

1А. Определить, во сколько раз изменится доля молекул водорода, которые имеют скорость, отличающуюся от наиболее вероятной скорости не более, чем на ± 3 м/с, при уменьшении температуры газа от 600 К до 400 К? Газ считать идеальным.

2А. В бытовом холодильнике поддерживается температура $T_0 = 273$ К, а в комнате, где он установлен, $T_1 = 295$ К. Из-за плохой теплоизоляции холодильника внутрь его из комнаты происходит приток тепла $Q = 8 \cdot 10^6$ Дж/сутки, и чтобы поддерживать в холодильнике температуру 273 К, требуется непрерывно удалять данную теплоту Q . Найти мощность W , которая необходима для работы холодильника, полагая холодильник идеальной холодильной машиной Карно. Определить, сколько воды в сутки можно испарить в котле, если использовать холодильник как тепловой насос с такой же мощностью для перекачки теплоты из комнаты в котёл, имеющий температуру $T_2 = 373$ К. Теплота испарения воды $\lambda = 2260$ Дж/г.

3А. Работа при изотермическом сжатии 1 кг ртути от давления 1 атм до давления 11 атм равна $A_T = 1,86$ мДж. Скорость звука в ртути при той же температуре равна $v_{зв} = 1451$ м/с. Полагая, что плотность ртути равна $\rho = 13,6$ г/см³, определить отношение $\gamma = C_p/C_v$.

4А. При температуре ниже 0°C упругость насыщенных паров над переохлаждённой водой и над льдом по разному уменьшается при понижении температуры, и при определённой температуре насыщенный пар по отношению к воде оказывается пересыщенным паром по отношению ко льду. Этот эффект приводит к росту ледяных частиц в облаках и образованию града и снега. Оценить температуру, при которой наблюдается максимальная разность между упругостью насыщенных паров вблизи капелек воды и вблизи частиц льда $\Delta P = P_v - P_l$ и величину этой разности, считая водяной пар идеальным газом. Давление насыщенного пара над льдом и водой при 0°C одинаково и равно $P_0 = 610$ Па. Считать при низких температурах постоянными удельную теплоту парообразования $\lambda = 2500$ Дж/г и удельную теплоту плавления $q = 335$ Дж/г.

5А. В большом объёме находятся частица-зародыш сферической формы с начальным радиусом $R_0 = 10^{-2}$ см и малые шарообразные частицы одинакового радиуса $a = 10^{-5}$ см и той же плотности (в г/см³), что и частица-зародыш. Движущиеся независимо друг от друга, малые частицы диффундируют с коэффициентом диффузии $D = 3 \cdot 10^{-7}$ см²/с к частице-зародышу и адсорбируются на её поверхности, в результате чего радиус частицы-зародыша увеличивается (при этом её сферическая форма сохраняется). Определить, во сколько раз возрастёт объём большой частицы через 2 часа, если вдали от неё концентрация малых частиц равна $n_0 = 10^{13}$ см⁻³.

1Б. После обработки результатов измерения распределения атомов по абсолютным значениям скорости в парах ¹⁰⁸Ag выяснилось, что в интервалах скоростей $v_1 = 303 \pm 1$ м/с и $v_2 = 606 \pm 1$ м/с имелось одинаковое количество атомов. Определите температуру паров ¹⁰⁸Ag.

2Б. Айсберг массой $m = 10^{10}$ кг, имеющий температуру $T_0 = 273$ К, дрейфует в течении Гольфстрим, температура воды которого $T_1 = 295$ К. Найти максимальную работу тепловой машины, использующей Гольфстрим как нагреватель и айсберг как холодильник, за то время, когда весь айсберг растает. Определить, сколько воды можно испарить в котле за счёт этой работы, если использовать её в тепловом насосе для перекачки теплоты из течения Гольфстрим в котёл с температурой $T_2 = 373$ К. Теплота плавления льда $q = 335$ Дж/г, теплота испарения воды $\lambda = 2260$ Дж/г.

3Б. При 20°C и давлении 1 атм плотность воды равна $\rho = 998$ кг/м³, коэффициент объёмного расширения воды $\alpha = 1,8 \cdot 10^{-4}$ К⁻¹, термический коэффициент давления $\beta = 3,6$ К⁻¹, а отношение теплоёмкостей $C_p/C_v = 1,1$. Определить по этим данным скорость звука в воде при этой температуре.

4Б. При температуре ниже 0°C упругость насыщенных паров над переохлаждённой водой и над льдом по разному уменьшается при понижении температуры, и при определённой температуре насыщенный пар по отношению к воде оказывается пересыщенным паром по отношению ко льду. Этот эффект приводит к росту ледяных частиц в облаках и образованию града и снега. Оценить, во сколько раз изменится отношение P_l/P_v упругости насыщенных паров над льдом к упругости насыщенных паров над переохлаждённой водой при понижении температуры от -5°C до -20°C , считая водяной пар идеальным газом. Давление насыщенного пара над льдом и водой при 0°C одинаково, удельную теплоту плавления считать при низких температурах постоянной и равной $q = 335$ Дж/г.

5Б. В большом объёме находится шарообразная частица с начальным радиусом $R_0 = 1$ мм. Частица разрушается с поверхности (при этом шарообразная форма частицы сохраняется) и вблизи её поверхности непрерывно образуется «газ» из малых частиц сферической формы радиуса $a = 10^{-5}$ см и концентрацией $n_0 = 10^{13}$ см⁻³. Малые частицы диффундируют с коэффициентом диффузии $D = 9 \cdot 10^{-6}$ см²/с, в окружающий объём, и вдали от большой частицы их концентрация равна нулю. Определить время τ , за которое объём разрушающейся частицы уменьшится в 2 раза.

2010 год. Вариант А

1А. Температура воздуха внутри жилого помещения равна $T_1 = 295$ К, а за окном — $T_0 = 273$ К. Сечение столкновений молекул изменяется с температурой таким образом, что коэффициент вязкости газа в указанном диапазоне температур можно аппроксимировать формулой $\eta = \eta_0(T/T_0)^{0,7}$, где η_0 — значение коэффициента вязкости воздуха при температуре T_0 . Во сколько раз среднее число двойных столкновений молекул воздуха, происходящих в единичном объёме за единицу времени в помещении, отличается от соответствующей величины за окном?

2А. Если кинетическая энергия молекул $\varepsilon \geq \varepsilon_n = 0,84$ эВ, то при их столкновении с твёрдой поверхностью на ней происходят химические реакции. Оценить, во сколько раз изменится доля молекул, реагирующих в единицу времени, при увеличении температуры газа от $T_0 = 300$ К до $T_1 = 320$ К. Концентрация молекул постоянна, распределение молекул по скоростям — максвелловское.

3А. Колебательная характеристическая температура молекулы хлора $\theta = 780$ К. Определить минимальный номер n колебательного уровня, на котором при $T = 1000$ К находится не более 1% молекул хлора.

4А. В некотором диапазоне параметров состояния V и T политропа 1 моля водорода с теплоёмкостью C аппроксимируется уравнением

$$VT^{1,1-\frac{C}{R}} e^{\frac{\beta T}{R}} = B,$$

где β и B — константы, R — универсальная газовая постоянная. Водород в соответствующем диапазоне параметров подчиняется уравнению состояния идеального газа. Найдите значение теплоёмкости на политропе C и определите зависимость молярной теплоёмкости $C_V(T)$ для водорода в этом диапазоне параметров состояния, если известно, что для политропы, проходящей через точку $V_0 = 1,7$ м³/моль, $T_0 = 40$ К значение константы $B = 7,87 \cdot 10^{-2}$ м³/(моль·К). Получите численное значение $C_V(T_0)$.

5А. В цилиндрическом сосуде с теплоизолирующей боковой поверхностью находится $\nu = 3$ моля двухатомного идеального газа. Торцы сосуда поддерживаются при постоянной температурах T_0 и $T_1 = aT_0$. Найти изменение энтропии газа, если a изменяется от значения 2 до 4. Коэффициент теплопроводности газа считать постоянным в данном температурном диапазоне.

Указание. Использовать предположение об установлении локального равновесного состояния в каждом элементарном объёме газа.

2010 год. Вариант Б

1Б. Атмосферное давление за бортом самолёта, летящего на большой высоте, равно $P_1 = 26,5$ кПа, а температура — $T_1 = 223$ К, в пассажирском салоне давление равно $P_0 = 75$ кПа и температура $T_0 = 295$ К. Сечение столкновений молекул

изменяется с температурой таким образом, что коэффициент теплопроводности газа в указанном диапазоне температур можно аппроксимировать формулой $\kappa = \kappa_0(T/T_0)^{0,86}$, где κ_0 — значение коэффициента теплопроводности воздуха при температуре T_0 . Во сколько раз число столкновений, испытываемых молекулой воздуха в единицу времени с другими молекулами воздуха внутри пассажирского салона, отличается от соответствующей величины в окружающей самолёт атмосфере? Различия в химическом составе воздуха внутри самолёта и в окружающей атмосфере можно не учитывать, зависимостью теплоёмкости воздуха от температуры — пренебречь.

2Б. В сосуде при температуре 300 К находятся равные количества двух газов с одинаковыми молярными массами. Если кинетическая энергия молекул превышает порог ($\varepsilon \geq \varepsilon_n$), то при их столкновении с твёрдой поверхностью на ней происходят химические реакции. Оценить отношение долей молекул 1-го и 2-го газов, реагирующих в единицу времени, если пороговые энергии реакции для них равны $\varepsilon_{n1} = 0,63$ эВ и $\varepsilon_{n2} = 0,84$ эВ. Распределение молекул по скоростям — максвелловское.

3Б. Колебательная характеристическая температура молекулы йода $\theta = 305$ К. Определить максимальный номер n колебательного уровня, на котором при $T = 395$ К находится не менее 1% молекул йода.

4Б. В некотором диапазоне параметров состояния P и T политропа 1 моля водорода с теплоёмкостью C аппроксимируется уравнением

$$PT^{\frac{C}{R}-2,48} e^{\frac{\alpha T^2}{R}} = A,$$

где α и A — константы, R — универсальная газовая постоянная. Водород в соответствующем диапазоне параметров подчиняется уравнению состояния идеального газа. Найдите значение теплоёмкости на политропе C и определите зависимость молярной теплоёмкости $C_V(T)$ для водорода в этом диапазоне параметров состояния, если известно, что для политропы, проходящей через точку $P_0 = 40$ Па, $T_0 = 20$ К значение константы $A = 581$ Па·К. Получите численное значение $C_V(T_0)$.

5Б. В цилиндрическом сосуде с теплоизолирующей боковой поверхностью, закрытым подвижным поршнем, находится $\nu = 2$ моля одноатомного идеального газа. Торец цилиндра поддерживается при постоянной температуре T_0 , подвижный поршень, обеспечивающий постоянство давления газа в цилиндре, имеет температуру $T_1 = aT_0$. Найти изменение энтропии газа, если a изменяется от значения 2 до 4. Коэффициент теплопроводности газа считать постоянным в данном температурном диапазоне.

Указание. Использовать предположение об установлении локального равновесного состояния в каждом элементарном объёме газа.