скорости которых лежат в интервале от 1,19 км/с до 1,21 км/с при: а)  $0^\circ\text{C}$ ; б) 300 К.

4.21. Азот массой  $m=0,1$  кг был изобарически нагрет от температуры  $T_1=200$  К до температуры  $T_2=400$  К. Определить работу  $A$ , совершенную газом, полученную им теплоту  $Q$  и изменение  $\Delta U$  внутренней энергии азота.

1.22. В сосуде объёмом  $V=15$  л находится смесь азота и водорода при температуре  $t=23^\circ\text{C}$  и давлении  $P=200$  кПа. Определить массу смеси и её компонентов, если массовая доля  $w$  азота в смеси равна 0,7.

2.22. Найти отношение средней квадратичной скорости молекул газа распространённого звука в идеальном газе при той же температуре. Газ состоит из: а) одноатомных и б) жестких двухатомных молекул.

3.22. При каком значении скорости  $v$  пересекаются кривые распределения Максвелла для температур  $T_1$  и  $T_2=2T_1$ ?

4.22. Кислород массой  $m=250$  г, имевший температуру  $T_1=200$  К, был адиабатически сжат. При этом была совершена работа  $A=25$  кДж. Определить конечную температуру  $T_2$  газа.

1.23. Баллон вместимостью  $V=5$  л содержит смесь гелия и водорода при давлении  $P=600$  кПа. Масса  $m$  смеси равна 4 г, массовая доля  $w$  гелия равна 0,6. Определить температуру  $T$  смеси.

2.23. Вычислить, исходя из классических представлений, средние энергии  $\langle \epsilon_{\text{cp}} \rangle$  поступательного, вращательного и колебательного движений упругой молекулы при температуре 4500 К.

3.23. Найти давление воздуха: а) над поверхностью Земли на высоте 10 км; б) в шахте на глубине 10 км. На поверхности Земли давление 100 кПа. Температура воздуха  $0^\circ\text{C}$ . Считать, что молярная масса и температура не зависят от высоты.

4.23. Во сколько раз увеличится объём водорода, содержащий количество вещества  $\nu=0,4$  моль при изотермическом расширении, если при этом газ получит теплоту  $Q=800$  Дж? Температура водорода 300 К.

1.24. Какое давление на стенки сосуда производят 0,02 кг кислорода, занимающего объём  $0,2$  м<sup>3</sup> при температуре  $40^\circ\text{C}$ ? Как изменится результат, если вместо кислорода ( $\text{O}_2$ ) в том же сосуде будет водород ( $\text{H}_2$ )?

2.24. Вычислить, исходя из классических представлений, угловую скорость вращения молекулы кислорода при температуре  $t = 27^\circ\text{C}$ .

3.24. На какой высоте  $h$  плотность кислорода уменьшается на 1%? Температура кислорода  $27^\circ\text{C}$ .

4.24. При изобарическом расширении двухатомного газа была совершена работа в 16 кГм. Какое количество тепла было сообщено газу?

1.25. В закрытом сосуде емкостью  $2$  м<sup>3</sup> находится 1,4 кг азота и 2 кг кислорода. Найти давление газовой смеси в сосуде, если температура смеси  $t=27^\circ\text{C}$ ?

2.25. Найти энергию  $E$  теплового движения молекул  $\text{NH}_3$ , находящихся в баллоне объёмом 10 л при давлении 2,45 кПа. Какую часть этой энергии составляет энергия поступательного движения молекул  $E_{\text{пост}}$ ? Молекулы считать жесткими.

3.25. Какая часть молекул газа имеет кинетическую энергию, достаточную для преодоления гравитационного поля Земли, если температура газа 300 К? Расчеты провести для молекул: а) водорода; б) азота.

4.25. 7 г углекислого газа было нагрето на  $10^\circ\text{C}$  в условиях свободного расширения. Найти работу расширения газа и изменение его внутренней энергии.