

Вариант № 1.

**ДАВЛЕНИЕ ГАЗА. ТЕМПЕРАТУРА И СРЕДНЯЯ ЭНЕРГИЯ
ТЕПЛОВОГО ДВИЖЕНИЯ МОЛЕКУЛ.
УРАВНЕНИЕ СОСТОЯНИЯ ИДЕАЛЬНОГО ГАЗА**

2.1. Современные вакуумные насосы позволяют получать давления $P = 4 \cdot 10^{-15}$ атм. Считая, что газом является азот (при комнатной температуре), найти число его молекул в 1 см^3 .

Ответ: $1 \cdot 10^5 \text{ см}^3$.

3.1. В баллоне емкостью $0,05 \text{ м}^3$ находятся $0,12 \text{ Кмоль}$ газа при давлении $6 \cdot 10^6 \text{ Па}$. Определить среднюю кинетическую энергию теплового движения молекулы газа.

РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МАКСВЕЛЛА И БОЛЬЦМАНА

2.1. Плотность некоторого газа $\rho = 3 \cdot 10^{-3} \text{ кг/м}^3$. Найти давление P газа, которое он оказывает на стенки сосуда, если средняя квадратичная скорость молекул газа равна 500 м/с .

Ответ: 250 Па .

3.1. При какой температуре газа, состоящего из смеси азота и кислорода, наиболее вероятные скорости молекул азота и кислорода будут отличаться друг от друга на $\Delta v = 30 \text{ м/с}$.

ПЕРВОЕ НАЧАЛО ТЕРМОДИНАМИКИ

3.1. Два моля идеального одноатомного газа, находящегося при $0 \text{ }^\circ\text{C}$, сначала изохорно перевели в состояние, когда давление стало вдвое больше первоначального. Затем газ изобарно перевели в состояние, при котором его объем стал вдвое больше первоначального. Найти изменение внутренней энергии газа. Ответ: $20,4 \text{ кДж}$.

3.3. Азот (N_2) массой 200 г нагревают при постоянном давлении от 20 до $100 \text{ }^\circ\text{C}$. Найти подведенное к газу количество теплоты, увеличение внутренней энергии газа и совершенную им работу.

Ответ: $16,6 \text{ кДж}$; $11,9 \text{ кДж}$; $4,7 \text{ кДж}$.

ВТОРОЕ НАЧАЛО ТЕРМОДИНАМИКИ

3.1. Мощность паровой машины 10 кВт , объем цилиндра 4 л , объем $V_0 = 1 \text{ л}$, объем $V_1 = 3 \text{ л}$. Давление пара в котле $P_1 = 1 \text{ МПа}$, в холодильнике

$P_0 = \quad = 0,1 \text{ МПа}$. Найти число циклов, которые делает машина за 1 с , если показатель адиабаты $\gamma = 1,3$.

Ответ: 4 цикла.

4.1. Один моль двухатомного газа совершает цикл, состоящий из двух изохор и двух изобар. Найти КПД цикла, если газ, занимающий объем 10 л при давлении $P_1 = 10^5 \text{ Па}$, увеличил эти параметры вдвое.

Ответ: $\eta = 0,1$.

ЭНТРОПИЯ

2.1. Найдите статистический вес наиболее вероятного распределения 6 одинаковых молекул по двум одинаковым половинам сосуда.

Ответ: 20 .

3.1. Во сколько раз следует изотермически увеличить объем, занимаемый 4 молями газа, чтобы его энтропия увеличилась на 23 Дж/К ?

Ответ: 2 .

14. РЕАЛЬНЫЕ ГАЗЫ И ЖИДКОСТИ

Реальные газы

2.1. Определить давление ван-дер-ваальсовского водорода при температуре $0 \text{ }^\circ\text{C}$, если молярный объем равен $0,5 \text{ м}^3$.

Ответ: $22,8 \cdot 10^5 \text{ Па}$.

3.1. 1 киломоль гелия занимает объем $V = 0,237 \text{ м}^3$ при температуре $T = 73 \text{ К}$. Найдите давление газа.

Ответ: $P = 2,7 \cdot 10^6 \text{ Па}$.

Вариант № 2.

**ДАВЛЕНИЕ ГАЗА. ТЕМПЕРАТУРА И СРЕДНЯЯ ЭНЕРГИЯ
ТЕПЛОВОГО ДВИЖЕНИЯ МОЛЕКУЛ.
УРАВНЕНИЕ СОСТОЯНИЯ ИДЕАЛЬНОГО ГАЗА**

2.2. Воздух в аудитории находится при нормальных условиях. Найти число его молекул в 1 см^3 .

Ответ: $2,5 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$.

4.2. Смесь объемом $V = 20 \text{ л}$ содержит смесь водорода и гелия при температуре $t = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ и давлении $P = 2 \cdot 10^5 \text{ Па}$. Масса смеси $m = 50 \text{ г}$. Найти отношение массы водорода к массе гелия в данной смеси.

Ответ: 0,5.

РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МАКСВЕЛЛА И БОЛЬЦМАНА

3.2. При какой температуре газа, состоящего из смеси водорода и гелия, наиболее вероятные скорости молекул этих газов будут отличаться друг от друга на $\Delta v = 20 \text{ м/с}$.

Ответ: 5,4 К.

4.2. Какая часть молекул кислорода при $0 \text{ }^\circ\text{C}$ обладает скоростью от 100 до 110 м/с?

Ответ: 0,4 %.

ПЕРВОЕ НАЧАЛО ТЕРМОДИНАМИКИ

2.2. Атомарный кислород (O), молекулярный кислород (O_2) и озон (O_3) отдельно друг от друга расширяются изобарно. Определить, какая часть подводимого тепла расходуется: 1) на работу расширения; 2) на изменение внутренней энергии O , O_2 , O_3 .

Ответ: 1) 0,4; 0,29; 0,25; 2) 0,6; 0,71; 0,75.

2.3. При изобарном сжатии азота (N_2) была совершена работа, равная 12 кДж. Определить подведенное к газу количество теплоты и изменение внутренней энергии газа.

Ответ: 18 кДж; 30 кДж.

ВТОРОЕ НАЧАЛО ТЕРМОДИНАМИКИ

2.2. Найти давление и объем в начале и конце адиабатического сжатия цикла Карно, если температуры холодильника и нагревателя равны $T_2 = 300 \text{ К}$ и $T_1 = 1000 \text{ К}$, давление в начальной точке $P_4 = 0,1 \text{ МПа}$, показатель адиабаты $\gamma = 1,4$.

Ответ: $P_1 = 6,7 \text{ МПа}$; $V_1 = 1,24 \text{ м}^3/\text{кмоль}$; $V_4 = 25 \text{ м}^3/\text{кмоль}$.

3.2. Определить мощность паровой машины, делающей 10 циклов в секунду, если объем цилиндра $V_2 = 10 \text{ л}$, объем $V_0 = 1 \text{ л}$, объем $V_1 = 9 \text{ л}$,

давление пара в котле $P_1 = 1,5 \text{ МПа}$, в холодильнике $P_0 = 10^5 \text{ Па}$. Показатель адиабаты $\gamma = 1,3$.

Ответ: 125 кВт.

4.2. Тепловая машина работает по циклу, состоящему из двух изотерм с температурами $T_1 = 546 \text{ К}$ и $T_2 = 273 \text{ К}$, и двух изобар ($P_1 = 2P_2$). Найти КПД цикла, если рабочим веществом служит воздух.

Ответ: $\eta = 0,142$.

ЭНТРОПИЯ

2.2. В сосуде находится N молекул идеального газа. Разделите мысленно сосуд на две одинаковые половины A и B . Определите математическую вероятность того, что в половине A сосуда окажется N_1 молекул. Решите задачу для случая $N = 3$, $N_1 = 1$.

Ответ: 0,375.

3.2. При изотермическом расширении идеального газа, находящегося при температуре $17 \text{ }^\circ\text{C}$, была совершена работа 870 Дж. На сколько при этом увеличилась энтропия газа?

Ответ: 3 Дж/К.

14. РЕАЛЬНЫЕ ГАЗЫ И ЖИДКОСТИ

А. Реальные газы

2.2. Определить давление ван-дер-ваальсовского кислорода при температуре $-100 \text{ }^\circ\text{C}$, если молярный объем равен 1 л.

Ответ: $14,86 \cdot 10^5 \text{ Па}$.

3.2. Найти, во сколько раз давление газа больше его критического давления, если известно, что его объем и температура вдвое больше критических значений этих величин.

Ответ: $\frac{P}{P_{\text{кр}}} = 2,45$.

Вариант № 3.

**ДАВЛЕНИЕ ГАЗА. ТЕМПЕРАТУРА И СРЕДНЯЯ ЭНЕРГИЯ
ТЕПЛОВОГО ДВИЖЕНИЯ МОЛЕКУЛ.
УРАВНЕНИЕ СОСТОЯНИЯ ИДЕАЛЬНОГО ГАЗА**

2.3. Определить давление, при котором 1 см^3 газа содержит $2,4 \cdot 10^{26}$ молекул. Температура газа равна $0 \text{ }^\circ\text{C}$.

Ответ: 1,1 МПа.

3.3. Масса легкой молекулы неорганического вещества $m = 3,6 \cdot 10^{-24} \text{ кг}$. Найти полную среднюю кинетическую энергию теплового движения такой молекулы, взвешенной в воздухе при температуре $27 \text{ }^\circ\text{C}$.

Ответ: $1,26 \cdot 10^{-20} \text{ Дж}$.

РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МАКСВЕЛЛА И БОЛЬЦМАНА

2.3. Найти отношение η средних арифметических скоростей молекул водорода и азота при $T = \text{const}$ для обоих газов.

Ответ: $\eta = 3,7$.

4.3. Какая часть молекул азота при $150 \text{ }^\circ\text{C}$ обладает скоростями от 310 до 315 м/с ?

Ответ: 2,6 %.

ПЕРВОЕ НАЧАЛО ТЕРМОДИНАМИКИ

2.3. При изобарном сжатии азота (N_2) была совершена работа, равная 12 кДж. Определить подведенное к газу количество теплоты и изменение внутренней энергии газа.

Ответ: 18 кДж; 30 кДж.

4.3. В цилиндре с поршнем находится 2 кг воздуха. Начальная температура газа 293 К, а давление 0,98 МПа. Газ изобарно нагревают до температуры 393 К. Чему при этом равна работа, совершенная газом? Молярная масса воздуха $0,029 \text{ кг/моль}$.

Ответ: 57 кДж.

ВТОРОЕ НАЧАЛО ТЕРМОДИНАМИКИ

2.3. Найти давление и объем в начале и конце адиабатического расширения цикла Карно, если температуры нагревателя и холодильника равны $T_1 = 1000 \text{ К}$ и $T_2 = 300 \text{ К}$, давление в начальной точке $P_2 = 10^6 \text{ Па}$, показатель адиабаты $\gamma = 1,4$.

Ответ: $V_2 = 8,3 \text{ м}^3/\text{кмоль}$; $P_3 = 0,15 \cdot 10^5 \text{ Па}$; $V_3 = 166,7 \text{ м}^3/\text{кмоль}$.

4.3. Найти число степеней свободы i газа, используемого в тепловой машине, работающей по циклу, состоящему из двух изотерм ($T_1 = 50 \text{ К}$; $T_2 = 300 \text{ К}$) и двух изобар ($P_1 = 3P_2$). КПД цикла $\eta = 0,21$.

Ответ: $i = 3$.

ЭНТРОПИЯ

2.3. В сосуде объемом V находятся N молекул. Определите вероятность w того, что в объеме V_1 , который представляет собой часть объема V , не будет ни одной молекулы. Расчет проведите для случая, когда $V/V_1 = 2$, $N = 2$.

Ответ: 0,250.

3.3. Один киломоль идеального газа изотермически расширяется так, что при этом происходит изменение энтропии на 5750 Дж/К . Определите отношение начального и конечного давлений газа.

Ответ: 2.

14. РЕАЛЬНЫЕ ГАЗЫ И ЖИДКОСТИ

А. Реальные газы

1.1. Какова схема возникновения ориентационных сил молекулярных взаимодействий?

2.3. Определить собственный объем молекул углекислого газа, находящегося в баллоне при температуре $T = 0 \text{ }^\circ\text{C}$, если его масса равна $0,5 \text{ кг}$.

Ответ: $1,22 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3$.

3.3. 1 киломоль кислорода занимает объем 56 л при давлении $90,25 \cdot 10^6 \text{ Па}$. Найти температуру кислорода.

Ответ: 400 К.

Вариант № 4.

**ДАВЛЕНИЕ ГАЗА. ТЕМПЕРАТУРА И СРЕДНЯЯ ЭНЕРГИЯ
ТЕПЛОВОГО ДВИЖЕНИЯ МОЛЕКУЛ.
УРАВНЕНИЕ СОСТОЯНИЯ ИДЕАЛЬНОГО ГАЗА**

2.4. Давление газа при 293 К равно 107 КПа. Каково будет давление газа, если его нагреть при постоянном объеме до 423 К?

Ответ: $1,54 \cdot 10^5$ Па.

3.4. Найти полную среднюю кинетическую энергию молекул аммиака при температуре 27 °С.

Ответ: $1,26 \cdot 10^{-20}$ Дж.

РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МАКСВЕЛЛА И БОЛЬЦМАНА

2.4. Найти отношение η наиболее вероятных скоростей молекул водорода и углекислого газа при одинаковых температурах.

Ответ: $\eta = 4,7$.

4.4. Какая часть молекул водорода при 0 °С обладает скоростями от 2000 до 2100 м/с.

Ответ: 4,5 %.

ПЕРВОЕ НАЧАЛО ТЕРМОДИНАМИКИ

1.4. Определить работу расширения при постоянном давлении 7 кг водорода (H_2) и количество теплоты, переданное водороду, если при этом температура газа повысилась на 200 °С.

Ответ: 5817 кДж; 20360 кДж.

4.4. Вертикальный цилиндр закрыт невесомым поршнем. Площадь основания цилиндра 1 м². Под поршнем находится воздух при температуре 0 °С и давлении $1,01 \cdot 10^5$ Па. Воздух под поршнем нагревают на 1 °С, и поршень при этом поднимается. Найти работу, совершенную расширяющимся воздухом.

Ответ: 370,4 Дж.

ВТОРОЕ НАЧАЛО ТЕРМОДИНАМИКИ

2.4. Найти величину работы, совершаемой газом при расширении в цикле Карно, если температура нагревателя $T_1 = 1000$ К, холодильника $T_2 = 300$ К, показатель адиабаты $\gamma = 1,4$.

Ответ: $A = 14,5 \cdot 10^6$ Дж/кмоль.

3.4. Найти объем цилиндра паровой машины мощностью 10 кВт, совершающей один цикл в секунду, если давление пара в котле $P_1 = 2$ МПа, объем изобарного расширения $V_1 = 5$ л, объемом V_0 пренебречь. Показатель политропы $\gamma = 2$.

Ответ: $V_2 = 5,3$ л или 94,7 л.

ЭНТРОПИЯ

2.4. Энтропия термодинамической системы в некотором состоянии равна 276 мДж/К. Определите логарифм статистического веса этого состояния системы.

Ответ: $2 \cdot 10^{22}$.

3.4. В результате изотермического сжатия 0,887 м³ воздуха, находящегося при температуре 30 °С и начальном давлении 0,1 МПа, энтропия его уменьшилась на 673 Дж/К. Определите объем воздуха в конце процесса.

Ответ: $8,87 \cdot 10^{-2}$ м³.

РЕАЛЬНЫЕ ГАЗЫ И ЖИДКОСТИ

А. Реальные газы

2.4. Определить собственный объем молекул гелия, находящегося при температуре -100 °С, если его масса 0,1 кг.

Ответ: $1,50 \cdot 10^{-4}$ м³.

3.4. 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 a Ван-дер-Ваальса.

Ответ: $a = 3,64 \cdot 10^5$ Н·м⁴/кмоль².

Вариант № 5.

**ДАВЛЕНИЕ ГАЗА. ТЕМПЕРАТУРА И СРЕДНЯЯ ЭНЕРГИЯ
ТЕПЛОВОГО ДВИЖЕНИЯ МОЛЕКУЛ.
УРАВНЕНИЕ СОСТОЯНИЯ ИДЕАЛЬНОГО ГАЗА**

2.5. Давление газа при 293 К равно 107 КПа. Каково будет давление газа, если его охладить при постоянном объеме до 250 К?

Ответ: $0,91 \cdot 10^5$ Па.

3.5. Восемь граммов кислорода занимают объем $V = 560$ л. Определить давление этого газа в том же объеме при температуре $T_1 = 820$ К и $T_2 = 10$ кэВ, когда атомы кислорода полностью ионизованы.

Ответ: $P_1 = 0,03$ атм; $P_2 = 7,6 \cdot 10^4$ атм.

РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МАКСВЕЛЛА И БОЛЬЦМАНА

3.5. Определить температуру газа, для которой средняя квадратичная скорость молекул водорода больше их наиболее вероятной скорости на $\Delta v = 400$ м/с.

Ответ: $T = \frac{m(\Delta v)^2}{K(\sqrt{3} - \sqrt{2})} = 330,0$ К.

4.5. Какая часть молекул азота, находящегося при $T = 400$ К, имеет скорости, лежащие в интервале от $v_{нв}$ до $v_{нв} + \Delta v$, где $\Delta v = 20$ м/с?

Ответ: 1,66 %, не зависит от T .

ПЕРВОЕ НАЧАЛО ТЕРМОДИНАМИКИ

2.5. Идеальный газ объемом 2 м^3 при изотермическом расширении изменяет давление от $12 \cdot 10^5$ до $2 \cdot 10^5$ Па. Определить работу расширения газа, изменение внутренней энергии и количество подведенной теплоты.

Ответ: 4,3 МДж; 0 Дж; 4,3 МДж.

4.5. Находящийся в цилиндре с поршнем кислород (O_2) нагревается при постоянном давлении. Начальная температура газа 0°C , масса газа 16 г. Какое количество теплоты было сообщено кислороду, если при этом его объем удвоился? Удельная теплоемкость кислорода при постоянном давлении $C_p = 913,4$ Дж/(кг·К).

Ответ: 7977 Дж.

ВТОРОЕ НАЧАЛО ТЕРМОДИНАМИКИ

2.5. Холодильная машина, работающая по обратному циклу Карно, использует воду при 0°C в качестве холодильника и воду при 100°C в качестве нагревателя. Сколько воды замерзнет в холодильнике, если в пар превратился 1 л воды в кипятыльнике?

Ответ: $m = 4,94$ кг.

3.5. Найти объем изобарного расширения в цикле паровой машины мощностью 10 кВт, совершающей 120 циклов в минуту, имеющей объем цилиндра $V_2 = \quad = 10$ л, если давление пара в котле $P_1 = 2$ МПа. Показатель политропы $\gamma = 2$. Объемом V_0 пренебречь.

Ответ: $V_1 = 1,4$ л или 8,6 л.

ЭНТРОПИЯ

2.5. Один моль идеального газа изотермически расширяется так, что при этом происходит увеличение энтропии на 5,75 Дж/К. Определите натуральный логарифм отношения статистических весов конечного и начального состояний газа.

Ответ: $4,2 \cdot 10^{23}$.

4.5. Пять молей идеального газа адиабатически расширяются в вакуум от объема в 1 до 20 л. Вычислите изменение энтропии газа.

Ответ: 124 Дж/К.

14. РЕАЛЬНЫЕ ГАЗЫ И ЖИДКОСТИ

А. Реальные газы

2.5. Определить собственный объем молекул гелия и собственный объем молекул хлористого водорода, если их масса одинакова и равна 0,2 кг. Объяснить полученный результат.

Ответ: $3 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3$; $0,28 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3$.

3.5. 1 киломоль кислорода занимает объем 42 л при давлении $90 \cdot 10^6$ Па. Найдите температуру кислорода.

Ответ: 145 К.

Вариант № 6.

**ДАВЛЕНИЕ ГАЗА. ТЕМПЕРАТУРА И СРЕДНЯЯ ЭНЕРГИЯ
ТЕПЛОВОГО ДВИЖЕНИЯ МОЛЕКУЛ.
УРАВНЕНИЕ СОСТОЯНИЯ ИДЕАЛЬНОГО ГАЗА**

2.6. 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 $1,11 \cdot 10^5$ Па. Объясните практическое значение пониженного давления при изготовлении ламп.

Ответ: $T = 633$ К.

3.6. Вычислить, исходя из классических представлений, средние энергии поступательного и вращательного движения двухатомной молекулы при $T = 4500$ К.

Ответ: $9,32 \cdot 10^{-20}$ Дж; $6,21 \cdot 10^{-21}$ Дж.

РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МАКСВЕЛЛА И БОЛЬЦМАНА

3.6. При какой температуре газа число молекул со скоростями в интервале от v до $v + dv$ будет максимально? Указание: вычислить производную dN/dT . Оценить данную температуру, если газ гелий и $v = 1000$ м/с.

Ответ: 220 К.

4.6. Как будет изменяться доля молекул гелия, лежащих в интервале от $\langle v \rangle$ до $\langle v \rangle + \Delta v$, где $\Delta v = 10$ м/с, при увеличении температуры с 300 до 500 К? Нарисуйте графики и дайте графическое толкование решения.

Ответ: уменьшится в 1,3 раза.

ПЕРВОЕ НАЧАЛО ТЕРМОДИНАМИКИ

2.6. В изотермическом процессе расширения 1,2 кг азота (N_2) ему было сообщено 120 кДж теплоты. Определить, во сколько раз изменилось давление азота. Температура газа 7 °С.

Ответ: уменьшилась в 3,3 раза.

4.6. В вертикальном цилиндре под поршнем находится 1 моль идеального газа. Масса поршня m , а площадь S . При нагревании на 1 К газ совершает работу по поднятию поршня. Найти эту работу. Давление наружного воздуха не учитывать. Универсальная газовая постоянная $R = 8,31$ Дж/(моль·К).

Ответ: 8,31 Дж.

ВТОРОЕ НАЧАЛО ТЕРМОДИНАМИКИ

2.6. Температура холодильника в цикле Карно $T_2 = 300$ К. Определить, во сколько раз увеличится КПД цикла, если температура нагревателя увеличилась в 2 раза и стала больше температуры холодильника на 500 К.

Ответ: 2,5 раза.

4.6. Определить минимальную температуру T_2 идеального многоатомного газа, используемого в качестве рабочего тела в тепловой машине, работающей по циклу, состоящему из двух изотерм ($T_1 = 600$ К) и двух изобар ($P_1 = 3P_2$). КПД цикла $\eta = 0,15$.

Ответ: $T_2 = 400$ К.

ЭНТРОПИЯ

2.6. Один моль идеального газа изотермически расширяется так, что при этом происходит увеличение энтропии на 8,31 Дж/К. Определите начальное давление газа, если конечное равно 5 кПа.

Ответ: 13,59 кПа.

3.6. В результате изохорического охлаждения углекислого газа массой 44 г температура газа уменьшилась в e раз. Определите изменение энтропии газа.

Ответ: $-24,93$ Дж/К.

14. РЕАЛЬНЫЕ ГАЗЫ И ЖИДКОСТИ

А. Реальные газы

1.2. Как возникает дисперсионное молекулярное взаимодействие?

2.6. Определить внутреннее давление кислорода, находящегося в баллоне объемом 1 л при температуре 0 °С. Масса кислорода 1 кг.

Ответ: $13,28 \cdot 10^5$ Па.

3.6. Найдите, во сколько раз давление 1 киломоля кислорода больше его критического давления, если температура кислорода 400 К, а занимаемый объем равен $0,056$ м³.

Ответ: 18,4 раза.

Вариант № 7.

**ДАВЛЕНИЕ ГАЗА. ТЕМПЕРАТУРА И СРЕДНЯЯ ЭНЕРГИЯ
ТЕПЛОВОГО ДВИЖЕНИЯ МОЛЕКУЛ.
УРАВНЕНИЕ СОСТОЯНИЯ ИДЕАЛЬНОГО ГАЗА**

2.7. Давление в баллоне с газом равно 284 КПа. При повышении температуры на 85 К давление стало равным 101 КПа. Найти значения температуры в обоих случаях.

Ответ: $T_1 = 323 \text{ К}$; $T_2 = 238 \text{ К}$.

4.7. В баллоне вместимостью $V = 30 \text{ л}$ 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.

Ответ: 2 кг.

РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МАКСВЕЛЛА И БОЛЬЦМАНА

3.7. При температуре 880 К число молекул кислорода со скоростями в интервале от v до $v + dv$ максимально. Найти данную скорость.

Ответ: $v = 1000 \text{ м/с}$.

4.7. Какая часть общего числа молекул имеет скорости, большие наиболее вероятной скорости и меньше наиболее вероятной скорости? Проанализируйте решение задачи.

Ответ: 57 %; 43 %

ПЕРВОЕ НАЧАЛО ТЕРМОДИНАМИКИ

2.7. 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.

Ответ: 310 К; 10,3 МПа.

4.7. Идеальный газ находится в вертикально расположенном цилиндре с площадью дна 10 см^2 . 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 $C_V = 21 \text{ Дж/К}$. Найти количество теплоты, необходимой для нагревания газа на 10 К. Давление наружного воздуха не учитывать.

Ответ: 297,5 Дж.

ВТОРОЕ НАЧАЛО ТЕРМОДИНАМИКИ

2.7. При совершении цикла Карно двухатомный идеальный газ увеличивается в объеме при изотермическом расширении в три раза. Работа, совершаемая за цикл, равна 10 кДж. Вычислить работу, совершаемую газом, в процессе адиабатического сжатия.

Ответ: $A_{41} = -22,75 \text{ кДж}$.

3.7. Найти давление в котле паровой машины, работающей с частотой 50 Гц, мощностью 5 кВт, имеющей объем цилиндра $V_2 = 1 \text{ л}$, объем изобарного расширения $V_1 = 0,5 \text{ л}$, объемом V_0 пренебречь. Показатель адиабаты $\gamma = 1,3$.

Ответ: $P_1 = 0,245 \text{ МПа}$.

ЭНТРОПИЯ

2.7. Один моль идеального газа изотермически расширяется так, что при этом происходит увеличение энтропии на 9,13 Дж/К. Определите, во сколько раз при этом увеличился объем газа.

Ответ: 3.

3.7. При изохорическом нагревании 1 моля газа энтропия возросла на 22,85 Дж/К, а температура в 3 раза. Найдите молярную теплоемкость этого газа при постоянном объеме. Сколько атомов имеет молекула этого газа?

Ответ: 20,8 Дж/К; 2.

14. РЕАЛЬНЫЕ ГАЗЫ И ЖИДКОСТИ

А. Реальные газы

2.7. 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.

Ответ: $13,28 \cdot 10^3 \text{ Па}$; $70,9 \cdot 10^6 \text{ Па}$.

3.7. Найти соотношение между температурой кислорода и его критической температурой, если кислород занимает объем $0,056 \text{ м}^3$ при давлении 920 атм.

Ответ: 2,6.

Вариант № 8.

**ДАВЛЕНИЕ ГАЗА. ТЕМПЕРАТУРА И СРЕДНЯЯ ЭНЕРГИЯ
ТЕПЛОВОГО ДВИЖЕНИЯ МОЛЕКУЛ.
УРАВНЕНИЕ СОСТОЯНИЯ ИДЕАЛЬНОГО ГАЗА**

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

Ответ: $3,6 \cdot 10^{11}$ 1/с.

4.8. 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°C . Какова была длина столбика водорода, если после перевертывания трубки открытым концом вниз и нагревании газа до 39°C ртутный столбик переместился на 7,0 см? Атмосферное давление равно 10^5 Па.

Ответ: 17 см.

РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МАКСВЕЛЛА И БОЛЬЦМАНА

2.8. Найти среднюю арифметическую скорость молекулы водорода при температуре кипения водорода $T = 20$ К и при $T = 5000$ К, когда почти все молекулы диссоциированы на атомы.

Ответ: 462 м/с; 7,3 км/с.

4.8. В баллоне находится 2,5 г кислорода. Найти число молекул кислорода, скорости которых превышают значение средней квадратичной скорости.

Ответ: $1,9 \cdot 10^{22}$.

ПЕРВОЕ НАЧАЛО ТЕРМОДИНАМИКИ

2.8. Азот (N_2), расширяясь адиабатно, совершает работу, равную 480 кДж. Определить конечную температуру газа, если до расширения она была 362 К. Масса азота 12 кг.

Ответ: 308 К.

4.8. Нагревание одного моля идеального газа при постоянном давлении на 50 К потребовало 1454 Дж теплоты. Найти число атомов в молекуле этого газа и работу, совершенную газом при его нагревании.

Ответ: 2; 415,5 Дж.

ВТОРОЕ НАЧАЛО ТЕРМОДИНАМИКИ

3.8. Найти КПД η паровой машины, потребляющей за час работы массу $m = 3,6$ кг топлива с теплотой сгорания $q = 14,3$ МДж/кг, и работающей с частотой 10 циклов в секунду. Давление в котле $P_1 = 1$ МПа. Объем цилиндра $V_2 = 2$ л, объем изобарного расширения $V_1 = 1$ л, объемом V_0 пренебречь. Показатель адиабаты $\gamma = 1,3$.

Ответ: $\eta = 0,1$.

4.8. Определить степень сжатия V_1/V_2 в тепловой машине с циклом, состоящим из двух изохор и двух адиабат, если КПД цикла $\eta = 0,51$. В качестве рабочего тела используется углекислый газ.

Ответ: $V_1/V_2 = 8$.

ЭНТРОПИЯ

3.8. Два киломоля гелия, находящегося при нормальных условиях, расширяются адиабатически так, что занимаемый объем увеличивается в 3 раза. Определите изменение энтропии газа.

Ответ: 0 Дж/К.

4.8. 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.

Ответ: 325 Дж/К.

14. РЕАЛЬНЫЕ ГАЗЫ И ЖИДКОСТИ

А. Реальные газы

2.8. В баллоне вместимостью $V = 6$ л находится кислород $m = 0,6$ кг при температуре 290 К. Найти давление газа на стенки сосуда ($b = 0,032$ м³/К·моль; $a = 1,36 \cdot 10^5$ Н·м⁴/К·моль²).

Ответ: $70,4 \cdot 10^5$ Па.

3.8. 1 киломоль азота занимает объем 55 л при давлении 620 атм. Найти температуру азота.

Ответ: 239 К.

Вариант № 9.

**ДАВЛЕНИЕ ГАЗА. ТЕМПЕРАТУРА И СРЕДНЯЯ ЭНЕРГИЯ
ТЕПЛОВОГО ДВИЖЕНИЯ МОЛЕКУЛ.
УРАВНЕНИЕ СОСТОЯНИЯ ИДЕАЛЬНОГО ГАЗА**

2.9. Находившийся в закрытом баллоне нагрели от 300 до 360 К, при этом давление возросло на 81 кПа. Определить первоначальное давление.

Ответ: 4,1 МПа.

4.9. В объем ($V = 0,3 \text{ м}^3$), содержащий 16 г водорода, проник воздух. Найти массу этого воздуха, если при 6 °С в объеме установилось давление 93 кПа.

Ответ: 0,116 кг.

РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МАКСВЕЛЛА И БОЛЬЦМАНА

2.9. При какой температуре T средняя квадратичная скорость атомов гелия станет равной второй космической скорости $v_2 = 11,2 \text{ км/с}$. Что можно сказать об этой температуре? Достаточно ли этой энергии, чтобы ионизовать газ гелий.

Ответ: 20,1 кК.

4.9. Найти относительное число молекул газа, скорости которых отличаются не более чем на 2 % от значения среднеквадратичной скорости.

Ответ: 3,7 %.

ПЕРВОЕ НАЧАЛО ТЕРМОДИНАМИКИ

2.9. Азот (N_2) массой 2 г, имевший температуру 300 К, был адиабатно сжат так, что его объем уменьшился в 10 раз. Определить конечную температуру газа и работу сжатия.

Ответ: 750 К; 668 Дж.

3.9. Один моль водорода (H_2), 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.

Ответ: 3176 Дж; 2269 Дж.

ВТОРОЕ НАЧАЛО ТЕРМОДИНАМИКИ

2.9. Одноатомный идеальный газ совершает цикл Карно. Работа, совершаемая за цикл, равна 8 кДж, степень изотермического расширения равна двум. Найти работу, совершаемую газом, в процессе адиабатического сжатия.

Ответ: $A = -17,44 \text{ кДж}$.

3.9. Определить часовой расход угля с теплотой сгорания $q = 30 \text{ МДж/кг}$ при работе паровой машины с КПД $\eta = 15 \%$, объемом цилиндра $V_2 = 2 \text{ л}$, объемом изобарного расширения $V_1 = 1 \text{ л}$, давлением в котле $P_1 = 2 \text{ МПа}$, делающей 300 циклов в минуту. Объемом V_0 пренебречь. Показатель адиабаты $\gamma = 1,3$.

Ответ: $m = 12,28 \text{ кг}$.

ЭНТРОПИЯ

2.9. Идеальный газ, имеющий температуру 27 °С, подвергается изотермическому расширению. Изменение энтропии при этом равно 2 Дж/К. Какое количество теплоты было передано газу?

Ответ: 600 Дж.

4.9. 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.

Ответ: 5,76 Дж/К.

14. РЕАЛЬНЫЕ ГАЗЫ И ЖИДКОСТИ

А. Реальные газы

2.9. Найти величину дифференциального эффекта Джоуля – Томсона для кислорода при температуре 290 К.

Ответ: $\Delta T/\Delta P = -0,032$.

3.9. Найти, во сколько раз температура 1 киломоля азота превышает его критическую температуру, если он находится при давлении $6,08 \cdot 10^7 \text{ Па}$ и занимает объем 55 дм^3 .

Ответ: в 1,9 раз.

ВТОРОЕ НАЧАЛО ТЕРМОДИНАМИКИ

Вариант № 10.

ДАВЛЕНИЕ ГАЗА. ТЕМПЕРАТУРА И СРЕДНЯЯ ЭНЕРГИЯ ТЕПЛОВОГО ДВИЖЕНИЯ МОЛЕКУЛ. УРАВНЕНИЕ СОСТОЯНИЯ ИДЕАЛЬНОГО ГАЗА

2.10. Давление в рентгеновской трубке при 15 °С равно 1,2 МПа. Каково будет давление в работающей трубке при 80 °С и 150 °С?

Ответ: $1,47 \cdot 10^{-3}$ Па; $1,76 \cdot 10^{-3}$ Па.

3.10. Найти энергию теплового движения молекул метана CH_4 , находящихся в баллоне объемом 5 л при давлении 4,9 КПа. Какую часть этой энергии составляет энергия вращательного движения? Колебательное движение «заморожено».

Ответ: 7,4 Дж; 3/7.

РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МАКСВЕЛЛА И БОЛЬЦМАНА

2.10. При какой температуре T молекулы кислорода имеют такую же среднюю квадратичную скорость, как молекулы водорода при температуре $T_1 = 100$ К.

Ответ: 1800 К.

4.10. В сосуде находится 5,0 г азота. Найти число молекул азота, скорости которых отличаются не более чем на 1 % от значения наиболее вероятной скорости.

Ответ: $1,78 \cdot 10^{21}$.

ПЕРВОЕ НАЧАЛО ТЕРМОДИНАМИКИ

2.10. Какое количество теплоты потребуется для нагревания 5 м³ окиси углерода (CO) от температуры 0 до 220 °С, если газ находится в цилиндрическом сосуде, закрытом сверху легко скользящим невесомым поршнем? Атмосферное давление равно $9,35 \cdot 10^4$ Па.

Ответ: 1,3 МДж.

4.10. Одноцилиндровый двигатель объемом 200 см³ имеет степень сжатия 6 (т.е. объем газа при работе изменяется в 6 раз). Максимальное давление в цилиндре $2 \cdot 10^6$ Па. Рабочим телом является идеальный двухатомный газ. Найти работу, совершаемую за 1 цикл, полагая процесс адиабатным. Найти изменение внутренней энергии газа.

Ответ: 511 Дж; 511 Дж.

2.10. 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.

Ответ: $A_{41} = -30,4$ кДж.

4.10. Тепловая машина работает по циклу, состоящему из изотермы, изобары и изохоры. Максимальная температура достигается при изотермическом процессе и равна $T = 500$ К. Степень сжатия 1 моля идеального газа составляет $V_1/V_2 = 4$. Найти работу A газа за цикл.

Ответ: $A = 2644$ Дж.

ЭНТРОПИЯ

3.10. Азот массой 1 кг сжимают поршнем адиабатически так, что его объем уменьшается в 5 раз, а затем при постоянном объеме давление возрастает в 25 раз. Определите изменение энтропии азота.

Ответ: 2,39 кДж/К.

4.10. Прирост энтропии между двумя адиабатами в цикле Карно равен 100 Дж/К. Разность температур между двумя изотермами равна 100 К. Какое количество теплоты превращается в работу в этом цикле?

Ответ: 10 кДж

РЕАЛЬНЫЕ ГАЗЫ И ЖИДКОСТИ

А. Реальные газы

2.10. Найти величину дифференциального эффекта Джоуля –Томсона для кислорода при температуре -100 °С. Сравнить с ответом к предыдущей задаче и объяснить его.

Ответ: $\Delta T/\Delta P = -0,032$.

3.10. 1 киломоль гелия находится под давлением $P = 2,7 \cdot 10$ Па при температуре $t = -200$ °С. Какой объем занимает гелий.

Ответ: 237 л.

Вариант № 11.

**ДАВЛЕНИЕ ГАЗА. ТЕМПЕРАТУРА И СРЕДНЯЯ ЭНЕРГИЯ
ТЕПЛОВОГО ДВИЖЕНИЯ МОЛЕКУЛ.
УРАВНЕНИЕ СОСТОЯНИЯ ИДЕАЛЬНОГО ГАЗА**

2.11. В баллоне содержится газ при температуре $t_1 = 100$ °С. До какой температуры t_2 нужно нагреть газ, чтобы его давление увеличилось в два раза?

Ответ: 473 °С.

4.11. В баллоне находился идеальный газ при давлении 40 МПа и температуре 300 К. После того как $3/5$ газа выпустили, температура понизилась до 240 К. Определить давление в баллоне.

Ответ: 13 МПа.

РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МАКСВЕЛЛА И БОЛЬЦМАНА

2.11. Взвешенные в воздухе мельчайшие пылинки движутся так, как если бы они были очень крупными молекулами. Какова средняя квадратичная скорости пылинки массой $m = 10^{-10}$ г, если температура воздуха $t = 23$ °С?

Ответ: 352 мкм/с.

4.11. Какая часть молекул углекислого газа при 300 К обладает скоростью от 200 до 210 м/с?

Ответ: 3,54 %.

ПЕРВОЕ НАЧАЛО ТЕРМОДИНАМИКИ

2.11. Азот (N_2) массой 5 кг нагрели на 150 К при постоянном объеме. Найти количество теплоты, сообщенной газу, изменение его внутренней энергии и совершенную газом работу.

Ответ: 7,75 МДж; 7,75 МДж; 0 Дж.

4.11. Идеальный двухатомный газ расширяется адиабатно. При этом его температура уменьшается на 54 °С. Найти совершенную газом работу. Масса газа 12 кг, масса одного моля газа 28 г.

Ответ: 480 кДж.

ВТОРОЕ НАЧАЛО ТЕРМОДИНАМИКИ

3.11. Найти температуру воспламенения мазута в цилиндре двигателя Дизеля, если КПД $\eta = 0,5$, степень изобарного расширения $\alpha = 4$, температура воздуха $T_1 = 300$ К, показатель адиабаты $\gamma = 1,4$.

Ответ: $T_2 = 900$ К.

4.11. Тепловая машина работает по циклу, состоящему из изотермы, изобары и изохоры. Степень сжатия одноатомного газа составляет $V_1/V_2 = 5$. Найти КПД цикла.

Ответ: $\eta = 0,29$.

ЭНТРОПИЯ

2.11. Найдите приращение энтропии одного моля углекислого газа при увеличении его температуры в 2 раза, если процесс нагревания изохорический. Газ считать идеальным.

Ответ: 17,28 Дж/К.

4.11. 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.

Ответ: 457 Дж/К

РЕАЛЬНЫЕ ГАЗЫ И ЖИДКОСТИ

А. Реальные газы

1.3. В чем состоит различие изотерм реального и идеального газа?

2.11. Определить давление P водяного пара массой $m = 1$ кг, взятого при температуре $T = 380$ К в объеме 1000 и 2 л.

Ответ: 174 кПа; 3,94 МПа.

3.11. Какое давление нужно осуществить, чтобы углекислый газ превратился в жидкость при температуре 31 °С.

Ответ: $P = 73$ атм.

Вариант № 12.

**ДАВЛЕНИЕ ГАЗА. ТЕМПЕРАТУРА И СРЕДНЯЯ ЭНЕРГИЯ
ТЕПЛОВОГО ДВИЖЕНИЯ МОЛЕКУЛ.
УРАВНЕНИЕ СОСТОЯНИЯ ИДЕАЛЬНОГО ГАЗА**

2.12. В цилиндр длиной $l = 1,6$ м, заполненный воздухом при нормальном атмосферном давлении P , начали медленно вдвигать поршень площадью $S = 200$ см². Определить силу F , которая будет действовать на поршень, если его остановить на расстоянии $h = 10$ см от дна цилиндра.

Ответ: 32,3 кН.

3.12. Азот нагрет до температуры T , при которой у молекул возбуждены все степени свободы. Вычислить молярную теплоемкость C_V и $\gamma = C_p/C_V$.

Ответ: $C_V = 3,5R$; $\gamma = 1,3$.

РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МАКСВЕЛЛА И БОЛЬЦМАНА

2.12. Во сколько раз средняя квадратичная скорость молекул кислорода больше средней и квадратичной скорости пылинки массой $m = 10^{-8}$ г, находящейся среди молекул кислорода?

Ответ: $1,4 \cdot 10^7$.

4.12. В сосуде находится кислород при температуре 1600 К. Какое число молекул кислорода имеет кинетическую энергию больше чем $6,65 \cdot 10^{-20}$ Дж?

Ответ: 20 %.

ПЕРВОЕ НАЧАЛО ТЕРМОДИНАМИКИ

2.12. Водород (H_2), занимающий объем 10 м³ при давлении 100 кПа, нагрели при постоянном объеме. При этом давление газа повысилось до 300 кПа. Определить изменение внутренней энергии газа, совершенную им работу и количество подведенной к газу теплоты.

Ответ: 5 МДж; 0 Дж; 5 МДж.

3.12. Идеальный двухатомный газ изобарно сжимают до объема в 10 раз меньше начального. Найти отношение затраченной на сжатие работы к увеличению внутренней энергии газа.

Ответ: 0,4.

ВТОРОЕ НАЧАЛО ТЕРМОДИНАМИКИ

3.12. Найти давление в цилиндре двигателя Дизеля, если его КПД $\eta = 0,5$, степень изобарного расширения $\alpha = 4$, показатель адиабаты $\gamma = 1,4$.

Ответ: $P_2 = 4,43$ МПа.

4.12. Определить степень сжатия V_1/V_2 в цикле тепловой машины, состоящем из изотермы, изобары и изохоры, КПД цикла $\eta = 0,31$. В качестве рабочего тела используется двухатомный идеальный газ.

Ответ: $V_1/V_2 = 10$.

ЭНТРОПИЯ

3.12. Кислород массой $0,2$ кг при давлении 5 кПа занимает объем $8,31$ м³. Для изотермического удвоения объема газа необходимо 160 Дж теплоты. Найдите изменение энтропии газа.

Ответ: $0,2$ Дж/К.

4.12. Кусок льда массой 10 г, имеющий температуру 173 К, превращается в пар при температуре 373 К. Теплоемкости воды и льда считать равными $4,19$ и $1,8$ кДж/(кг·К), удельная теплота плавления льда $0,335$ МДж/кг. Удельная теплота парообразования равна $2,26$ МДж/кг. Найдите изменение энтропии.

Ответ: $94,1$ Дж/К.

РЕАЛЬНЫЕ ГАЗЫ И ЖИДКОСТИ

А. Реальные газы

1.4. Что представляет собой горизонтальный участок изотермы?

2.12. В сосуде емкостью $V = 0,3$ л находится один моль углекислого газа при температуре 300 К. Определите давление P газа: 1) по уравнению Клапейрона – Менделеева; 2) по уравнению Ван-дер-Ваальса.

Ответ: $8,31$ МПа; $5,67$ МПа.

3.12. Найти плотность водяных паров при критическом состоянии, если известна константа Ван-дер-Ваальса $b = 0,0306$ м³/кмоль.

Ответ: $\rho_{кр} = 196$ кг/м³.

Вариант № 13.

**ДАВЛЕНИЕ ГАЗА. ТЕМПЕРАТУРА И СРЕДНЯЯ ЭНЕРГИЯ
ТЕПЛОВОГО ДВИЖЕНИЯ МОЛЕКУЛ.
УРАВНЕНИЕ СОСТОЯНИЯ ИДЕАЛЬНОГО ГАЗА**

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

Ответ: $m = 66,4 \text{ г}$.

3.13. Углекислый газ нагрет до температуры T , при которой у молекул возбуждены все степени свободы. Найти C_V и C_p газа при этих условиях.

Ответ: $C_V = 6,5R$; $C_p = 7,5R$.

РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МАКСВЕЛЛА И БОЛЬЦМАНА

2.13. Определите среднюю арифметическую скорость молекул газа, если известно, что их средняя квадратичная скорость 1000 м/с .

Ответ: 920 м/с .

3.13. Найти для азота температуру, при которой скоростям молекул $v_1 = 300 \text{ м/с}$ и $v_2 = 600 \text{ м/с}$ соответствуют одинаковые значения функции распределения Максвелла $f(v)$. Нарисуйте поясняющие графики.

Ответ: 330 К .

ПЕРВОЕ НАЧАЛО ТЕРМОДИНАМИКИ

2.13. При изохорном нагревании 50 л молекулярного кислорода (O_2) давление газа изменилось на $0,5 \text{ МПа}$. Найти количество сообщенной газу теплоты.

Ответ: $62,5 \text{ Дж}$.

3.13. Какую работу совершает 5 г водорода (H_2) при изотермическом расширении до утроенного объема? Температура газа $17 \text{ }^\circ\text{C}$.

Ответ: $6,62 \text{ кДж}$.

ВТОРОЕ НАЧАЛО ТЕРМОДИНАМИКИ

3.13. Найти работу, совершаемую двигателем Дизеля за один цикл, если давление в цилиндре $P_1 = 4,5 \cdot 10^6 \text{ Па}$, объем цилиндра $V_1 = 6 \text{ л}$, объем изобарного расширения изменяется от $V_2 = 0,4 \text{ л}$ до $V_3 = 1,6 \text{ л}$. Показатель адиабаты $\gamma = 1,4$.

Ответ: $A = 9,8 \text{ кДж}$.

4.13. 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 $\eta = 0,38$.

Ответ: $\gamma = 1,67$.

ЭНТРОПИЯ

2.13. В результате изохорического нагревания одного моля водорода температура увеличилась в 2 раза. Молярную теплоемкость при постоянном объеме для водорода считать независимой от температуры и равной $20 \text{ Дж/(моль} \cdot \text{К)}$. Определите изменение энтропии газа.

Ответ: $13,86 \text{ Дж/К}$.

3.13. Найти изменение энтропии при изобарическом расширении азота массой 4 г от объема $V_1 = 5 \text{ л}$ до объема $V_2 = 9 \text{ л}$.

Ответ: $2,43 \text{ Дж/К}$.

РЕАЛЬНЫЕ ГАЗЫ И ЖИДКОСТИ

А. Реальные газы

2.13. Найдите критическую температуру и температуру инверсии дифференциального эффекта Джоуля – Томсона для кислорода.

Ответ: $151,5 \text{ К}$; 1022 К .

3.13. Найти плотность гелия в критическом состоянии, если известно, что $T_{кр} = 5,2 \text{ К}$; $p_{кр} = 2,25 \text{ атм}$.

Ответ: $\rho_{кр} = \frac{8\mu \cdot P_{кр}}{3T_{кр} R} = 57 \text{ кг/м}^3$.

Вариант № 14.

**ДАВЛЕНИЕ ГАЗА. ТЕМПЕРАТУРА И СРЕДНЯЯ ЭНЕРГИЯ
ТЕПЛОВОГО ДВИЖЕНИЯ МОЛЕКУЛ.
УРАВНЕНИЕ СОСТОЯНИЯ ИДЕАЛЬНОГО ГАЗА**

2.14. В сосуде A объемом $V_1 = 2$ л находится газ под давлением $P_1 = 3 \cdot 10^5$ Па, а в сосуде B объемом $V_2 = 4$ л находится тот же газ под давлением $P_2 = 1 \cdot 10^5$ Па. Температура обоих сосудов одинакова и постоянна. Под каким давлением P будет находиться газ после соединения сосудов A и B трубкой.

Ответ: $1,7 \cdot 10^5$ Па.

3.14. Аммиак нагрет до температуры T , при которой ν молекул возбуждены все степени свободы. Найти C_V и C_p газа при этих условиях. Сделайте анализ. Как зависят C_V и C_p от T ?

Ответ: $C_V = 9R$; $C_p = 10R$.

РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МАКСВЕЛЛА И БОЛЬЦМАНА

2.14. Вычислить среднюю квадратичную скорость молекул азота при температуре 23 °С. Считать азот идеальным газом.

Ответ: 513 м/с.

3.14. При какой температуре кислорода функции распределения молекул озона по скоростям имеют одинаковые значения для скоростей $v_1 = 300$ м/с и $v_2 = 600$ м/с.

Ответ: 576 К.

ПЕРВОЕ НАЧАЛО ТЕРМОДИНАМИКИ

2.14. Баллон объемом 20 литров содержит молекулярный водород (H_2) при температуре 27 °С и давлении $0,4$ МПа. Каковы станут температура и давление, если газу сообщить 6 кДж теплоты?

Ответ: 390 К; 520 кПа.

4.14. 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.

Ответ: 1807 Дж; 2047 Дж.

ВТОРОЕ НАЧАЛО ТЕРМОДИНАМИКИ

3.14. Определить мощность дизельного двигателя, работающего с частотой 10 Гц, если максимальное давление в цилиндре объемом $V_1 = 8$ л равно $P_1 = 5$ МПа, объем изобарного расширения изменяется от $V_2 = 0,5$ л до $V_3 = 2$ л. Показатель адиабаты $\gamma = 1,41$.

Ответ: $140,5$ кВт.

4.14. Определить число молей ν газа, используемого в качестве рабочего тела в тепловой машине с циклом, состоящим из изотермы, изобары и изохоры, если степень сжатия газа равна $V_1/V_2 = 4$, температура изотермы $T = 600$ К, работа газа за цикл $A = 12,7$ кДж.

Ответ: $\nu = 4$.

ЭНТРОПИЯ

2.14. До какой температуры нужно изохорно довести кислород массой 1 кг, находящийся при температуре 100 °С, чтобы уменьшить его энтропию на 1000 Дж/К?

Ответ: 80 К.

3.14. Кислород массой 2 кг увеличил свой объем в 5 раз один раз изотермически, другой – адиабатически. Найдите изменение энтропии в каждом из указанных процессов.

Ответ: 836 Дж/К; 0 Дж/К.

РЕАЛЬНЫЕ ГАЗЫ И ЖИДКОСТИ

А. Реальные газы

2.14. 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.

Ответ: $0,7$ Дж.

3.14. Аргон в количестве 1 кмоль находится в баллоне емкостью 100 л при давлении 1000 атм. Найти соотношение между критическим объемом молекул аргона и емкостью баллона.

Ответ: $\frac{V_{кр}}{V_6} = \frac{0,096}{0,10} = 0,96$.

Вариант № 15.

**ДАВЛЕНИЕ ГАЗА. ТЕМПЕРАТУРА И СРЕДНЯЯ ЭНЕРГИЯ
ТЕПЛОВОГО ДВИЖЕНИЯ МОЛЕКУЛ.
УРАВНЕНИЕ СОСТОЯНИЯ ИДЕАЛЬНОГО ГАЗА**

2.15. Плотность некоторого газа при температуре $t = 14\text{ }^\circ\text{C}$ и давлении $P = 4 \cdot 10^5\text{ Па}$ равна $0,68\text{ кг/м}^3$. Определить молярную массу μ этого газа.

Ответ: 4 кг/моль.

3.15. Вычислить среднюю энергию поступательного, вращательного и колебательного движения двухатомной молекулы газа при температуре $T = 3000\text{ К}$.

Ответ: $6,2 \cdot 10^{-20}\text{ Дж}$; $4,1 \cdot 10^{-20}\text{ Дж}$; $4,1 \cdot 10^{-20}\text{ Дж}$.

РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МАКСВЕЛЛА И БОЛЬЦМАНА

2.15. Вычислить при температуре $t = 17\text{ }^\circ\text{C}$ среднюю квадратичную скорость движения молекулы кислорода и среднюю квадратичную скорость капельки воды диаметром $d = 0,1\text{ мкм}$, взвешенной в воздухе.

Ответ: 470,0 м/с; 0,15 м/с.

4.15. Найти относительное число молекул гелия, скорости которых лежат в интервале от $v_1 = 1990\text{ м/с}$ при температуре $T = 300\text{ К}$.

Ответ: 0,53 %.

ПЕРВОЕ НАЧАЛО ТЕРМОДИНАМИКИ

2.15. Кислород (O_2) 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.

Ответ: 0,4 МДж; 160 кДж; 560 кДж.

3.15. Кислород (O_2) нагрели при постоянном давлении на $12\text{ }^\circ\text{C}$. При этом было израсходовано 1760 Дж теплоты. Найдите массу кислорода.

Ответ: 0,16 кг.

ВТОРОЕ НАЧАЛО ТЕРМОДИНАМИКИ

3.15. Мощность дизельного двигателя 70 кВт, давление в цилиндре объемом $V_1 = 6\text{ л}$ равно $P_1 = 4\text{ МПа}$, объем изобарного расширения изменяется от $V_2 = 0,4\text{ л}$ до $V_3 = 1,6\text{ л}$. Найти число циклов, которые делает двигатель за 1 с, если показатель адиабаты $\gamma = 1,4$.

Ответ: 8 циклов.

4.15. Тепловая машина работает по циклу, состоящему из изотермы, изобары и изохоры. Степень сжатия одного моля газа $V_1/V_2 = 12$, работа газа за цикл $A = 13\text{ кДж}$. Найти температуру изотермического процесса.

Ответ: $T = 1000\text{ К}$.

ЭНТРОПИЯ

2.15. В результате изохорического нагревания одного моля идеального газа его температура увеличилась в e раз. Изменение энтропии составило $20,8\text{ Дж/К}$. Сколько атомов содержит молекула этого газа?

Ответ: 2.

3.15. Определите изменение энтропии при изотермическом сжатии 7 мг азота на $1/10^6$ часть первоначального объема, занимаемого газом.

Ответ: $-2,1\text{ нДж/К}$.

РЕАЛЬНЫЕ ГАЗЫ И ЖИДКОСТИ

А. Реальные газы

2.15. Найти удельный объем бензола в критическом состоянии, если его критическая температура $T_{кр} = 562\text{ К}$ и критическое давление $P_{кр} = 46\text{ атм}$.

Ответ: $4,7\text{ см}^3/\text{г}$.

3.15. Какое давление необходимо осуществить, чтобы углекислый газ превратить в жидкость при температуре $50\text{ }^\circ\text{C}$.

Ответ: процесс осуществить невозможно. Дать объяснение.

Вариант № 16.

**ДАВЛЕНИЕ ГАЗА. ТЕМПЕРАТУРА И СРЕДНЯЯ ЭНЕРГИЯ
ТЕПЛОВОГО ДВИЖЕНИЯ МОЛЕКУЛ.
УРАВНЕНИЕ СОСТОЯНИЯ ИДЕАЛЬНОГО ГАЗА**

2.16. Найти давление P смеси газа в сосуде объемом $V = 5$ л, если в нем находится $N_1 = 2 \cdot 10^{15}$ молекул кислорода, $N_2 = 8 \cdot 10^{15}$ молекул азота и $m = 1 \cdot 10^{-9}$ кг аргона. Температура смеси $T = 290$ К.

Ответ: 20 мПа.

3.16. Вычислить энергию теплового движения молекул двухатомного газа, занимающего объем $V = 2,5$ л при давлении $P = 20$ Па. Молекулы считать жесткими. Что произойдет, если колебательные степени свободы «разморожены»?

Ответ: 0,125 Дж.

РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МАКСВЕЛЛА И БОЛЬЦМАНА

2.16. Вычислить наиболее вероятную скорость молекул газа, у которого при нормальном атмосферном давлении плотность $\rho = 1$ г/л.

Ответ: 450 м/с.

4.16. При какой температуре T наиболее вероятная скорость молекул азота меньше их среднеквадратичной скорости на 50 м/с; на 20 м/с.

Ответ: 83 К.

ПЕРВОЕ НАЧАЛО ТЕРМОДИНАМИКИ

2.16. При изобарном нагревании молекулярного азота (N_2) ему было сообщено 21 кДж теплоты. Найти работу, совершенную газом, и изменение его внутренней энергии.

Ответ: 6 кДж; 15 кДж.

3.16. Азот (N_2) в воздушном шаре занимает объем 2 дм³ при нормальном атмосферном давлении 10^5 Па. Определить количество тепла, которое необходимо сообщить газу, чтобы при постоянном давлении его объем увеличился вдвое. Натяжением оболочки шара пренебречь.

Ответ: 700 Дж.

ВТОРОЕ НАЧАЛО ТЕРМОДИНАМИКИ

2.16. Определить работу, совершенную одним молем воздуха в цикле Карно, если объем газа увеличился в четыре раза при получении в изотермическом процессе $Q_1 = 5650$ Дж теплоты. Первоначально газ находится при нормальных условиях.

Ответ: $A = 2478$ Дж.

4.16. Тепловая машина работает по циклу, состоящему из двух изобар и двух адиабат. В качестве рабочего тела используется многоатомный идеальный газ. Степень сжатия газа $P_1/P_2 = 10$. Найти КПД цикла.

Ответ: $\eta = 0,29$.

ЭНТРОПИЯ

2.16. Кислород массой 50 г нагревают изобарически, при этом температура газа увеличивается от 2 до 150 °С. Найдите изменение энтропии газа.

Ответ: 19,6 Дж/К.

3.16. Вода массой 1 кг была охлаждена от 100 до 0 °С. Удельная теплоемкость воды равна 4,2 кДж/(кг·К). Найдите изменение энтропии в этом процессе.

Ответ: -1,31 кДж/К.

14. РЕАЛЬНЫЕ ГАЗЫ И ЖИДКОСТИ

А. Реальные газы

2.16. Вычислите постоянные Ван-дер-Ваальса для углекислого газа, если его критическая температура $T_{кр} = 304$ К и критическое давление $P_{кр} = 73$ атм.

Ответ: $a = 3,6 \cdot 10^5$ Н·м⁴/кмоль²; $b = 0,043$ м³/кмоль.

3.16. Какой наибольший объем может занимать 1 кг жидкой углекислоты?

Ответ: 2,9 л.

Вариант № 17.

**ДАВЛЕНИЕ ГАЗА. ТЕМПЕРАТУРА И СРЕДНЯЯ ЭНЕРГИЯ
ТЕПЛОВОГО ДВИЖЕНИЯ МОЛЕКУЛ.
УРАВНЕНИЕ СОСТОЯНИЯ ИДЕАЛЬНОГО ГАЗА**

2.18. Определить наименьший объем V_{\min} баллона, вмещающего $m = 6$ кг кислорода, если его стенки при температуре $t = 27$ °С выдерживают давление 15 МПа.

Ответ: 31 л.

3.18. Газ занимает объем $V = 2$ л под давлением $P = 0,5 \cdot 10^6$ Па. Определить примерную кинетическую энергию поступательного движения молекул газа.

Ответ: 1,5 кДж.

РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МАКСВЕЛЛА И БОЛЬЦМАНА

3.16. При какой температуре функция распределения $f(v)$ молекул водорода имеет максимум при скорости $v_2 = 500$ м/с.

Ответ: 586 К.

4.18. Газ состоит из молекул массы m и находится при температуре T . Запишите распределения молекул по кинетическим энергиям W . Определите наиболее вероятное значение кинетической энергии $W_{\text{вер}}$.

ПЕРВОЕ НАЧАЛО ТЕРМОДИНАМИКИ

2.18. Гелий массой 1 г нагрет на 100 К при постоянном давлении. Определить количество подведенной к газу теплоты, работу, совершенную газом при расширении, увеличение внутренней энергии газа.

Ответ: 520 Дж; 208 Дж; 312 Дж.

3.18. Кислород (O_2) массой 10 г, имевший начальную температуру минус 3 °С, нагревается при постоянном давлении 0,1 МПа. После нагревания объем газа стал 10 л. Определить количество полученной газом теплоты и увеличение внутренней энергии газа после нагревания.

Ответ: 1050 Дж; 750 Дж.

ВТОРОЕ НАЧАЛО ТЕРМОДИНАМИКИ

2.18. При проведении цикла Карно один моль воздуха с температурой $T_1 = 273$ К увеличился в объеме в 4 раза. Определить температуру T_2 , если в изотермическом процессе газ получил $Q_1 = 5670$ Дж теплоты.

Ответ: $T_2 = 425$ К.

3.18. Мощность бензинового ДВС 40 кВт, объем цилиндра $V_1 = 4$ л, степень сжатия $\beta = 6$, атмосферное давление $P_0 = 10^5$ Па, показатель адиабаты $\gamma = 1,4$. Найти число циклов, которые делает двигатель за 1 с.

Ответ: $n = 25$ циклов.

ЭНТРОПИЯ

2.18. Найдите приращение энтропии одного моля углекислого газа при увеличении его температуры в два раза, если процесс нагревания изобарический. Газ считать идеальным.

Ответ: 23,04 Дж/К.

3.18. Кусок льда массой 200 г, взятый при температуре -10 °С, был расплавлен, после чего образовавшаяся вода нагрета до температуры 10 °С. Теплоемкость льда равна 1,8 кДж/(кг·К), а удельная теплота плавления – 335 кДж/кг. Теплоемкость воды – 4,2 кДж/(кг·К). Найдите изменение энтропии в ходе указанных процессов.

Ответ: 291 Дж/К.

14. РЕАЛЬНЫЕ ГАЗЫ И ЖИДКОСТИ

А. Реальные газы

2.18. Найти изменение ΔU внутренней энергии в результате изотермического расширения $m = 40$ г гелия от объема $V_1 = 300$ см³ до $V_2 = 600$ см³.

Ответ: 560 Дж.

3.18. Найти константу a Ван-дер-Ваальса, если при расширении 0,5 кмоль газа от $V_1 = 1$ м³ до $V_1 = 1,2$ м³ была совершена работа $A = 5800$ Дж.

Ответ: $1,36 \cdot 10^5$ Н·м⁴/кмоль².

**ДАВЛЕНИЕ ГАЗА. ТЕМПЕРАТУРА И СРЕДНЯЯ ЭНЕРГИЯ
ТЕПЛОВОГО ДВИЖЕНИЯ МОЛЕКУЛ.
УРАВНЕНИЕ СОСТОЯНИЯ ИДЕАЛЬНОГО ГАЗА**

2.19. Имеется два сосуда объемом $V_1 = 4$ л и $V_2 = 5$ л. Какое давление будет иметь газ, если сосуды соединить, выполнив условие $T = \text{const}$. Давление в первом $P_1 = 2$ атм; во втором – $P_2 = 1$ атм.

Ответ: $1,44 \cdot 10^5$ Па.

4.19. В баллоне $V = 25$ л находится водород при температуре $T = 290$ К. Часть водорода израсходовали, при этом давление понизилось на $\Delta P = 0,4 \cdot 10^5$ Па. Определить массу израсходованного водорода.

Ответ: $m = 8,3$ г.

РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МАКСВЕЛЛА И БОЛЬЦМАНА

2.19. Азот массы $m = 15$ г находится в закрытом сосуде при температуре $T = 300$ К. Какое количество тепла необходимо сообщить азоту, чтобы средняя квадратичная скорость его молекул возросла в 2 раза.

Ответ: 10 кДж.

3.15. Определить температуру кислорода, при которой функция $f(v)$ будет иметь максимум при скорости $v_2 = 500$ м/с.

Ответ: 485 К.

ПЕРВОЕ НАЧАЛО ТЕРМОДИНАМИКИ

2.19. Водород (H_2) массой 4 г при постоянном давлении был нагрет на 10 °С. Найти работу, совершенную газом при расширении, и количество теплоты, подведенной к газу.

Ответ: 166 Дж, 581 Дж.

4.19. Гелий массой 1,25 кг при температуре 270 К находится под давлением 0,1 МПа. Газ нагревают при постоянном давлении, и его объем становится равным 10^{-2} м³. Найти внутреннюю энергию газа после нагревания и количество подведенной к газу теплоты.

Ответ: 1502 Дж; 950 Дж.

ВТОРОЕ НАЧАЛО ТЕРМОДИНАМИКИ

2.19. Найти КПД цикла Карно, если температура холодильника $T_2 = 0$ °С, количество тепла, полученного от нагревателя, $Q_1 = 5$ кДж, степень изотермического и адиабатного расширения одного моля воздуха равна четырем.

Ответ: $\eta = 0,28$.

4.19. Тепловая машина работает по циклу, состоящему из двух изобар и двух адиабат с температурами $T_1 = 300$ К и $T_2 = 400$ К. Найти КПД цикла, если степень сжатия $V_1/V_2 = 2$, а в качестве рабочего тела используется многоатомный идеальный газ.

Ответ: $\eta = 0,12$.

ЭНТРОПИЯ

3.19. Вода массой 100 г, взятая при температуре 273 К, была заморожена в лед до температуры 253 К. Теплоемкость льда равна 1,8 кДж/(кг·К), а удельная теплота плавления - 335 кДж/кг. Найдите изменение энтропии в этом процессе.

Ответ: 136 Дж/К.

4.19. 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.

Ответ: $-46,8$ Дж/К.

РЕАЛЬНЫЕ ГАЗЫ И ЖИДКОСТИ

А. Реальные газы

2.19. Найти изменение ΔU внутренней энергии в результате изотермического расширения $m = 40$ г углекислого газа от объема $V_1 = 300$ см³ до $V_2 = 600$ см³.

Ответ: 496 Дж.

3.19. Найти эффективный диаметр молекулы кислорода, если $T_k = 154$ К и $P_k = 50$ атм.

Ответ: ≈ 3 Å.

Вариант № 19.

**ДАВЛЕНИЕ ГАЗА. ТЕМПЕРАТУРА И СРЕДНЯЯ ЭНЕРГИЯ
ТЕПЛОВОГО ДВИЖЕНИЯ МОЛЕКУЛ.
УРАВНЕНИЕ СОСТОЯНИЯ ИДЕАЛЬНОГО ГАЗА**

2.20. Под каким давлением находится 0,1 кг метана в баллоне объемом 15 л и температуре 27 °С? Какова средняя энергия одной молекулы?

Ответ: 10^6 Па; $1,24 \cdot 10^{-20}$ Дж.

3.20. Определить среднее значение полной кинетической энергии молекулы гелия, кислорода и водяного пара при $T = 400$ К.

Ответ: $8,28 \cdot 10^{-21}$ Дж; $13,8 \cdot 10^{-21}$ Дж; $16,6 \cdot 10^{-21}$ Дж.

РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МАКСВЕЛЛА И БОЛЬЦМАНА

2.20. Вычислить при температуре $t = 17$ °С среднюю квадратичную скорость капельки воды диаметром $d = 0,1$ мкм, взвешенной в воздухе. Сделайте анализ решения задачи.

Ответ: 0,15 м/с.

3.13. Найти для азота температуру, при которой скоростям молекул $v_1 = 300$ м/с и $v_2 = 600$ м/с соответствуют одинаковые значения функции распределения Максвелла $f(v)$. Нарисуйте поясняющие графики.

Ответ: 330 К.

ПЕРВОЕ НАЧАЛО ТЕРМОДИНАМИКИ

2.20. Идеальный газ, занимавший первоначально объем 12 л при давлении 10^5 Па и температуре 300 К, был изобарно нагрет на 100 °С. Найти работу расширения газа.

Ответ: 400 Дж.

4.20. В стальном баллоне при температуре 27 °С и давлении 0,1 МПа находится 0,2 кг гелия. После нагревания давление в баллоне возросло в 5 раз. Найти объем баллона и количество теплоты, сообщенной газу.

Ответ: $1,25$ м³; $747,9$ кДж.

ВТОРОЕ НАЧАЛО ТЕРМОДИНАМИКИ

2.20. Найти КПД цикла Карно, если температура холодильника $T_2 = 0$ °С, количество тепла, полученного от нагревателя, $Q_1 = 6000$ Дж, давление при изотермическом и адиабатном расширении изменяется в четыре раза.

Ответ: $\eta = 0,4$.

4.20. Тепловая машина работает по циклу, состоящему из двух изохор и двух изотерм с температурами $T_1 = 273$ К и $T_2 = 573$ К. Определить степень сжатия V_1/V_2 двухатомного газа, если КПД цикла равен $\eta = 0,425$.

Ответ: $V_1/V_2 = 3$.

ЭНТРОПИЯ

2.20. В результате изобарического нагревания одного моля идеального газа его объем увеличился в e раз. Изменение энтропии составило 29,1 Дж/К. Сколько атомов содержит молекула этого газа?

Ответ: 2.

3.20. 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.

Ответ: $0,3$ кДж/К.

14. РЕАЛЬНЫЕ ГАЗЫ И ЖИДКОСТИ

А. Реальные газы

2.20. Найти внутреннюю энергию водорода, если $T_1 = 300$ К, $V = 1$ см³, $m = 1$ г.

Ответ: 3 кДж.

3.20. Найти эффективный диаметр атома гелия, если $T_k = 5,2$ К и $P_k = 2,25$ атм.

Ответ: $2,7$ Å.

Вариант № 20.

**ДАВЛЕНИЕ ГАЗА. ТЕМПЕРАТУРА И СРЕДНЯЯ ЭНЕРГИЯ
ТЕПЛОВОГО ДВИЖЕНИЯ МОЛЕКУЛ.
УРАВНЕНИЕ СОСТОЯНИЯ ИДЕАЛЬНОГО ГАЗА**

2.21. В закрытом сосуде емкостью 2 м^3 находятся $1,4\text{ кг}$ азота и 2 кг кислорода (O_2). Найти давление газовой смеси в сосуде, если температура $T = 300\text{ К}$.

Ответ: $1,4 \cdot 10^5\text{ Па}$.

4.21. Определить удельный объем $V_0 = 10\text{ г}$ и азота массой $m_2 = 15\text{ г}$ при давлении $P = 0,15\text{ МПа}$ и температуре $T = 300\text{ К}$.

Ответ: $0,5\text{ м}^3/\text{кг}$.

РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МАКСВЕЛЛА И БОЛЬЦМАНА

2.21. Вычислить при температуре $t = 17\text{ }^\circ\text{C}$ среднюю квадратичную скорость и среднюю кинетическую энергию поступательного движения молекулы кислорода.

Ответ: 470 м/с ; $6 \cdot 10^{-21}\text{ Дж}$.

3.12. Смесь гелия и неона находится при температуре $T = 350\text{ К}$. При каком значении скорости v молекул функции распределения Максвелла $f(v)$ будут равны. Нарисуйте примерные графики функции и дайте качественный анализ этих графиков.

Ответ: 930 м/с .

ПЕРВОЕ НАЧАЛО ТЕРМОДИНАМИКИ

2.21. Один моль азота (N_2), занимавший при давлении $1,01 \cdot 10^5\text{ Па}$ и температуре $0\text{ }^\circ\text{C}$ объем $22,4\text{ л}$, адиабатно удвоил свой объем. Найти давление и температуру газа после расширения и совершенную им работу.

Ответ: $0,038\text{ МПа}$; 207 К ; 1371 Дж .

3.21. Некоторой массе окиси углерода (CO) при постоянном давлении было сообщено $29,1\text{ кДж}$ теплоты. В результате этого температура газа возросла от 300 до 400 К . Найти массу газа и увеличение его внутренней энергии.

Ответ: $0,28\text{ кг}$; $20,8\text{ кДж}$.

ВТОРОЕ НАЧАЛО ТЕРМОДИНАМИКИ

2.21. Определить наименьший объем газа V_1 , совершающего цикл Карно, если объем газа в процессах расширения и сжатия меняется следующим образом: $V_2 = 500\text{ л}$; $V_3 = 850\text{ л}$; $V_4 = 170\text{ л}$.

Ответ: $V_1 = 100\text{ л}$.

4.21. Тепловая машина работает по циклу, состоящему из двух изохор и двух изотерм с температурами $T_1 = 250\text{ К}$ и $T_2 = 500\text{ К}$. Определить число степеней свободы i газа, используемого в качестве рабочего тела, если степень сжатия $V_1/V_2 = 4$, а КПД цикла равен $\eta = 0,325$.

Ответ: $i = 3$.

ЭНТРОПИЯ

2.21. Найдите изменение энтропии при превращении 1 кг льда в воду при температуре плавления. Удельная теплота плавления льда равна $3,35 \cdot 10^5\text{ Дж/кг}$.

Ответ: $1,23\text{ кДж/К}$.

3.21. Один киломоль идеального газа изобарически расширяется так, что при этом происходит увеличение энтропии на $5,75\text{ кДж/К}$. Определите логарифм отношения термодинамических вероятностей конечного и начального состояний газа.

Ответ: $4,2 \cdot 10^{26}$.

14. РЕАЛЬНЫЕ ГАЗЫ И ЖИДКОСТИ

А. Реальные газы

2.21. Найти внутреннюю энергию хлористого водорода, если $V = 1\text{ см}^3$, $m = 1\text{ г}$, $T = 300\text{ К}$.

Ответ: 91 Дж .

3.21. Найти внутреннее давление, обусловленное силами взаимодействия молекул, заключенных в 1 кмоль газа, находящегося при нормальных условиях. Критическая температура $T_{\text{кр}} = 417\text{ К}$.

Ответ: $1,3 \cdot 10^3\text{ Н/м}^2$.

Вариант № 21.

**ДАВЛЕНИЕ ГАЗА. ТЕМПЕРАТУРА И СРЕДНЯЯ ЭНЕРГИЯ
ТЕПЛОВОГО ДВИЖЕНИЯ МОЛЕКУЛ.
УРАВНЕНИЕ СОСТОЯНИЯ ИДЕАЛЬНОГО ГАЗА**

3.22. Баллон содержит водород массой $m = 10$ г при температуре $T = 280$ К. Определить кинетическую энергию поступательного движения и полную кинетическую энергию всех молекул газа.

Ответ: 17,5 кДж; 29,1 кДж.

4.22. Найти максимальную температуру идеального газа в процессе, где давление изменяется по закону $P = P_0 - \beta V_2$, где P_0 и β – положительные постоянные. Определить размерность β и изобразить процесс на P, T диаграмме.

$$\text{Ответ: } \frac{2}{3} \frac{P_0}{R} \sqrt{\frac{P_0}{3\beta}}.$$

РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МАКСВЕЛЛА И БОЛЬЦМАНА

3.12. Смесь гелия и неона находится при температуре $T = 350$ К. При каком значении скорости v молекул функции распределения Максвелла $f(v)$ будут равны. Нарисуйте примерные графики функции и дайте качественный анализ этих графиков.

Ответ: 930 м/с.

4.22. Смесь газов H_2 и He находится при температуре $T = 600$ К. При каком значении скорости v молекул значения функции распределения Максвелла будут одинаковыми для обоих газов? Нарисуйте графики функций $f(v)$ и обсудите полученный результат.

Ответ: 3227 К.

ПЕРВОЕ НАЧАЛО ТЕРМОДИНАМИКИ

2.22. Один моль азота (N_2), занимавший при давлении $0,38 \cdot 10^5$ Па и температуре минус 66 °С объем 44,8 л, изотермически сжали до объема 22,4 л. Найти давление газа и работу, совершенную при его изотермическом сжатии.

Ответ: 0,076 МПа; 1192 Дж.

3.22. В стальном баллоне объемом 1 л находится азот (N_2), плотность которого $2,8$ кг/м³. Азот нагрели на 100 °С. Какое количество теплоты было при этом сообщено газу?

Ответ: 207,8 Дж.

ВТОРОЕ НАЧАЛО ТЕРМОДИНАМИКИ

2.22. Двухатомный газ при адиабатическом расширении в цикле Карно изменяет объем от $V_2 = 2$ л до $V_3 = 4$ л. Найти КПД цикла.

Ответ: $\eta = 0,24$.

4.22. Тепловая машина работает по циклу, состоящему из двух изохор и двух изотерм, причем минимальная температура $T_1 = 300$ К. Определить, во сколько раз максимальная температура цикла T_2 больше минимальной T_1 , если степень сжатия газа $V_1/V_2 = 10$, а КПД цикла равен $\eta = 0,3$.

Ответ: $T_2/T_1 = 2$.

ЭНТРОПИЯ

3.22. 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.

Ответ: 0,337 Дж/К.

4.22. Теплоизолированный сосуд разделен на две равные части перегородкой, в которой имеется закрывающееся отверстие. В одной половине сосуда содержится 10 г водорода. Вторая половина откачена до высокого вакуума. Отверстие в перегородке открывают, и газ заполняет весь объем. Считая газ идеальным, найдите изменение его энтропии.

Ответ: 29 Дж/К.

РЕАЛЬНЫЕ ГАЗЫ И ЖИДКОСТИ

А. Реальные газы

2.22. Найти внутреннюю энергию углекислого газа, если $V = 1$ см³, $m = 1$ г, $T = 300$ К.

Ответ: –44 Дж.

3.22. Найти внутреннее давление, обусловленное силами взаимодействия молекул, заключенных в 1 кмоль газа, находящегося при нормальных условиях. Критическое давление этого газа $P_{кр} = 126$ атм и критическая температура $T_{кр} = 33,6$ К.

Ответ: $35 \cdot 10^3$ Н/м².

Вариант № 22.

**ДАВЛЕНИЕ ГАЗА. ТЕМПЕРАТУРА И СРЕДНЯЯ ЭНЕРГИЯ
ТЕПЛОВОГО ДВИЖЕНИЯ МОЛЕКУЛ.**

УРАВНЕНИЕ СОСТОЯНИЯ ИДЕАЛЬНОГО ГАЗА

3.23. Газ, состоящий из N -атомных молекул газа, имеет температуру T , при которой у молекул возбуждены все степени свободы (поступательные, вращательные, колебательные). Найти среднюю энергию молекулы такого газа. Молекулу считать линейной.

4.23. Давление воздуха в цилиндре дизеля в начале такта сжатия равно 86 кПа, в конце такта сжатия равно 3,45 МПа, при этом температура повышается с 323 до 923 К. Определить степень сжатия. Сравнить полученный результат со степенью сжатия автомобиля ГАЗ (бензин АИ-80).

Ответ: 14.

РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МАКСВЕЛЛА И БОЛЬЦМАНА

3.11. Смесь водорода и гелия находится при температуре 300 К. При каком значении скорости v молекул функции распределения Максвелла $f(v)$ будут равны для данных газов?

Ответ: 1610 м/с.

4.23. Идеальный газ с молярной массой M находится в однородном поле тяжести, ускорение свободного падения в котором равно g . Найти давление газа как функцию высоты h , если при $h = 0$, давление $P = P_0$, а температура изменяется с высотой как $T = T_0 (1 - ah)$.

Ответ: $P = P_0 (1 - ah)^n$, где $n = \frac{Mg}{aRT_0}$.

ПЕРВОЕ НАЧАЛО ТЕРМОДИНАМИКИ

2.23. Один моль азота, занимавший при давлении $1,01 \cdot 10^5$ Па и температуре 0 °С объем 22,4 л, адиабатно сжимают до объема, равного половине начального. После чего газ изотермически расширяется до первоначального объема. Найти конечное давление и температуру газа, а также совершенную им работу при изотермическом расширении.

Ответ: 0,13 МПа; 360 К; 2074 Дж.

4.23. В герметично закрытом сосуде объемом 2 л находится одинаковое по массе количество азота (N_2) и аргона. Давление в сосуде 0,1 МПа. Температура газовой смеси 273 К. Найти количество теплоты, необходимое для нагревания этой смеси на 100 К.

Ответ: 155 Дж.

ВТОРОЕ НАЧАЛО ТЕРМОДИНАМИКИ

2.23. Холодильная машина, работающая по обратному циклу Карно, совершает за один цикл работу $A = 50$ кДж, при температурах холодильника $t_2 = -5$ °С и окружающего воздуха $t_1 = 27$ °С. Найти количество теплоты Q_1 , переданное машиной атмосфере.

Ответ: $Q_1 = 456$ кДж.

4.23. Цикл тепловой машины состоит из изотермы, адиабаты и изобары, причем изотермический процесс происходит при минимальной температуре цикла. Степень сжатия одноатомного газа равна $P_1/P_2 = 2$. Найти КПД цикла.

Ответ: $\eta = 0,134$.

ЭНТРОПИЯ

2.23. При охлаждении воды массой 1 кг ее температура уменьшилась в 1,35 раза. Удельная теплоемкость воды равна $4,2 \cdot 10^3$ Дж/(кг·К). Найдите изменение энтропии в этом процессе.

Ответ: $-1,26$ кДж/К.

3.23. Найдите, во сколько раз статистический вес наиболее вероятного распределения 8 одинаковых молекул по двум одинаковым половинам сосуда больше такого же распределения из 6 молекул?

Ответ: 3,5.

РЕАЛЬНЫЕ ГАЗЫ И ЖИДКОСТИ

А. Реальные газы

2.23. Оцените возможное значение объема водорода, при котором происходит инверсия интегрального эффекта Джоуля – Томсона, если температура инверсии $T = 202$ К, $a = 0,245 \cdot 10^5$ Н·м⁴/кмоль², $b = 0,0266$ м³/кмоль. Каков физический смысл этой величины.

Ответ: $0,3$ м³.

3.23. Найти плотность водорода при критическом состоянии, считая известной для него $b = 0,0263$ м³/кмоль.

Ответ: $\rho_k = \frac{\mu}{3b} = 25,4$ кг/м³.

Вариант № 23.

**ДАВЛЕНИЕ ГАЗА. ТЕМПЕРАТУРА И СРЕДНЯЯ ЭНЕРГИЯ
ТЕПЛОВОГО ДВИЖЕНИЯ МОЛЕКУЛ.
УРАВНЕНИЕ СОСТОЯНИЯ ИДЕАЛЬНОГО ГАЗА**

2.24. В колбе объемом 2 м^3 содержится газ при температуре $t = 17 \text{ }^\circ\text{C}$. Каково давление газа, если в колбе находится $3,3 \cdot 10^{22}$ молекул.

Ответ: $6,6 \cdot 10^4 \text{ Па}$.

4.24. До какой температуры нужно нагреть запаянный шар, содержащий 9 г воды, чтобы шар разорвался, если известно, что стенки шара выдерживают давление не более $4,053 \text{ МПа}$, а его объем равен $1,2 \text{ л}$.

Ответ: $T = 1170 \text{ К}$.

РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МАКСВЕЛЛА И БОЛЬЦМАНА

2.24. Во сколько раз надо сжать адиабатически газ, состоящий из одноатомных молекул, чтобы их средняя квадратичная скорость увеличилась в $\eta = 2$ раза.

Ответ: 8 раз.

4.24. У поверхности Земли молекул гелия в 10^5 раз, а водорода в 10^6 раз меньше, чем молекул азота. На какой высоте число молекул He будет равно числу молекул азота. Принять температуру атмосферы равной 273 К .

Ответ: $\sim 110 \text{ км}$.

ПЕРВОЕ НАЧАЛО ТЕРМОДИНАМИКИ

3.24. В дизельном двигателе атмосферный воздух объемом 10 л подвергается 12-кратному сжатию. Считая процесс сжатия адиабатным, найти конечное давление, температуру и работу сжатия, если начальное давление и температура были равны $0,1 \text{ МПа}$ и $10 \text{ }^\circ\text{C}$.

Ответ: $3,24 \text{ МПа}$; 764 К ; 4300 Дж .

4.24. В стальном баллоне емкостью 2 л при температуре $20 \text{ }^\circ\text{C}$ находится гелий. Давление газа в баллоне 100 кПа . Найти увеличение внутренней энергии газа при нагревании его до $120 \text{ }^\circ\text{C}$.

Ответ: 102 Дж .

ВТОРОЕ НАЧАЛО ТЕРМОДИНАМИКИ

2.24. Дом отапливается тепловым насосом, работающим по обратному циклу Карно. Температура в доме $t = 20 \text{ }^\circ\text{C}$, окружающего воздуха $t = -20 \text{ }^\circ\text{C}$. Во сколько раз количество теплоты, получаемой домом от сгорания угля в печке, меньше количества теплоты, переданной тепловым насосом с паровой машиной с КПД $\eta = 0,27$, потребляющей ту же массу угля?

Ответ: 2 раза.

3.24. Определить работу, совершаемую холодильной установкой, работающей по обратному циклу Карно, если из комнаты с температурой $T_2 = 300 \text{ К}$ отводится 10 МДж энергии в час в окружающую среду, температура которой $T_1 = 330 \text{ К}$.

Ответ: $A = 1 \text{ МДж}$ в час.

ЭНТРОПИЯ

3.24. В сосуде объемом V находятся 4 молекулы идеального газа. Определите вероятность w того, что все молекулы соберутся только в половине этого сосуда.

Ответ: $0,0625$.

4.24. Кислород и водород, имеющие одинаковые массы и занимающие одинаковые объемы V , изотермически сжимают до объема $V/2$. Для какого газа приращение энтропии будет больше и во сколько раз?

Ответ: Для водорода, в 16 раз.

14. РЕАЛЬНЫЕ ГАЗЫ И ЖИДКОСТИ

А. Реальные газы

2.24. Какова потенциальная энергия взаимного притяжения $0,1$ моля молекул водорода.

Ответ: $-1,1 \text{ кДж}$.

3.24. Найти понижение температуры при расширении 20 кг азота в пустоту от $V_1 = 1,0 \text{ м}^3$ до $V_2 = 2 \text{ м}^3$.

Ответ: $7,3 \text{ см}$.