

Индивидуальное задание № 4

Физика макросистем. Молекулярная физика и термодинамика

Вариант № 1

1. Посередине откачанного и запаянного горизонтального капилляра находится столбик ртути длиной 20 см. Если капилляр поставить вертикально, столбик ртути переместится на 10 см. Длина капилляра 1 м. До какого давления был откачан капилляр? [375 мм рт.ст.]
2. Определите температуру газа, для которой функция распределения молекул кислорода по модулю скорости будет иметь максимум при скорости 420 м/с. [340 К]
3. Азот массой 200 г нагревается при постоянном давлении от 20 до 100 °С. Какое количество теплоты поглощается при этом? [16,62 кДж]
4. 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: 1) температуру θ смеси; 2) изменение ΔS энтропии, происходящее при смешивании. [323 К; 0,3 кДж/К]
5. Чтобы изотермически уменьшить объем газа в цилиндре с поршнем в n раз, на поршень поместили груз массой m . Какой массы Δm груз следует добавить, чтобы объем газа изотермически уменьшился в k раз?
[$\Delta m = m \frac{n(k-1)}{n-1}$]

Вариант № 2

1. Определите плотность смеси водорода массой 4 г и кислорода массой 32 г при температуре 7 °С и давлении 700 мм рт. ст. [0,48 кг/м³]
2. Определите наиболее вероятную скорость молекул газа, плотность которого при давлении 40 кПа составляет 0,35 кг/м³. [478 м/с]
3. Сосуд, содержащий некоторое количество молекулярного азота при температуре 15 °С, движется со скоростью 100 м/с. Какова будет температура газа в сосуде, если он внезапно остановится? Передачей теплоты стенками можно пренебречь. [21,7 °С]
4. В результате изохорного нагревания водорода массой $m=1$ г давление p газа увеличилось в два раза. Определить изменение ΔS энтропии газа. [7,2 Дж/К]
5. В открытой пробирке, вращающейся в горизонтальной плоскости с частотой $\omega = 10$ рад/с вокруг вертикальной оси, проходящей через открытый край пробирки, находится столбик ртути длиной $l = 1$ см. Передний край столбика отстоит от края пробирки на $L = 20$ см. До какой температуры T_2 надо нагреть пробирку, чтобы при возросшей в $n = 2$ раза частоте вращения столбик не сместился? Внешнее давление $p_0 = 10^5$ Па, начальная температура $T_0 = 273$ К.

$$[T_2 = T_0 \cdot \frac{p_0 + n^2 \rho \omega^2 (L+l/2)l}{p_0 + \rho \omega^2 (L+l/2)l} = 296 \text{ К}]$$

Вариант № 3

1. В сосуде находится углекислый газ. При некоторой температуре степень диссоциации молекул углекислого газа на кислород и окись углерода $\alpha = 0,25$. Во сколько раз давление в сосуде при этих условиях больше того давления, которое установилось бы в случае, если бы молекулы углекислого газа не были диссоциированы? [$p'/p = 1 + \alpha = 1,25$]
2. Зная функцию распределения молекул по скоростям, определите среднюю арифметическую скорость $\langle v \rangle$ молекул. [$\langle v \rangle = \sqrt{\frac{8kT}{\pi m}}$]
3. Чему равна степень диссоциации азота, если известно, что отношение C_p/C_V для него равно 1,47? [23 %]
4. Найти изменение ΔS энтропии при изобарном расширении азота массой $m=4$ г от объема $V_1=5$ л до объема $V_2=9$ л. [2,44 Дж/К]
5. Газ состоит из молекул массой m и находится при температуре T . Найдите с помощью функции $F(v)$:
 - а) функцию распределения молекул по кинетическим энергиям $f(E_k)$;
 - б) наиболее вероятное значение кинетической энергии $E_{\text{вер}}$; соответствует ли $E_{\text{вер}}$ наиболее вероятной скорости?

$$[\text{a)} f(E_{\text{кин}}) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \cdot \left(\frac{1}{kT}\right)^{3/2} \cdot e^{-\frac{E_{\text{кин}}}{kT}} \cdot \sqrt{E_{\text{кин}}}; \text{б)} E_{\text{вер}} \neq E(v_{\text{вер}})]$$

Вариант № 4

1. В сосуде находится смесь 7,0 г азота и 11 г углекислого газа при температуре 290 К и давлении 1,0 атм. Найдите плотность такой смеси, считая газы идеальными. [$1,5 \cdot \text{кг}/\text{м}^3$]
2. На какой высоте плотность воздуха в e раз (e – основание натуральных логарифмов) меньше по сравнению с его плотностью на уровне моря? Температуру воздуха и ускорение свободного падения считать не зависящими от высоты. [7,98 км]
3. Тепловая машина, рабочим телом которой является 1 моль идеального газа, совершает замкнутый цикл, изображенный на рис. 6.5. Найдите КПД машины. [8 %]
4. Кусок льда массой $m=200$ г, взятый при температуре $t_1=-10$ °С, был нагрет до температуры $t_2=0$ °С и расплавлен, после чего образовавшаяся вода была нагрета до температуры $t=10$ °С. Определить изменение ΔS энтропии в ходе указанных процессов. [291 Дж/К]
5. В результате политропического процесса с известным значением теплоемкости объем идеального газа уменьшился в n раз. При этом работа, совершаемая над газом, $A = -2\Delta U$, где ΔU – приращение его внутренней энергии. Найдите приращение энтропии в этом процессе. [$\Delta S = -R(\ln n)/2$]

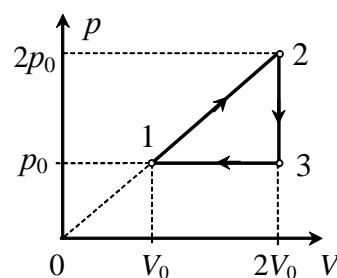


Рис. 6.5

Вариант № 5

1. Тонкостенный резиновый шар (масса оболочки шара равна 0,05 кг) наполнен азотом и погружен в озеро на глубину 100 м. Найдите массу азота, если шар находится в состоянии равновесия. Атмосферное давление 10^5 Па. Температура в глубине озера равна 4 °С. Натяжением резины пренебречь. [$6,66 \cdot 10^{-4}$ кг]
2. Ротор центрифуги, заполненный радоном, вращается с частотой 50 с^{-1} . Радиус ротора равен 0,5 м. Определите давление газа на стенки ротора, если в его центре давление равно нормальному атмосферному давлению. Температуру по всему объему считать постоянной и равной 300 К. [304 кПа]
3. Чему равны удельные теплоемкости c_V и c_p некоторого двухатомного газа, если плотность этого газа при нормальных условиях равна $1,43 \text{ кг/м}^3$? [650 Дж/кг·К; 906 Дж/кг·К]
4. Лед массой $m_1=2$ кг при температуре $t_1=0$ °С был превращен в воду той же температуры с помощью пара, имеющего температуру $t_2=100$ °С. Определить массу m_2 израсходованного пара. Каково изменение ΔS энтропии системы лед–пар? [251 г; 610 Дж/кг]
5. Один моль идеального газа из жестких двухатомных молекул совершает цикл Карно. Температура нагревателя $T_1 = 400$ К. Найдите КПД цикла, если при адиабатическом сжатии совершается работа $A = 2,0$ кДж.
[$\eta = \frac{2A}{iRT_1} = 0,24$]

Вариант № 6

1. В закрытом сосуде емкостью 2 м^3 содержится смесь азота N_2 массой 1,4 кг и кислорода O_2 массой 2 кг. Найдите давление газовой смеси, если температура смеси 14 °С. [$1,4 \cdot 10^5$ Па]
2. При какой температуре средняя квадратичная скорость молекул кислорода больше их наиболее вероятной скорости на 100 м/с? [381 К]
3. Газ расширяется адиабатно так, что его давление уменьшается от 200 кПа до 100 кПа. Затем он нагревается при постоянном объеме до первоначальной температуры, причем его давление возрастает до 122 кПа. Определите отношение C_p/C_V для данного газа. [1,4]
4. Кислород массой $m=2$ кг увеличил свой объем в $n=5$ раз один раз изотермически, другой – адиабатно. Найти изменения энтропии в каждом из указанных процессов. [836 Дж/кг; 0]
5. Идеальный одноатомный газ совершает цикл, состоящий из двух изохор и двух изобар, причем наибольшее давление газа в два раза больше наименьшего, а наибольший объем в четыре раза больше наименьшего. Определите термический к.п.д. цикла.[0.11]

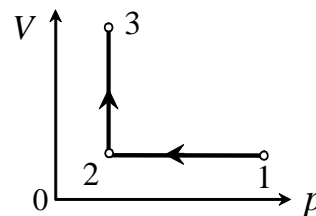
Вариант № 7

1. Горизонтально расположенный закрытый цилиндрический сосуд длиной 2,4 м с гладкими стенками, разделенный на две части легким теплонепроницаемым поршнем, заполнен идеальным газом. В начальный момент объем левой части сосуда вдвое больше объема правой, а температура газа в обеих частях одинакова. На какое расстояние переместится поршень, если температуру газа в правой части увеличить вдвое, а в левой – поддерживать постоянной? [0,40 м]
2. Зная функцию $f(p)$ распределения молекул по импульсам, определите среднее значение квадрата импульса p^2 . [$3 mkT$]
3. Идеальный одноатомный газ массой 1 кг с молярной массой 4 г/моль нагревают так, что его температура, пропорциональная квадрату давления, возрастает от 300 К до 600 К. Определите работу, совершённую газом. [312 кДж]
4. Водород массой $m=100$ г был изобарно нагрет так, что объем его увеличился в $n=3$ раза, затем водород был изохорно охлажден так, что давление его уменьшилось в $n=3$ раза. Найти изменение ΔS энтропии в ходе указанных процессов. [457 Дж/К]
5. Балласт какой массы должен выбросить аэростат объемом $V = 300 \text{ м}^3$, чтобы подняться с высоты, на которой барометр показывает давление $p_1 = 84 \text{ кПа}$ при температуре $t_1 = -15 \text{ }^\circ\text{C}$, до высоты, при которой барометр показывает давление $p_2 = 66,7 \text{ кПа}$ при температуре $t_2 = -30 \text{ }^\circ\text{C}$?

$$[\Delta m = \frac{MV}{R} \left(\frac{p_1}{T_1} - \frac{p_2}{T_2} \right) = 50 \text{ кг}]$$

Вариант № 8

1. В баллоне объемом 25 л находится водород при температуре 290 К. После того как часть водорода израсходовали, давление в сосуде понизилось на 0,4 МПа. Определите массу израсходованного водорода. [8,3 г]
2. При какой температуре газа, состоящего из смеси азота и кислорода, наиболее вероятные скорости молекул азота и кислорода будут отличаться друг от друга на 30 м/с? [370 К]
3. Один моль идеального одноатомного газа сначала охладил, а затем нагрели до первоначальной температуры 300 К, увеличив объем газа в 3 раза. Какое количество теплоты отдал газ на участке 1–2? [–2,5 кДж]
4. В вертикальном цилиндре объемом $V = 0,1 \text{ м}^3$ под невесомым поршнем находится $\nu = 1$ моль идеального одноатомного газа. Газ под поршнем теплоизолирован. На поршень положили груз массой $m = 100 \text{ кг}$, в результате чего поршень переместился на расстояние h . Определите конечную температуру газа T , установившуюся после перемещения поршня, если площадь поршня $S = 10^{-2} \text{ м}^2$.



$$[T = \frac{V}{\nu RS} \cdot \frac{(3p_0S + 2mg) \cdot (p_0S + mg)}{(3p_0S + 5mg)} = 1496 \text{ К}]$$

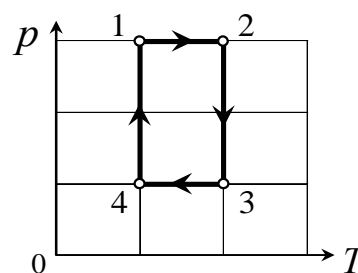
5. Определите массу воздуха в цилиндре с основанием $S = 1 \text{ м}^2$ и высотой $h = 1 \text{ км}$. Считать, что воздух находится при нормальных условиях. [$m = \frac{p_0S}{g} \left[1 - \exp\left(-\frac{Mgh}{RT}\right) \right] = 99 \text{ кг}$]

Вариант № 9

1. Баллон объемом 5 л содержит смесь гелия и молекулярного водорода при давлении 600 кПа. Масса смеси равна 4 г, массовая доля гелия равна 0,6. Определите температуру смеси. [259 К]
2. Во сколько раз изменится значение максимума функции $f(E_k)$ распределения молекул идеального газа по кинетическим энергиям, если температура газа изменяется в 2 раза? [2]
3. Некоторый газ массой 5 г расширяется изотермически от объема V_1 до объема $V_2 = 2V_1$. Работа расширения равна 1 кДж. Определите среднюю квадратичную скорость молекул газа. [930 м/с]
4. Гелий массой 1,7 г адиабатически расширили в 3 раза и затем изобарически сжали до первоначального объема. Найдите приращение энтропии в этом процессе. [– 10 Дж/К]
5. Высокий цилиндрический сосуд с азотом находится в однородном поле тяжести, ускорение свободного падения в котором равно g . Температура азота изменяется по высоте так, что его плотность всюду одинакова. Найдите градиент температуры dT/dh . [$dT/dh = -Mg/r = -33$ мК/м]

Вариант № 10

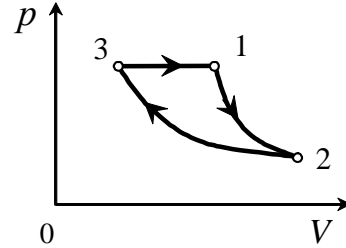
1. В сосуде объемом $0,1 \text{ м}^3$ при температуре 280 К содержится смесь газов – азота массой 7 г и водорода массой 1 г. Определите давление смеси газов. [175 кПа]
2. Баллон вместимостью 5 л содержит смесь гелия и водорода при давлении 600 кПа. Масса смеси равна 4 г, массовая доля гелия равна 0,6. Определите температуру смеси. [259 К]
3. Найдите среднее значение квадрата проекции скорости молекул газа при температуре T . Масса каждой молекулы m . [kT/m]
4. На pT -диаграмме 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? [2–3]
5. Идеальный газ с показателем адиабаты γ совершает процесс по закону $p = p_0 - \alpha V$, где p_0 и α – положительные постоянные, V – объем газа. При каком значении объема V_{\max} энтропия газа окажется максимальной?



$$[V_{\max} = \frac{\gamma p_0}{\alpha(\gamma + 1)}]$$

Вариант № 11

- Во сколько раз увеличится подъемная сила воздушного шара, если наполнявший его гелий заменить водородом? Весом оболочки воздушного шара пренебречь. Газ внутри шара находится при нормальном атмосферном давлении. [1,1]
- Зная функцию распределения молекул по скоростям, вывести формулу наиболее вероятной скорости $v_{\text{вер}}$. [$v_{\text{вер}} = \sqrt{2kT/m}$]
- Один моль гелия совершает цикл, изображенный на pV -диаграмме. Участок 1–2 – адиабата, 2–3 – изотерма, 3–1 – изобара. Работа, совершённая газом за цикл, 4 кДж. Разность температур газа между состояниями 1 и 2 равна 120 К. Какая работа совершается в изотермическом процессе? [1,5 кДж]
- Два моля идеального газа сначала изотермически охладили, а затем изобарически расширили так, что температура газа стала равна первоначальной. Найдите приращение энтропии газа, если давление его в данном процессе изменилось в 3,3 раза. [20 Дж/К]
- Найдите число ходов n поршня, которое надо сделать, чтобы поршневым воздушным насосом откачать воздух из сосуда емкостью V от давления p_0 до давления p_n , если емкость камеры насоса v . Температура постоянна.



$$\left[n = \lg \left(\frac{p_n}{p_0} \right) / \lg \left(\frac{V}{V + v} \right) \right]$$

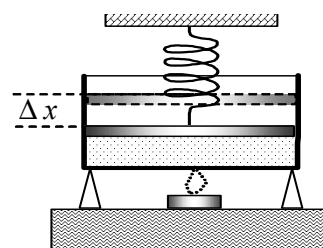
Вариант № 12

- Найдите плотность газовой смеси водорода и кислорода, если их массовые доли равны, соответственно, 1/9 и 8/9. Давление смеси 100 кПа, температура равна 300 К. [0,48 кг/м³]
- Вычислите среднюю проекцию скорости $\langle v_x \rangle$ и среднее значение модуля проекции $\langle |v_x| \rangle$, если масса каждой молекулы m и температура газа T . [$\langle v_x \rangle = 0$; $\langle |v_x| \rangle = \sqrt{2kT/\pi m}$]
- Работа расширения некоторого двухатомного газа равна 2 кДж. Определите количество теплоты, если процесс протекал: 1) изотермически; 2) изобарически. [2 кДж; 7 кДж]
- В колбе вместимостью $V = 240 \text{ см}^3$ находится газ при температуре $T = 290 \text{ К}$ и давлении $p = 50 \text{ кПа}$. Определить количество вещества ν газа и число N его молекул. [4,97 ммоль; $2,99 \cdot 10^{21}$ моль]
- В вертикальном закрытом с обоих концов цилиндре находится массивный поршень, по обе стороны которого находятся по одному молю воздуха. При $T = 300 \text{ К}$ отношение верхнего объема к нижнему $n = 4,0$. При какой температуре это отношение станет $n_1 = 3,0$? Трение не учитывать.

$$[T_x = T(n - 1/n)(n_1 - 1/n_1) = 420 \text{ К}]$$

Вариант № 13

1. В сосуде вместимостью 15 л находится смесь азота и водорода при температуре 23 °С и давлении 200 кПа. Определите массу смеси, если массовая доля азота в смеси равна 0,7. [6,87 г]
2. В сосуде содержится газ, количество вещества которого равно 1,2 моль. Рассматривая этот газ как идеальный, определите число молекул, скорости которых меньше на 0,001 наиболее вероятной скорости. [5,44·10¹⁴]
3. Цилиндр с поршнем содержит газ. Сверху поршень прижат идеальной пружиной. Цилиндр начинают нагревать. Объем газа изменяется от V_1 до V_2 , а давление – от p_1 до p_2 . Определите совершаемую при этом работу газа. Вычисления провести при следующих параметрах: $p_1 = 1 \cdot 10^5$ Па; $p_2 = 2 \cdot 10^5$ Па; $V_1 = 1$ л; $V_2 = 3$ л. [300 Дж]
4. Лед массой 1 кг, находящийся при температуре – 30 °С, нагревают до температуры плавления и затем плавят. Найдите изменение энтропии. [1,46 Дж/К]
5. Газ состоит из молекул массой m и находится при температуре T . Найдите с помощью функции $F(v)$:
 - а) функцию распределения молекул по импульсам $F(p)$;
 - б) наиболее вероятное значение импульса $p_{\text{вер}}$. Соответствует ли $p_{\text{вер}}$ наиболее вероятной скорости?



$$\text{а) } f(p) = 4\pi \left(\frac{1}{2\pi m k T} \right)^{3/2} p^2 \exp\left(-\frac{p^2}{2 m k T} \right);$$

$$\text{б) } p_{\text{вер}} = \sqrt{2mkT}; \quad p_{\text{вер}} = p(v_{\text{вер}})]$$

Вариант № 14

1. Резиновая камера содержит воздух при температуре 27 °С и нормальном атмосферном давлении 1·10⁵ Па. Какова температура воды, если на глубине 8,5 м ее объем уменьшился в два раза? [4 °С]
2. При какой температуре газа, состоящего из смеси азота и кислорода, наиболее вероятные скорости молекул азота и кислорода будут отличаться друг от друга на 30 м/с? [330 К]
3. Состояние одноатомного идеального газа изменяется по циклу, представленному на pV -диаграмме (рис. 6.10). Чему равен КПД теплового двигателя, основанного на использовании этого цикла? [8,7 %]
4. Найдите изменение энтропии при превращении куска льда массой 10 г, находящегося при температуре – 20 °С, в пар при температуре 100 °С. [87 Дж/К]
5. Найдите максимально возможную температуру идеального газа в процессе $p = p_0 - \alpha V^2$. [$T_{\text{max}} = (2p_0/(3R))\sqrt{p_0/(3\alpha)}$]

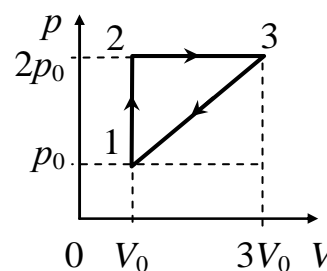


Рис. 6.10

Вариант № 15

1. Атмосфера Венеры почти полностью состоит из углекислого газа CO_2 . Температура его у поверхности планеты 500°C , а давление – примерно 100 атм. Какова масса исследовательского зонда, плавающего в нижних слоях атмосферы Венеры, если его объем 15 м^3 ? [1 т]
2. Полная кинетическая энергия молекул многоатомного газа, масса которого 20 г, равна 3,2 кДж. Найдите среднюю квадратичную скорость молекул этого газа. [0,4 км/с]
3. В цилиндре под поршнем в замкнутом пространстве находится воздух. Какую работу нужно совершить, чтобы поднять поршень на высоту 10 см, если начальная высота столба воздуха 15 см и наружное давление 760 мм рт.ст.? Массой поршня пренебречь. Температура во время подъема поршня остается неизменной. [2,37 Дж]
4. Изменение энтропии куска льда, нагретого от температуры -30°C до температуры плавления и последующего плавления составило 1,46 Дж/К. Найдите массу куска льда. [1 кг]
5. Потенциальная энергия молекул газа в некотором центральном поле зависит от расстояния r до центра поля как $U(r) = ar^2$, где a – положительная постоянная. Температура газа T , концентрация молекул в центре поля n_0 . Найдите:
 - а) число молекул с потенциальной энергией U , $U + dU$;
 - б) наиболее вероятное значение потенциальной энергии.

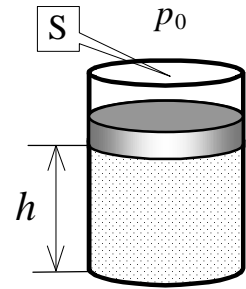
$$\text{[а) } dN = (2\pi n_0 a^{-3/2}) \exp\left(-\frac{U}{kT}\right) \sqrt{U} dU ; \text{ б) } U_{\text{вер}} = kT/2]$$

Вариант № 16

1. В вертикальном закрытом сосуде, площадь основания которого 10^{-3} м^2 , разделенном поршнем массой 1 кг на два отсека, находится газ. Масса газа под поршнем в 9 раз больше, чем над ним. В положении равновесия поршень находится посередине сосуда, а температура газа в обоих отсеках одинакова. Найдите давление газа в отсеках. [1,25 кПа; 11,25 кПа]
2. Зная функцию распределения молекул по скоростям, найдите среднюю квадратичную скорость молекул. [$v_{\text{кв}} = \sqrt{3kT/m}$]
3. Изобразите цикл Карно в координатах S , T . Определите с помощью графика КПД цикла.
4. Определите изменение энтропии при нагревании до кипения 100 г воды, взятой при температуре 300 К, и превращении ее в пар. [697 Дж/К]
5. В очень высоком вертикальном цилиндрическом сосуде находится углекислый газ при некоторой температуре T . Считая поле тяжести однородным, найдите, как изменится давление газа на дно сосуда, если температуру газа увеличить в η раз. [Не изменится]

Вариант № 17

1. В вертикальном открытом сверху цилиндрическом сосуде, имеющем площадь поперечного сечения 10^{-3} м^2 , на высоте 0,1 м от дна находится поршень массой 1 кг, поддерживаемый сжатым газом с молярной массой $32 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$. Температура газа 300 К. Определите массу газа в сосуде под поршнем. [141 мг]



2. Функция распределения вероятностей значений некоторой величины x имеет вид $f(x) = Ax$ при $0 \leq x \leq a$. Вне этого интервала $f = 0$. Здесь A и a – постоянные. Считая, что a задано, найдите:
- значение функции f при $x = a$;
 - средние значения x и x^2 .

$$[a) A = 2/a^2; f(a) = 2/a; б) \langle x \rangle = 2a/3; \langle x^2 \rangle = 3a^2/10]$$

3. Покажите, что энтропия системы увеличивается, если горячая вода отдает теплоту холодной воде такой же массы и температуры их уравниваются.
4. Два сосуда наполнены одним и тем же газом. В первом сосуде содержится $m_1 = 0,2 \text{ кг}$ газа под давлением $p_1 = 4 \cdot 10^5 \text{ Па}$, во втором – $m_2 = 0,3 \text{ кг}$ под давлением $p_2 = 9 \cdot 10^5 \text{ Па}$. Сосуды соединяют трубкой, объемом которой можно пренебречь по сравнению с объемами сосудов. Найдите установившееся давление p в сосудах, если температура газа в них была одинакова и после установления равновесия увеличилась на $\delta = 20 \%$. Ответ представьте в атмосферах и округлите до десятых.

$$[p = \left(1 + \frac{\delta}{100\%} \right) \cdot \frac{p_1 p_2 (m_1 + m_2)}{m_1 p_2 + m_2 p_1} = 7,2 \cdot 10^5 \text{ Па} = 7,2 \text{ атм}]$$

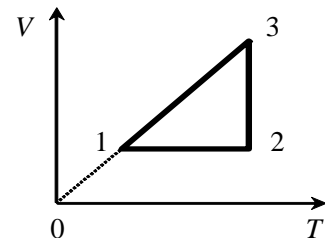
5. В вертикальном закрытом с обоих концов цилиндре находится массивный поршень, по обе стороны которого находятся по одному молю воздуха. При $T = 300 \text{ К}$ отношение верхнего объема к нижнему $n = 4,0$. При какой температуре это отношение станет $n_1 = 3,0$? Трение не учитывать. [$T_x = T(n - 1/n)(n_1 - 1/n_1) = 420 \text{ К}$]

Вариант № 18

1. Плотность углекислотной (CO_2) атмосферы Венеры примерно в 50 раз выше плотности земной атмосферы при нормальных условиях. Считая, что температура у поверхности Венеры равна 4770 К, найдите венерианское атмосферное давление. [$9 \cdot 10^6$ Па]
2. В сосуде объемом 30 л находится 100 г кислорода под давлением $3 \cdot 10^5$ Па. Используя распределение молекул по кинетическим энергиям, найдите наиболее вероятное значение кинетической энергии молекул кислорода.
[$2,4 \cdot 10^{-21}$ Дж]
3. Два сосуда, объемы которых 1,6 л и 3,4 л, содержат, соответственно, оксид углерода массой 14 г и кислород массой 16 г. Температуры газов одинаковы. Сосуды соединяют и газы перемешиваются. Определите приращение энтропии в этом процессе. [6,33 Дж/К]
4. Угол между прорезями во вращающихся дисках в опыте Штерна составляет $\varphi = 60^\circ$. Прорезь образует угол $\Delta\varphi = 2,5$ градуса. Средняя скорость частиц, попадающих в вакуумную камеру $v = 480$ м/с. В каком интервале скоростей $v \pm \Delta v$ детектор фиксирует частицы?
[$v \pm \Delta v = v \cdot (1 \pm \Delta\varphi/\varphi) = (480 \pm 20)$ м/с]
5. Водород совершает цикл Карно. Найдите КПД цикла, если при адиабатическом расширении объем газа увеличивается в $n = 2,0$ раза.
[$\eta = 1 - n^{1-\gamma} = 0,25$]

Вариант № 19

1. На VT -диаграмме представлен круговой процесс, проведенный с идеальным газом. Изобразите этот процесс в координатах p - V .
2. Найдите температуру газообразного азота, при которой скоростям молекул $v_1 = 300$ м/с и $v_2 = 600$ м/с соответствуют одинаковые значения функции распределения $F(v)$. [300 К]
3. В каком случае КПД цикла Карно повысится больше: при увеличении температуры нагревателя на ΔT или при уменьшении температуры холодильника на ту же величину? [При уменьшении температуры]
4. Найдите изменение энтропии 30 г льда при превращении его в пар, если начальная температура льда равна -40°C , а температура пара 100°C . [269 Дж/К]
5. Распределение молекул по скоростям в пучке, выходящем из небольшого отверстия в сосуде, описывается функцией $f(v) = Av^3 \exp\left(-\frac{mv^2}{2kT}\right)$, где T – температура газа внутри сосуда. Найдите наиболее вероятные значения:
 - а) скорости молекулы в пучке; сравните полученную величину с наиболее вероятной скоростью молекул в самом сосуде;
 - б) кинетической энергии в пучке.



$$\text{а) } v_{\text{вер}} = \sqrt{3kT/m}, v_{\text{н}} \neq v_{\text{вер}}; \text{ б) } E_{\text{кин}} = kT$$

Вариант № 20

1. В баллоне объемом $0,03 \text{ м}^3$ находится газ при температуре 250 К . При этом манометр показывает давление газа 831 кПа . После того как часть газа из баллона вытекла, его нагрели, и при температуре 300 К манометр показал то же самое давление. Определите, какая масса газа вытекла? Молярная масса газа равна $0,002 \text{ кг/моль}$. [4 г]
2. Барометр в кабине летящего самолета все время показывает одинаковое давление 80 кПа , благодаря чему летчик считает высоту полета неизменной. Однако температура воздуха изменилась на 1 К . Какую ошибку в определении высоты допустил летчик? Считать, что температура не зависит от высоты и что у поверхности Земли давление 100 кПа . [−28,5 м]
3. При адиабатном расширении кислорода с начальной температурой $T_1=320 \text{ К}$ внутренняя энергия уменьшилась на $\Delta U=8,4 \text{ кДж}$, а его объем увеличился в $n=10$ раз. Определить массу m кислорода. [454 К]
4. Лед массой 1 кг с начальной температурой $0 \text{ }^\circ\text{C}$ в результате нагревания превратили сначала в воду, а затем в пар при температуре $100 \text{ }^\circ\text{C}$. Найдите изменение энтропии. [8,6 кДж/К]
5. В законе ошибок Гаусса $f(x) = Ae^{-\alpha x^2}$ выразите постоянную A через постоянную α . [$A = \sqrt[4]{\alpha/\pi}$]

Вариант № 21

1. Цилиндрический сосуд длиной 84 см , расположенный горизонтально, разделен на две равные части теплонепроницаемым поршнем. В обеих половинах сосуда находятся одинаковые массы газа при температуре $27 \text{ }^\circ\text{C}$ и давлении 10^5 Па . На какое расстояние от середины сосуда сместится поршень, если газ в одной половине сосуда нагреть до температуры $57 \text{ }^\circ\text{C}$? Считать, что в другой половине сосуда температура не изменяется. [0,02 м]
2. Используя идею установки Перрена для определения числа Авогадро и применив к частицам краски, взвешенных в воде, больцмановское распределение, найдите объем частиц, если при расстоянии между двумя слоями 80 мкм число взвешенных частиц в одном слое вдвое больше, чем в другом. Плотность растворенной краски 1700 кг/м^3 , а температура окружающей среды – 300 К . [$5,22 \cdot 10^{-21} \text{ м}^3$]
3. Определите количество теплоты, сообщенное газу, если в процессе изохорного нагревания молекулярного кислорода объемом 20 л его давление изменилось на 100 кПа . [5 кДж]
4. Найдите изменение энтропии при превращении куска льда массой 10 г , находящегося при температуре $-20 \text{ }^\circ\text{C}$, в пар при температуре $100 \text{ }^\circ\text{C}$. [87 Дж/К]
5. Найдите максимально возможную температуру идеального газа в процессе $p = p_0 e^{-\beta V}$. [$T_{\max} = p_0/(e\beta R)$]

Вариант № 22

1. В сосуде объемом 5 л находится азот массой 1,4 г при температуре 1800 К. Какая доля молекул диссоциировала на атомы, если давление газа при этой температуре $1,9 \cdot 10^5$ Па? [0,3]
2. Пылинки массой 10^{-18} г взвешены в воздухе. Определите толщину слоя воздуха, в пределах которого концентрация пылинок различается не более чем на 1 %. Температура воздуха во всем объеме одинакова и равна 300 К. [4,23 мм]
3. Воду массой 1,0 кг нагрели от некоторой температуры до 100 °С, при которой она вся превратилась в пар. Приращение энтропии системы в этом процессе равно 7,2 кДж/кг. Найдите начальную температуру воды [10 °С]
4. Многоатомный газ совершает цикл Карно, при этом в процессе адиабатического расширения объем газа увеличивается в 4 раза. Определите термический КПД цикла. [37 %]
5. Газовый термометр представляет собой измерительный баллон объемом $V_1 = 100 \text{ м}^3$, соединенный тонкой трубкой с манометром, объем рабочего пространства которого $V_2 = 10 \text{ см}^3$. Термометр заполнен изотопом гелия ^3He . При температуре $T_0 = 300 \text{ К}$ манометр показывает давление $p_0 = 300$ мм рт.ст. Измерительный баллон погружают в жидкий гелий. Найдите температуру жидкого гелия, если манометр показывает давление $p = 3,3$ мм рт.ст. Манометр остается при комнатной температуре.
[$T = \frac{pT_0V_1}{p_0(V_1 + V_2) - pV_2} = 3 \text{ К}$]

Вариант № 23

1. На дне цилиндра, заполненном воздухом при температуре 27 °С, лежит металлический шар радиусом 2 см. Какова масса шара, если при неизменной температуре при сжатии воздуха до давления 12,8 МПа шар отрывается от дна цилиндра? [5 г]
2. У поверхности Земли молекул водорода почти в $1,0 \cdot 10^6$ раз меньше, чем молекул азота. На какой высоте число молекул водорода будет равно числу молекул азота? Среднюю температуру атмосферы принять равной 0 °С. [123 км]
3. Определите изменение энтропии при нагревании до плавления 100 г олова, взятого при температуре 32 °С и превращении его в жидкость при температуре плавления [24 Дж/К]
4. Идеальный газ совершает цикл Карно, термический КПД которого равен 0,4. Определите работу термического сжатия газа, если работа изотермического расширения равна 400 Дж. [-240 Дж]
5. Вычислите с помощью функции $f(v_x)$ число Δn молекул газа, падающих в единицу времени на единичную площадку, если n – концентрация молекул, T – температура газа и m – масса каждой молекулы.

$$[\Delta n = n\langle v \rangle / 4, \text{ где } \langle v \rangle = \sqrt{8kT / (\pi m)}]$$

Вариант № 24

1. Из баллона со сжатым молекулярным водородом объемом 10 л вследствие неисправности вентиля вытекает газ. При температуре $7\text{ }^{\circ}\text{C}$ манометр показывал $4,9 \cdot 10^5$ Па. Через некоторое время при температуре $17\text{ }^{\circ}\text{C}$ манометр показал такое же давление. Какая масса газа вытекла? [$1,68 \cdot 10^{-4}$ кг]
2. На какой высоте над поверхностью Земли атмосферное давление вдвое меньше, чем на ее поверхности? Считать, что температура воздуха равна 290 К и не изменяется с высотой. [5,88 км]
3. Идеальный газ совершает цикл Карно. Температура нагревателя -500 К , температура холодильника -300 К . Работа изотермического расширения газа равна 2 кДж . Найдите количество теплоты, отданное холодильнику при изотермическом сжатии. [0,6 кДж]
4. Изменение энтропии при превращении куска льда, находящегося при температуре $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$, в пар при температуре $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ составило 87 Дж/К . Найдите массу льда. [10 г]
5. В вертикальном цилиндре вместимостью $V = 0,1\text{ м}^3$ под невесомым поршнем находится $\nu = 2$ моль идеального одноатомного газа. Газ под поршнем теплоизолирован. На поршень положили груз массой $m = 100\text{ кг}$, в результате чего поршень переместился на расстояние h . Определите конечную температуру газа T , установившуюся после перемещения поршня, если площадь S поршня 10^{-2} м^2 .

$$[T = \frac{V}{\nu RS} \cdot \frac{(3p_0S + 2mg) \cdot (p_0S + mg)}{(3p_0S + 5mg)} = 748\text{ К}]$$

Вариант № 25

1. В сосуде объемом 30 л содержится идеальный газ при температуре 0 °С. После того как часть газа без изменения температуры была выпущена наружу, давление в сосуде понизилось на 0,78 атм. Найдите массу выпущенного газа. Плотность данного газа при нормальных условиях – 1,3 г/дм³, давление при нормальных условиях – 1 атм.
[0,03 кг]
2. В центрифуге с ротором, радиус которого равен 0,5 м, при температуре 300 К находится в газообразном состоянии вещество с относительной молекулярной массой 10⁻³. Определите отношение концентраций молекул у стенок ротора и в его центре, если ротор вращается с частотой 30 с⁻¹.
[5,91]
3. Азот нагревался при постоянном давлении, причем ему было сообщено количество теплоты $Q=21$ кДж. Определить работу A , которую совершил при этом газ, и изменение ΔU его внутренней энергии. [6 кДж; 15 кДж]
4. Во сколько раз необходимо увеличить объем 5 моль идеального газа при постоянной температуре, чтобы его энтропия увеличилась на 57,6 кДж/К?
[4]
5. В открытой пробирке, вращающейся в горизонтальной плоскости с частотой $\omega = 10$ рад/с вокруг вертикальной оси, проходящей через открытый край пробирки, находится столбик ртути длиной $l = 1$ см. Передний край столбика отстоит от края пробирки на $L = 20$ см. До какой температуры T_2 надо нагреть пробирку, чтобы при возросшей в $n = 2$ раза частоте вращения столбик не сместился? Внешнее давление $p_0 = 10^5$ Па, начальная температура $T_0 = 273$ К.

$$[T_2 = T_0 \cdot \frac{p_0 + n^2 \rho \omega^2 (L + l/2) l}{p_0 + \rho \omega^2 (L + l/2) l} = 296 \text{ К}]$$