**Индивидуальные задания из задачника**

Чернов И.П., Ларионов В.В., Тюрин Ю.И. Физика. Сборник задач. Часть I. Механика. Молекулярная физика. Термодинамика: Учебное пособие. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2004. – 389 с.

**Вариант 1**

1. Современные вакуумные насосы позволяют получать давления *Р* = 4⋅10−15 атм. Считая, что газом является азот (при комнатной температуре), найти число его молекул в 1 см3.
2. Вычислить при температуре *t* = 17°С среднюю квадратичную скорость и среднюю кинетическую энергию поступательного движения молекулы кислорода.
3. При помощи ионизационного манометра, установленного на искусственном спутнике Земли, было обнаружено, что на высоте *h* = 300 м от поверхности Земли концентрация частиц газа в атмосфере *n* = 1015 м−3. Найти среднюю длину свободного пробега *l* частиц газа на этой высоте. Эффективный диаметр частиц газа *d* = 0,2⋅10−9 м.
4. Кислород (О2) массой 2 кг при давлении 0,2 МПа занимал объем 1 м3. Газ был нагрет сначала при постоянном давлении, и его объем газа увеличился до 3 м3. При этом объеме газ был нагрет еще, и давление газа увеличилось до 0,5 МПа. Найти изменение внутренней энергии газа, совершенную им работу и количество теплоты, подведенной к газу.
5. Определить давление и температуру воздуха при совершении цикла Карно в точках пересечения изотерм и адиабат, если максимальное давление и объем равны *Р*1 = 1 МПа и *V*3 = 6 м3, минимальные *Р*3 = 0,1 МПа и *V*1 = 1 м3. Масса воздуха *m* = 10 кг, показатель адиабаты γ = 1,4.
6. Определить мощность дизельного двигателя, работающего с частотой 10 Гц, если максимальное давление в цилиндре объемом *V*1 = 8 л равно *Р*1 = 5 МПа, объем изобарного расширения изменяется от *V*2 = 0,5 л до *V*3 = 2 л. Показатель адиабаты γ = 1,41.
7. Водород массой 100 г был изобарически нагрет так, что объем его увеличился в 3 раза, затем он был изохорически охлажден так, что давление его уменьшилось в 3 раза. Найдите изменение энтропии в ходе указанных процессов.
8. Определить внутреннее давление азота, находящегося в баллоне объемом 1 л при температуре 0°С. Масса кислорода 0,1 кг. Сравнить полученную величину с давлением на стенки баллона.

**Вариант 2**

1. Воздух в аудитории находится при нормальных условиях. Найти число его молекул в 1 см3.
2. Во сколько раз надо расширить адиабатически газ, состоящий из жестких двухатомных молекул, чтобы их средняя квадратичная скорость уменьшилась в η = 1,5 раза.
3. Найти коэффициент диффузии *D* водорода при нормальных условиях, если средняя длина свободного пробега *l* = 0,16 мкм.
4. Гелий, находящийся в закрытом стальном баллоне объемом 2 дм3 при температуре 293 К и давлении 105 Па, нагревают на 100 К. Найти сообщенное гелию количество теплоты и его внутреннюю энергию при новой температуре.
5. Найти давление и объем в начале и конце адиабатического сжатия цикла Карно, если температуры холодильника и нагревателя равны *Т*2 = 300 К и *Т*1 = 1000 К, давление в начальной точке *Р*4 = 0,1 МПа, показатель адиабаты γ = 1,4.
6. Мощность дизельного двигателя 70 кВт, давление в цилиндре объемом *V*1 = 6 л равно *Р*1 = 4 МПа, объем изобарного расширения изменяется от *V*2 = 0,4 л до *V*3 = 1,6 л. Найти число циклов, которые делает двигатель за 1 с, если показатель адиабаты γ = 1,4.
7. Камень массой 2,2 кг падает с высоты 13,6 м на Землю. Температура окружающей среды 20ºС. Определите изменение энтропии, вызванное этим процессом в системе «камень – Земля».
8. В баллоне вместимостью *V* = 6 л находится кислород *т =* 0,6 кг при температуре 290 К. Найти давление газа на стенки сосуда (*b =* 0,032 м3/К⋅моль; *а =* 1,36⋅105 Н⋅м4/К⋅моль2).

**Вариант 3**

1. Баллон электрической лампы при изготовлении заполняют азотом под давлением 50,65 КПа при температуре 288 К. Какова температура газа в горящей лампе, если давление в ней повысилось до 1,11⋅105 Па. Объясните практическое значение пониженного давления при изготовлении ламп.
2. Какая часть молекул азота при температуре *t* = 230 °С обладает скоростями в интервале: а) от *v*1 = 290 м/с до *v*2 = 310 м/с; б) от *v*3 = 690 м/с до *v*4 = 710 м/с. Нарисовать графики и объяснить полученные результаты.
3. Определить среднюю длину свободного пробега *l* молекул кислорода, находящихся при температуре 0°С, если среднее число *Z* столкновений испытываемых молекул в 1 с равно 3,7⋅109 с−1.
4. Вертикальный цилиндр закрыт невесомым поршнем. Площадь основания цилиндра 1 м2. Под поршнем находится воздух при температуре 0°С и давлении 1,01·105 Па. Воздух под поршнем нагревают на 1°С, и поршень при этом поднимается. Найти работу, совершенную расширяющимся воздухом.
5. Найти давление и объем в начале и конце адиабатического расширения цикла Карно, если температуры нагревателя и холодильника равны *Т*1 = 1000 К и *Т*2 = 300 К, давление в начальной точке *Р*2 = 106 Па, показатель адиабаты γ = 1,4.
6. Дизельный двигатель использует при работе 0,1 киломолей воздуха. Степень адиабатического сжатия β = 15, степень изобарного расширения α = 4, показатель адиабаты γ = 1,4. Найти количество тепла, полученного газом за цикл, если в начале адиабатического сжатия температура *Т*1 = 300 К.
7. Два сосуда с водой соединены короткой трубкой с краном. В первом сосуде находится 1 кг воды, нагретой до 300 К, во втором – 60 кг воды, имеющей температуру 273 К. Найдите изменение энтропии системы после открывания крана и установления равновесного состояния. Система заключена в теплоизолирующую оболочку.
8. Найти величину дифференциального эффекта Джоуля–Томсона для кислорода при температуре 290 К.

**Вариант 4**

1. Газ, состоящий из *N*-атомных молекул газа, имеет температуру *Т*, при которой у молекул возбуждены все степени свободы (поступательные, вращательные, колебательные). Найти среднюю энергию молекулы такого газа. Молекулу считать линейной.
2. Газ состоит из молекул массы *m* и находится при температуре *Т*. Запишите распределения молекул по кинетическим энергиям *W*. Определите наиболее вероятное значение кинетической энергии *W*вер.
3. Средняя длина свободного пробега *l*1 молекул водорода при нормальных условиях составляет 0,1 мкм. Определите среднюю длину их свободного пробега при давлении 0,1 Па, если температура газа остается постоянной.
4. Один моль азота (N2), занимавший при давлении 1,01·105 Па и температуре 0°С объем 22,4 л, адиабатно удвоил свой объем. Найти давление и температуру газа после расширения и совершенную им работу.
5. Холодильная машина, работающая по обратному циклу Карно, использует воду при 0°С в качестве холодильника и воду при 100°С в качестве нагревателя. Сколько воды замерзнет в холодильнике, если в пар превратился 1 л воды в кипятильнике?
6. Найти работу, совершаемую за один цикл, бензиновым ДВС, если объем цилиндра *V*1 = 5 л, степень сжатия β = 6, показатель адиабаты γ = 1,4, атмосферное давление *Р*0 = 105 Па.
7. Тепловой двигатель работает по циклу, состоящему из изотермического, изобарического и адиабатического процессов. При изобарическом процессе рабочее вещество (воздух массой 1 кг) нагревается от температуры 50 К до температуры 400 К. Определите изменение энтропии рабочего вещества при изотермическом сжатии.
8. Найти величину дифференциального эффекта Джоуля–Томсона для кислорода при температуре −100 °С.

**Вариант 5**

1. Манометр на баллоне с кислородом показывает давление 0,23 МПа в помещении с температурой 24 °С. Когда баллон вывесили на улицу (*t* = −12°С), манометр показал 0,19 МПа. Не было ли утечки газа?
2. Как будет изменяться доля молекул гелия, имеющих скорости, лежащие в интервале от <*v*> до <*v*> + Δ*v*, где Δ*v* = 20 м/с, при увеличении температуры с 300 до 600 К?
3. Ниже какого давления можно говорить о вакууме между стенками сосуда Дюара, если расстояние между стенками сосуда *l*0 = 8 мм, а температура *t* = 17°С? Эффективный диаметр молекул воздуха *d* принять равным 0,37 нм.
4. Идеальный газ находится в вертикально расположенном цилиндре с площадью дна 10 см2. Масса поршня 20 кг. Поршень в цилиндре может перемещаться без трения. Начальный объем газа 11,2 л. Температура газа 273 К. Теплоемкость этой массы газа при постоянном объеме *СV* = 21 Дж/К. Найти количество теплоты, необходимой для нагревания газа на 10 К. Давление наружного воздуха не учитывать.
5. Цикл Карно совершается многоатомным идеальным газом при изменении объема в изотермическом расширении от *V*1 = 0,1 м3 до *V*2 = 0,2 м3. Найти работу, совершаемую газом за цикл, если работа адиабатического сжатия равна 7 кДж.
6. Мощность бензинового ДВС 40 кВт, объем цилиндра *V*1 = 4 л, степень сжатия β = 6, атмосферное давление *Р*0 = 105 Па, показатель адиабаты γ = 1,4. Найти число циклов, которые делает двигатель за 1 с.
7. Теплоизолированный сосуд, разделенный перегородкой на две части объемами 1 и 11 л, наполнен азотом. В первой части азот находится под давлением 10 кПа, во втором – 400 кПа, температура газа одинакова и равна 10ºС. Определите изменение энтропии после удаления перегородки и установлении равновесного состояния.
8. Определить давление *Р* водяного пара массой *т =* 1 кг, взятого при температуре *Т =* 380 К в объеме 1000 и 2 л.

**Вариант 6**

1. Находившийся в закрытом баллоне нагрели от 300 до 360 К, при этом давление возросло на 81 КПа. Определить первоначальное давление.
2. Найти для газообразного азота температуру, при которой скоростям молекул *v*1 = 400 м/с и *v*2 = 700 м/с соответствуют одинаковые значения функции распределения Максвелла. Нарисовать график с указанием полученных результатов.
3. Чему равна масса азота, заполняющего объем *V* = 100 см3, если длина свободного пробега его молекул равна *l* = 23,2 нм? Эффективный диаметр молекул *d* = 0,28 нм.
4. Один моль идеального многоатомного газа, имевший температуру 290 К, был адиабатически сжат до 0,1 своего первоначального объема. Определить работу, затраченную на сжатие газа, и температуру газа после сжатия.
5. Какой идеальный газ используется при проведении цикла Карно, если работа за цикл равна 6 кДж, объем газа при изотермическом расширении изменяется от *V*1 = 20 л до *V*2 = 40 л, работа адиабатического сжатия равна −13,1 кДж.
6. Определить мощность бензинового ДВС, делающего 10 циклов в секунду, если объем цилиндра *V*1 = 2 л, степень сжатия β = 6, показатель адиабаты γ = 1,4, атмосферное давление *Р*0 = 105 Па.
7. Два цилиндра, заполненные одинаковым двухатомным газом, сообщаются с помощью трубки. В цилиндрах поддерживается постоянное давление, равное 1 атм. Начальные значения объемов и температур газа равны: 1 л и 11 л, 100 К и 450 К. После соединения цилиндров происходит выравнивание температур. Найдите изменение энтропии.
8. Найдите критическую температуру и температуру инверсии дифференциального эффекта Джоуля–Томсона для кислорода.

**Вариант 7**

1. Смесь объемом *V* = 20 л содержит смесь водорода и гелия при температуре *t* = 20°С и давлении *Р* = 2⋅105 Па. Масса смеси *m* = 50 г. Найти отношение массы водорода к массе гелия в данной смеси.
2. Для газообразного углекислого газа найти температуру, при которой скоростям молекул *v*1 = 350 м/с и *v*2 = 900 м/с соответствуют равные значения функции распределения Максвелла. Нарисуйте качественный график и объясните полученный результат.
3. Построить график зависимости вязкости η азота от температуры *Т* в интервале 100 ÷ 600 К через каждые 100 К.
4. В вертикально расположенном цилиндре под легко подвижным поршнем площадью 245 см2 находится 1 моль идеального газа при температуре 27°С. На поршне лежит груз массой 12,5 кг. Атмосферное давление вне цилиндра 0,1 МПа. Газ нагревают до температуры, при которой его объем увеличивается в 3 раза. Найти совершенную газом работу, первоначальный объем газа и число атомов в молекуле газа, если известно, что к газу было подведено 8725 Дж теплоты.
5. При проведении цикла Карно один моль воздуха с температурой *Т*1 = 273 К увеличился в объеме в 4 раза. Определить температуру *Т*2, если в изотермическом процессе газ получил *Q*1 = 5670 Дж теплоты.
6. Определить работу, совершаемую холодильной установкой, работающей по обратному циклу Карно, если из комнаты с температурой *Т*2 = 300 К отводится 10 МДж энергии в час в окружающую среду, температура которой *Т*1 = 330 К.
7. Один моль идеального двухатомного газа совершает цикл, состоящий из двух изохор и двух изобар, причем наибольшее давление в 5 раз больше наименьшего, а наибольший объем в 5 раз больше наименьшего. Определите изменение энтропии газа при изобарическом сжатии.
8. Углекислый газ адиабатически расширяется в пустоту, при этом температура газа уменьшается на 0,26°С. Вычислите работу, совершаемую 4,4 г газа против межмолекулярных сил притяжения.

**Вариант 8**

1. Полый шар объемом *V* = 10 см3, заполненный воздухом при температуре *Т*1 = 573 К, соединили с чашкой, заполненной водой. Определить массу *m* воды, вошедшей в шар при остывании воздуха в нем до температуры *Т*2 = 293 К. Изменением объема шара пренебречь.
2. В пучке частиц скорости имеют одно направление и лежат в интервале (*v*, *v* + Δ*v*). Масса частицы *m*. Определите скорость частиц после прохождения области, где на расстоянии *L*, вдоль направления движения на частицы, действовала сила *F*.
3. Определите эффективный диаметр молекул кислорода при нормальных условиях. Коэффициент диффузии равен 2,9⋅10−2 м2/с.
4. Один моль идеального двухатомного газа, занимавший при температуре 273 К и давлении 0,1 МПа объем 22,4 л, адиабатно сжимают до объема 11,2 л. После чего газ изотермически расширяется до первоначального объема. Найти изменение внутренней энергии газа и количество подведенной к нему теплоты.
5. Найти КПД цикла Карно, если температура холодильника *Т*2 = 0°С, количество тепла, полученного от нагревателя, *Q*1 = 5 кДж, степень изотермического и адиабатного расширения одного моля воздуха равна четырем.
6. Тепловая машина работает по циклу, состоящему из двух изотерм с температурами *Т*1 = 546 К и *Т*2 = 273 К, и двух изобар (*Р*1 = 2*Р*2). Найти КПД цикла, если рабочим веществом служит воздух.
7. В сосудах объемами *V*1 и *V*2 находятся по 1,2 моля гелия. Отношение объемов сосудов *V*2/*V*1 = 2, а отношение абсолютных температур гелия в них *Т*1/*Т*2 = 1,5. Считая газ идеальным, найдите разность энтропий Δ*S* гелия в этих сосудах.
8. Найти наибольший объем, который может занимать вода массой *m* *=* 1 кг в жидком состоянии (*а =* 5,4⋅10 Н⋅м4/кмоль2; *b* = 0,03 м3/кмоль).

**Вариант 9**

1. Найти давление *Р* смеси газа в сосуде объемом *V* = 5 л, если в нем находится *N*1= 2⋅1015 молекул кислорода, *N*2 = 8⋅1015 молекул азота и *m* = 1⋅10-9 кг аргона. Температура смеси *Т* = 290 К.
2. Идеальный газ с молярной массой *М* находится в однородном поле тяжести, ускорение свободного падения в котором равно *g*. Найти давление газа как функцию высоты *h*, если при *h* = 0, давление *Р* = *Р*0, а температура изменяется с высотой как *Т* = *Т*0 (1 – *аh*).
3. Определить при какой температуре коэффициент теплопроводности λ = 8,25 мВт/(м⋅К). Эффективный диаметр молекул азота *d* принять равным 0,38 нм.
4. В цилиндре под поршнем находится воздух. На его нагревание при постоянном давлении было затрачено 5 кДж теплоты. Найти совершенную газом работу. Удельная теплоемкость воздуха при постоянном давлении равна 103 Дж/(кг·К), масса 1 моля воздуха 29 г.
5. Найти КПД цикла Карно, если температура холодильника *Т*2 = 0°С, количество тепла, полученного от нагревателя, *Q*1 = 6000 Дж, давление при изотермическом и адиабатном расширении изменяется в четыре раза.
6. Один моль двухатомного газа совершает цикл, состоящий из двух изохор и двух изобар. Найти КПД цикла, если газ, занимающий объем 10 л при давлении *Р*1 = 105 Па, увеличил эти параметры вдвое.
7. Два моля идеального газа сначала изохорически охладили, а затем изобарически расширили так, что температура газа стала равной первоначальной. Найдите приращение энтропии газа, если его давление в этом процессе изменилось в 3,3 раза.
8. Найти изменение Δ*U* внутренней энергии в результате изотермического расширения *т =* 40 г гелия от объема *V*1 = 300 см3 до *V*2 = 600 см3.

**Вариант 10**

1. Поршневым воздушным насосом откачивают сосуд объемом *V*. За один ход поршня насос захватывает объем Δ*V*. Сколько следует сделать циклов, чтобы давление в сосуде уменьшилось в η раз. Процесс изотермический.
2. Какая часть молекул кислорода при 0°С обладает скоростью от 100 до 110 м/c?
3. Определить объем сосуда, в котором находится кислород при нормальных условиях, если общее число столкновений *Z* между молекулами кислорода в этом объеме за единицу времени *Z* = 1032 с−1.
4. В цилиндре под поршнем находится воздух. Какую работу необходимо произвести, чтобы поднять поршень на высоту *h*1 = 10 см, если начальная высота столба воздуха в цилиндре была *h*0 = 15 см? Атмосферное давление вне цилиндра 1,01·105 Па, площадь поршня 10 см2. Поршень считать невесомым, а температуру воздуха в цилиндре неизменной.
5. Определить наименьший объем газа *V*1, совершающего цикл Карно, если объем газа в процессах расширения и сжатия меняется следующим образом: *V*2 = 500 л; *V*3 = 850 л; *V*4 = 170 л.
6. Определить степень сжатия газа *Р*1/*Р*2 в тепловой машине, работающей по циклу, состоящему из двух изотерм с температурами *Т*1 = 400 К и *Т*2 = 200 К и двух изобар. КПД цикла равно η = 0,22. В качестве рабочего вещества используется идеальный двухатомный газ.
7. Определите количество тепла, которое необходимо сообщить макроскопической системе, находящейся при температуре 290 К, чтобы при неизменном объеме ее статистический вес (термодинамическая вероятность) увеличился на 1 %.
8. Найти количество тепла необходимое для изотермического расширения *т* = 40 г углекислого газа от объема *V*1 = 300 см3 до *V*2 = 600 см3.

**Вариант 11**

1. В баллоне вместимостью *V* = 30 л находится кислород при давлении 7,3 МПа и температуре 264 К. Затем часть газа из баллона выпустили, причем температура газа повысилась до 290 К, а давление упало до 2,94 МПа. Найти количество кислорода, выпущенного из баллона.
2. У поверхности Земли молекул гелия в 105 раз, а водорода в 106 раз меньше, чем молекул азота. На какой высоте число молекул Не будет равно числу молекул азота. Принять температуру атмосферы равной 273 К.
3. Найти давление, при котором находится воздух при температуре *t* =10°С, если коэффициент диффузии *D* = 1,45⋅10−5 м2/с, а вязкость η = 1,75 кг/(с⋅м).
4. Идеальный двухатомный газ при давлении 1,01·105 Па занимал объем 5 л, а при давлении, втрое большем, – объем 2 л. Переход из первого состояния во второе был произведен в 2 этапа: сначала изохорно, а затем изобарно. Найти изменение внутренней энергии газа и произведенную над газом работу.
5. Холодильная машина, работающая по обратному циклу Карно, совершает за один цикл работу *А* = 50 кДж, при температурах холодильника *t*1 = −5°С и окружающего воздуха *t*2 = 27°С. Найти количество теплоты *Q*1, переданное машиной атмосфере.
6. Определить максимальную температуру идеального одноатомного газа, используемого в качестве рабочего тела в тепловой машине, работающей по циклу, состоящему из двух изотерм (*Т*2 = 300 К) и двух изобар (*Р*1 = 2*Р*2). КПД цикла η = 0,19.
7. Определите изменение энтропии одноатомного идеального газа при политропическом сжатии в 5 раз, если в ходе всего процесса приращение внутренней энергии в 5 раз меньше работы сжатия, совершенной над газом.
8. Оцените возможное значение объема водорода, при котором происходит инверсия интегрального эффекта Джоуля – Томсона, если температура инверсии *Т*= 202 К, *а* = 0,245⋅105 Н⋅м4/кмоль2, *b* = 0,0266 м3/кмоль. Каков физический смысл этой величины.

**Вариант 12**

1. В объем (*V* = 0,3 м3), содержащий 16 г водорода, проник воздух. Найти массу этого воздуха, если при 6°С в объеме установилось давление 93 кПа.
2. Найти среднюю квадратичную скорость молекул водорода при температуре кипения водорода *Т* = 20 К и при *Т* = 5000 К, когда почти все молекулы диссоциированы на атомы.
3. Сколько молекул находится в сосуде объемом *V* = 2 л. Теплопроводность газа λ = 14 мВт/(м⋅К), а коэффициент диффузии *D* = 2,02⋅10−5 м2/с. Газ двухатомный.
4. Атомарный кислород (О), молекулярный кислород (О2) и озон (О3) отдельно друг от друга расширяются изобарно. Определить, какая часть подводимого тепла расходуется: 1) на работу расширения; 2) на изменение внутренней энергии О, О2, О3.
5. Дом отапливается тепловым насосом, работающим по обратному циклу Карно. Температура в доме *t* = 20°С, окружающего воздуха *t* = −20°С. Во сколько раз количество теплоты, получаемой домом от сгорания угля в печке, меньше количества теплоты, переданной тепловым насосом с паровой машиной с КПД η = 0,27, потребляющей ту же массу угля?
6. Определить минимальную температуру *Т*2 идеального многоатомного газа, используемого в качестве рабочего тела в тепловой машине, работающей по циклу, состоящему из двух изотерм (*Т*1 = 600 К) и двух изобар (*Р*1 = 3*Р*2). КПД цикла η = 0,15.
7. В сосуде находится *N* молекул идеального газа. Разделите мысленно сосуд на две одинаковые половины *А* и *В*. Определите математическую вероятность того, что в половине *А* сосуда окажется *N*1 молекул. Решите задачу для случая *N* = 3, *N*1 = 1.
8. Найти, во сколько раз давление газа больше его критического давления, если известно, что его объем и температура вдвое больше критических значений этих величин.

**Вариант 13**

1. В стеклянной, запаянной с одного конца трубке находится водород, «закрытый» столбиком ртути длиной 10,0 см. Первоначально трубка была повернута открытым концом вверх, и газ в ней имел температуру 16°С. Какова была длина столбика водорода, если после перевертывания трубки открытым концом вниз и нагревании газа до 39 °С ртутный столбик переместился на 7,0 см? Атмосферное давление равно 105 Па.
2. Плотность некоторого газа ρ = 3⋅10−3 кг/м3. Найти давление *Р* газа, которое он оказывает на стенки сосуда, если средняя квадратичная скорость молекул газа равна 500 м/с.
3. Коэффициент диффузии и вязкость кислорода при некоторых условиях равны *D* = 1,22⋅10−5 м2/с и η = 19,5 мкПа⋅с. Найти среднюю длину свободного пробега кислорода. Эффективный диаметр молекул кислорода *d* = 0,36 нм.
4. Один литр гелия, находившегося при нормальных условиях, за счет полученного извне тепла изотермически расширился до объема 2 л. Найти работу, совершенную газом при расширении, и количество подведенной к газу теплоты. Нормальные условия это: температура 0°С, давление 1,01·105 Па; один моль газа при нормальных условиях занимает объем 22,4 л; масса 1 моля гелия – 4 г.
5. Мощность паровой машины 10 кВт, объем цилиндра 4 л, объем *V*0 = 1 л, объем *V*1 = 3 л. Давление пара в котле *Р*1 = 1 МПа, в холодильнике *Р*0 = 0,1 МПа. Найти число циклов, которые делает машина за 1 с, если показатель адиабаты γ = 1,3.
6. Тепловая машина работает по циклу, состоящему из двух изохор и двух адиабат. Определить КПД цикла, если объем изменяется в 5 раз. В качестве рабочего тела используется воздух.
7. Смешали воду массой 5 кг при температуре 280 К с водой массой 8 кг при температуре 350 К. Теплоемкость воды равна 4,2 кДж/(кг·К). Найдите изменение энтропии, происходящее при смешивании.
8. 0,5 киломоля трехатомного газа адиабатически расширяется в вакуум от *V*1 = 0,5 м3 до *V*2*=* 3 м3. При этом происходит пониже­ние температуры газа на 12,2 °С. Найдите по этим данным постоянную *а* Ван-дер-Ваальса.

**Вариант 14**

1. Сухой атмосферный воздух при нормальных условиях содержит 23,1 % О2, 75,6 % азота и 1,3 % аргона. Определить парциальное давление каждого газа.
2. Как будет изменяться доля молекул гелия, лежащих в интервале от <*v*> до <*v*> + Δ*v*, где Δ*v* = 10 м/c, при увеличении температуры с 300 до 500 К? Нарисуйте графики и дайте графическое толкование решения.
3. Коэффициент диффузии и вязкость кислорода при некоторых условиях равны *D* = 1,22⋅10−5 м2/с и η = 19,5 мкПа⋅с. Найти плотность ρ, среднюю длину свободного пробега *l* и среднюю арифметическую скорость молекул *v* при этих условиях.
4. Один моль водорода (Н2), первоначально имевший температуру 0°С, нагревается при постоянном давлении. Какое количество теплоты необходимо сообщить газу, чтобы его объем удвоился? Найти работу, совершенную газом при расширении.
5. Определить мощность паровой машины, делающей 10 циклов в секунду, если объем цилиндра *V*2 = 10 л, объем *V*0 = 1 л, объем *V*1 = 9 л, давление пара в котле *Р*1 = 1,5 МПа, в холодильнике *Р*0 = 105 Па. Показатель адиабаты γ = 1,3.
6. Определить степень сжатия *V*1/*V*2 в тепловой машине с циклом, состоящим из двух изохор и двух адиабат, если КПД цикла η = 0,51. В качестве рабочего тела используется углекислый газ.
7. Теплоизолированный сосуд объемом *V* разделен перегородкой на две части, объемы которых относятся как 1:2. В большей части находится 0,1 моля идеального газа, в меньшей же создан высокий вакуум. Определите изменение энтропии при удалении перегородки.
8. Найдите, во сколько раз давление 1 киломоля кислорода больше его критического давления, если температура кислорода 400 К, а занимаемый объем равен 0,056 м3.

**Вариант 15**

1. Определить давление смеси окиси азота и азота в баллоне емкостью 2 м3, если масса окиси азота 13,5 кг, масса азота 0,5 кг, температура равна 300 К.
2. Какая часть общего числа молекул имеет скорости, большие наиболее вероятной скорости и меньше наиболее вероятной скорости? Проанализируйте решение задачи.
3. Коэффициент диффузии и вязкость водорода при некоторых условиях равны *D* = 1,42⋅10−4 м2/с и η = 8,5 мкПа⋅с. Найти число молекул водорода в единице объема.
4. В баллоне емкостью 10 л содержится кислород при температуре 27°С и давлении 10 МПа. Нагреваясь солнечными лучами, кислород получил 8350 Дж теплоты. Определить температуру и давление кислорода после нагревания.
5. Определить мощность паровой машины, если давление пара в котле *Р*1 = 1,5 МПа, объем изобарного расширения *V*1 = 10 л, объем *V*0 = 1 л, температуры котла и холодильника *t*1 = 200°С и *t*2 = 50°С соответственно. Машина делает 5 циклов в секунду, показатель адиабаты γ = 1,3.
6. Найти число степеней свободы газа, используемого в качестве рабочего тела в тепловой машине, работающей по циклу, состоящему из двух изохор и двух адиабат, если степень сжатия газа *V*1/*V*2 = 6, а КПД цикла η = 0,3.
7. Найдите, во сколько раз статистический вес наиболее вероятного распределения 8 одинаковых молекул по двум одинаковым половинам сосуда больше такого же распределения из 6 молекул?
8. Найти соотношение между температурой кислорода и его критической температурой, если кислород занимает объем 0,056 м3 при давлении 920 атм.

**Вариант 16**

1. В баллоне находится смесь идеальных газов: ν1 = 0,1 моля азота, ν2 = 0,2 моля углекислого газа, ν3 = 0,2 моля угарного газа. Найти молярную массу смеси.
2. В баллоне находится 2,5 г кислорода. Найти число молекул кислорода, скорости которых превышают значение средней квадратичной скорости.
3. Пространство между двумя параллельными пластинами площадью 150 см2 каждая, находящимися на расстоянии 5 мм друг от друга, заполнено кислородом. Одна пластинка поддерживается при температуре 17°С, другая – при температуре 27°С. Определите коэффициент теплопроводности λ, если количество теплоты, прошедшее за 5 мин посредством теплопроводности от одной пластины к другой, равно 76,4 Дж.
4. Азот (N2), расширяясь адиабатно, совершает работу, равную 480 кДж. Определить конечную температуру газа, если до расширения она была 362 К. Масса азота 12 кг.
5. Найти объем изобарного расширения в цикле паровой машины мощностью 10 кВт, совершающей 120 циклов в минуту, имеющей объем цилиндра *V*2 = 10 л, если давление пара в котле *Р*1 = 2 МПа. Показатель адиабаты γ = 2. Объемом *V*0 пренебречь.
6. Определить показатель адиабаты для газа, используемого в качестве рабочего тела в тепловой машине с циклом, состоящим из изотермы, изобары и изохоры, степень сжатия газа составляет *V*1/*V*2 = 10, КПД цикла η = 0,38.
7. В результате изохорического нагревания водорода массой 1 г давление газа увеличилось в два раза. Определите изменение энтропии газа.
8. Найти, во сколько раз температура 1 киломоля азота превышает его критическую температуру, если он находится при давлении 6,08⋅107 Па и занимает объем 55 дм3.

**Вариант 17**

1. Вычислить, исходя из классических представлений, угловую скорость вращения молекулы кислорода при температуре *t* = 27°С.
2. Определите среднюю арифметическую скорость молекул газа, если известно, что их средняя квадратичная скорость 1000 м/с.
3. Найти число степеней свободы идеального газа, для которого вязкость η = 8,6 мкПа⋅с, а теплопроводность λ = 89,33 мВт/(м⋅К).
4. Азот (N2) в воздушном шаре занимает объем 2 дм3 при нормальном атмосферном давлении 105 Па. Определить количество тепла, которое необходимо сообщить газу, чтобы при постоянном давлении его объем увеличился вдвое. Натяжением оболочки шара пренебречь.
5. Мощность паровой машины *Р* = 10 кВт, площадь поршня *S* = 0,01 м2, ход поршня *h* = 0,5 м. Изобарный процесс происходит при давлении поршня на половину его хода. Давление пара в котле *Р*1 = 2 МПа, в холодильнике *Р*0 = 0,1 МПа. Объемом *V*0 пренебречь. Сколько циклов за минуту делает машина, если показатель адиабаты γ = 1,3?
6. Тепловая машина работает по циклу, состоящему из двух изобар и двух адиабат. В качестве рабочего тела используется многоатомный идеальный газ. Степень сжатия газа *Р*1/*Р*2 = 10. Найти КПД цикла.
7. В сосуде объемом *V* находятся 4 молекулы идеального газа. Определите вероятность *w* того, что в одной половине сосуда будет одна молекула газа, а в другой – три.
8. Найти константу *а* Ван-дер-Ваальса, если при расширении 0,5 кмоля газа от *V*1 = 1 м3 до *V*1 = 1,2 м3 была совершена работа *А* = 5800Дж.

**Вариант 18**

1. Вычислить, исходя из классических представлений, угловую скорость вращения молекулы азота при температуре *t* = 27°С.
2. Вычислить при температуре *t* = 17 °С среднюю квадратичную скорость движения молекулы кислорода и среднюю квадратичную скорость капельки воды диаметром *d* = 0,1 мкм, взвешенной в воздухе.
3. Построить график зависимости коэффициента диффузии *D* водорода от температуры *Т* в интервале температур 100 ÷ 600 К через каждые 100 К при *р* = 10 кПа = const.
4. Какое количество теплоты потребуется для нагревания 5 м3 окиси углерода (СО) от температуры 0 до 220°С, если газ находится в цилиндрическом сосуде, закрытом сверху легко скользящим невесомым поршнем? Атмосферное давление равно 9,35·104 Па.
5. Найти давление в котле паровой машины, работающей с частотой 50 Гц, мощностью 5 кВт, имеющей объем цилиндра *V*2 = 1 л, объем изобарного расширения *V*1 = 0,5 л, объемом *V*0 пренебречь. Показатель адиабаты γ = 1,3.
6. Тепловая машина работает по циклу, состоящему из двух изобар и двух адиабат. КПД цикла равно η = 0,37. В качестве рабочего тела используется двухатомный идеальный газ. Найти степень сжатия газа *Р*1/*Р*2.
7. Два баллона объемами 1 и 11 м3 соединяются трубкой с краном. В первом баллоне находится 1 кг воздуха при температуре 1ºС, во втором – 36 кг воздуха при температуре 60 ºС. Найдите изменение энтропии системы после открывания крана и достижения равновесия, если система находится в термостате.
8. Найти эффективный диаметр молекулы кислорода, если *Т*к = 154 К и *Р*к = 50 атм.

**Вариант 19**

1. Определить удельный объем и азота массой *m* = 15 г при давлении *Р* = 0,15 МПа и температуре *Т* = 300 К.
2. Вычислить наиболее вероятную скорость молекул газа, у которого при нормальном атмосферном давлении плотность ρ = 1 г/л.
3. Определите массу азота, прошедшего вследствие диффузии через площадку 50 см2 за 20 с, если «градиент» плотности в направлении, перпендикулярном площадке, равен 1 кг/м4. Температура азота 290 К, а средняя длина свободного пробега его молекул равна 1 мкм.
4. В закрытом стальном баллоне находится 1,4 кг азота (N2) при давлении 105 Па и температуре 300 К. После нагревания давление в баллоне увеличилось в 5 раз. Найти объем сосуда и количество теплоты, сообщенной газу.
5. Найти расход топлива двигателя Дизеля мощностью 100 кВт. Степень сжатия β = 15, степень изобарного расширения α = 4, показатель адиабаты γ = 1,4. Теплота сгорания мазута *q* = 40 МДж/кг.
6. Тепловая машина работает по циклу, состоящему из двух изобар и двух адиабат с температурами *Т*1 = 300 К и *Т*2 = 400 К. Найти КПД цикла, если степень сжатия *V*1/*V*2 = 2, а в качестве рабочего тела используется многоатомный идеальный газ.
7. В калориметре с пренебрежимо малой теплоемкостью находится 400 г воды при температуре 273 К. В воду бросили кусочек льда массой 50 г при температуре 200 К и одновременно пустили 10 г пара при температуре 373 К. Найдите изменение энтропии системы. Теплообменом с окружающей средой пренебречь.
8. Найти внутреннее давление, обусловленное силами взаимодействия молекул, заключенных в 1 кмоле газа, находящегося при нормальных условиях. Критическая температура *Т*кр *=* 417 К.

**Вариант 20**

1. Аммиак нагрет до температуры *Т*, при которой у молекул возбуждены все степени свободы. Найти *СV* и *Ср* газа при этих условиях. Сделайте анализ. Как зависят *СV* и *Ср* от *Т*?
2. В сосуде находится кислород при температуре 1600 К. Какое число молекул кислорода имеет кинетическую энергию больше чем 6,65⋅10−20 Дж?
3. Найти толщину слоя воздуха, увлекаемого крылом самолета, если самолет летит со скоростью *v* = 480 км/ч, касательная сила, действующая на единицу поверхности крыла, *FS* = 0,045 Н/м2, диаметр молекул воздуха *d* = 0,3 нм, а температура воздуха равна *t* = 0 °С.
4. Некоторой массе окиси углерода (СО) при постоянном давлении было сообщено 29,1 кДж теплоты. В результате этого температура газа возросла от 300 до 400 К. Найти массу газа и увеличение его внутренней энергии.
5. Найти температуру воспламенения мазута в цилиндре двигателя Дизеля, если КПД η = 0,5, степень изобарного расширения α = 4, температура воздуха *Т*1 = 300 К, показатель адиабаты γ = 1,4.
6. Тепловая машина работает по циклу, состоящему из двух изохор и двух изотерм с температурами *Т*1 = 273 К и *Т*2 = 573 К. Определить степень сжатия *V*1/*V*2 двухатомного газа, если КПД цикла равен η = 0,425.
7. Давление насыщенного водяного пара при температуре 280 К равно 1 кПа. Пар, первоначально занимающий объем 2 л, изотермически сжимается так, что половина его конденсируется. Определите изменение энтропии системы. Удельную теплоту парообразования при этой температуре считать равной 1 МДж/кг.
8. Найти эффективный диаметр атома гелия, если *Т*к = 5,2 К и *Р*к = 2,25 атм.

**Вариант 21**

1. До какой температуры нужно нагреть запаянный шар, содержащий 9 г воды, чтобы шар разорвался, если известно, что стенки шара выдерживают давление не более 4,053 МПа, а его объем равен 1,2 л.
2. Вычислить среднеквадратичную скорость молекул газа, у которого при нормальном атмосферном давлении плотность ρ = 1,55 г/л.
3. В некотором сосуде находится кислород при нормальных условиях. Число столкновений *Z* между молекулами газа в этом сосуде в единицу времени равно *Z* = 1032 1/с. Эффективный диаметр молекул кислорода равен 0,38 нм. Найти объем этого сосуда.
4. Кислород (О2) нагревается при постоянном давлении 80 кПа. При этом объем газа увеличивается от 1 до 3 м3. Определить изменение внутренней энергии газа, совершенную им при расширении работу и количество сообщенной газу теплоты.
5. Найти давление в цилиндре двигателя Дизеля, если его КПД η = 0,5, степень изобарного расширения α = 4, показатель адиабаты γ = 1,4.
6. Тепловая машина работает по циклу, состоящему из двух изохор и двух изотерм, причем минимальная температура *Т*1 = 300 К. Определить, во сколько раз максимальная температура цикла *Т*2 больше минимальной *Т*1, если степень сжатия газа *V*1/*V*2 = 10, а КПД цикла равен η = 0,3.
7. В двух баллонах, соединенных трубкой с краном, находится 1 кг азота и 1 кг углекислого газа. Определите изменение энтропии системы после открытия крана и установления равновесия. Известно, что температуры и давления газов до смешения были одинаковы.
8. Найти внутреннее давление, обусловленное силами взаимодействия молекул, заключенных в 1 кмоле газа, находящегося при нормальных условиях. Критическое давление этого газа *Р*кр = 126 атм и критическая температура *Т*кр *=* 33,6 К.

**Вариант 22**

1. Метеорологический зонд-шар запускают с поверхности Земли при температуре 290 К. Давление в шаре 116 кПа. На некоторой высоте температура и давление атмосферного воздуха равны 253 К и 85 кПа. На сколько изменится объем шара на высоте, если давление, создаваемое за счет упругости оболочки шара, равно 5 кПа.
2. Азот массы *m* = 15 г находится в закрытом сосуде при температуре *Т* = 300 К. Какое количество тепла необходимо сообщить азоту, чтобы средняя квадратичная скорость его молекул возросла в 2 раза.
3. Пространство между двумя коаксиальными цилиндрами заполнено водородом при атмосферном давлении и температуре *t* = 17°С. Радиусы цилиндров соответственно равны *r*1 = 10 см и *r*2 = 10,5 см. Внешний цилиндр приводят во вращение со скоростью 15 об/с. Какой момент сил нужно приложить к внутреннему цилиндру, чтобы он оставался неподвижным? Длина цилиндров *l* = 30 см. Эффективный диаметр молекул водорода *d* = 2,3⋅10−8 см.
4. При изобарном нагревании молекулярного азота (N2) ему было сообщено 21 кДж теплоты. Найти работу, совершенную газом, и изменение его внутренней энергии.
5. Цикл тепловой машины состоит из изотермы, адиабаты и изобары, причем изотермический процесс происходит при минимальной температуре цикла. Степень сжатия одноатомного газа равна *Р*1/*Р*2 = 2. Найти КПД цикла.
6. Найти работу, совершаемую двигателем Дизеля за один цикл, если давление в цилиндре *Р*1 = 4,5⋅106 Па, объем цилиндра *V*1 = 6 л, объем изобарного расширения изменяется от *V*2 = 0,4 л до *V*3 = 1,6 л. Показатель адиабаты γ = 1,4.
7. Адиабатически изолированный сосуд разделен перегородкой на две равные части, одна из которых пуста, а в другой находится 1 моль двухатомного идеального газа при температуре 100 К. После удаления перегородки газ изотермически сжимают до начального объема. Определите изменение энтропии газа.
8. Найти понижение температуры при расширении 20 кг азота в пустоту от *V*1 = 1,0 м3 до *V*2*=* 2 м3.

**Вариант 23**

1. Манометр на баллоне с кислородом показывает давление 0,23 МПа в помещении с температурой 24 °С. Когда баллон вывесили на улицу (*t* = −12°С), манометр показал 0,19 МПа. Не было ли утечки газа?
2. Найти для газообразного азота температуру, при которой скоростям молекул *v*1 = 400 м/с и *v*2 = 700 м/с соответствуют одинаковые значения функции распределения Максвелла. Нарисовать график с указанием полученных результатов.
3. Построить график зависимости вязкости η азота от температуры *Т* в интервале 100 ÷ 600 К через каждые 100 К.
4. Один моль идеального двухатомного газа, занимавший при температуре 273 К и давлении 0,1 МПа объем 22,4 л, адиабатно сжимают до объема 11,2 л. После чего газ изотермически расширяется до первоначального объема. Найти изменение внутренней энергии газа и количество подведенной к нему теплоты.
5. Найти КПД цикла Карно, если температура холодильника *Т*2 = 0°С, количество тепла, полученного от нагревателя, *Q*1 = 6000 Дж, давление при изотермическом и адиабатном расширении изменяется в четыре раза.
6. Определить степень сжатия газа *Р*1/*Р*2 в тепловой машине, работающей по циклу, состоящему из двух изотерм с температурами *Т*1 = 400 К и *Т*2 = 200 К и двух изобар. КПД цикла равно η = 0,22. В качестве рабочего вещества используется идеальный двухатомный газ.
7. Определите изменение энтропии одноатомного идеального газа при политропическом сжатии в 5 раз, если в ходе всего процесса приращение внутренней энергии в 5 раз меньше работы сжатия, совершенной над газом.
8. Найти, во сколько раз давление газа больше его критического давления, если известно, что его объем и температура вдвое больше критических значений этих величин.

**Вариант 24**

1. Находившийся в закрытом баллоне нагрели от 300 до 360 К, при этом давление возросло на 81 КПа. Определить первоначальное давление.
2. Для газообразного углекислого газа найти температуру, при которой скоростям молекул *v*1 = 350 м/с и *v*2 = 900 м/с соответствуют равные значения функции распределения Максвелла. Нарисуйте качественный график и объясните полученный результат.
3. Определите эффективный диаметр молекул кислорода при нормальных условиях. Коэффициент диффузии равен 2,9⋅10−2 м2/с.
4. В цилиндре под поршнем находится воздух. На его нагревание при постоянном давлении было затрачено 5 кДж теплоты. Найти совершенную газом работу. Удельная теплоемкость воздуха при постоянном давлении равна 103 Дж/(кг·К), масса 1 моля воздуха 29 г.
5. Определить наименьший объем газа *V*1, совершающего цикл Карно, если объем газа в процессах расширения и сжатия меняется следующим образом: *V*2 = 500 л; *V*3 = 850 л; *V*4 = 170 л.
6. Определить максимальную температуру идеального одноатомного газа, используемого в качестве рабочего тела в тепловой машине, работающей по циклу, состоящему из двух изотерм (*Т*2 = 300 К) и двух изобар (*Р*1 = 2*Р*2). КПД цикла η = 0,19.
7. В сосуде находится *N* молекул идеального газа. Разделите мысленно сосуд на две одинаковые половины *А* и *В*. Определите математическую вероятность того, что в половине *А* сосуда окажется *N*1 молекул. Решите задачу для случая *N* = 3, *N*1 = 1.
8. 0,5 киломоля трехатомного газа адиабатически расширяется в вакуум от *V*1 = 0,5 м3 до *V*2*=* 3 м3. При этом происходит пониже­ние температуры газа на 12,2 °С. Найдите по этим данным постоянную *а* Ван-дер-Ваальса.

**Вариант 25**

1. Смесь объемом *V* = 20 л содержит смесь водорода и гелия при температуре *t* = 20°С и давлении *Р* = 2⋅105 Па. Масса смеси *m* = 50 г. Найти отношение массы водорода к массе гелия в данной смеси.
2. В пучке частиц скорости имеют одно направление и лежат в интервале (*v*, *v* + Δ*v*). Масса частицы *m*. Определите скорость частиц после прохождения области, где на расстоянии *L*, вдоль направления движения на частицы, действовала сила *F*.
3. Определить при какой температуре коэффициент теплопроводности λ = 8,25 мВт/(м⋅К). Эффективный диаметр молекул азота *d* принять равным 0,38 нм.
4. В цилиндре под поршнем находится воздух. Какую работу необходимо произвести, чтобы поднять поршень на высоту *h*1 = 10 см, если начальная высота столба воздуха в цилиндре была *h*0 = 15 см? Атмосферное давление вне цилиндра 1,01·105 Па, площадь поршня 10 см2. Поршень считать невесомым, а температуру воздуха в цилиндре неизменной.
5. Холодильная машина, работающая по обратному циклу Карно, совершает за один цикл работу *А* = 50 кДж, при температурах холодильника *t*1 = −5°С и окружающего воздуха *t*2 = 27°С. Найти количество теплоты *Q*1, переданное машиной атмосфере.
6. Определить минимальную температуру *Т*2 идеального многоатомного газа, используемого в качестве рабочего тела в тепловой машине, работающей по циклу, состоящему из двух изотерм (*Т*1 = 600 К) и двух изобар (*Р*1 = 3*Р*2). КПД цикла η = 0,15.
7. Смешали воду массой 5 кг при температуре 280 К с водой массой 8 кг при температуре 350 К. Теплоемкость воды равна 4,2 кДж/(кг·К). Найдите изменение энтропии, происходящее при смешивании.
8. Найдите, во сколько раз давление 1 киломоля кислорода больше его критического давления, если температура кислорода 400 К, а занимаемый объем равен 0,056 м3.