

Задания для самостоятельной работы студентов

Модуль 3

Модуль 3.....	3
Тема 1. Идеальный газ. Уравнение Менделеева-Клапейрона.....	3
Тема 2. Уравнение МКТ для давления. Закон равномерного распределения энергии молекул по степеням свободы	6
Тема 3. Распределение Максвелла	8
Тема 4. Барометрическая формула.....	11
Тема 5. Работа газа. Первое начало термодинамики.....	13
Тема 6. Внутренняя энергия.....	16
Тема 7. Теплоемкость идеального газа	18
Тема 8. Адиабатический процесс	20
Тема 9. Энтропия идеального газа	23
Тема 10. Цикл Карно.....	25

Таблица вариантов модуль 3

№ вар	Номера задач									
1	3.13	3.34	3.59	3.97	3.145	3.148	3.191	3.194	3.219	3.241
2	3.14	3.35	3.63	3.98	3.146	3.149	3.192	3.195	3.220	3.242
3	3.15	3.36	3.64	3.99	3.147	3.150	3.193	3.196	3.221	3.243
4	3.16	3.37	3.65	3.100	3.120	3.151	3.168	3.197	3.222	3.244
5	3.17	3.38	3.66	3.101	3.119	3.152	3.169	3.198	3.223	3.245
6	3.1	3.39	3.67	3.102	3.118	3.153	3.170	3.199	3.224	3.246
7	3.2	3.40	3.68	3.103	3.117	3.154	3.171	3.200	3.225	3.247
8	3.3	3.41	3.69	3.104	3.116	3.155	3.172	3.201	3.226	3.248
9	3.4	3.42	3.70	3.105	3.115	3.156	3.173	3.202	3.227	3.249
10	3.5	3.43	3.71	3.106	3.114	3.157	3.174	3.203	3.228	3.250
11	3.6	3.44	3.72	3.107	3.113	3.158	3.175	3.204	3.229	3.251
12	3.7	3.45	3.73	3.108	3.112	3.159	3.176	3.205	3.230	3.252
13	3.8	3.46	3.74	3.109	3.111	3.160	3.177	3.206	3.231	3.253
14	3.9	3.47	3.75	3.110	3.147	3.161	3.178	3.207	3.232	3.254
15	3.10	3.48	3.76	3.97	3.146	3.162	3.179	3.208	3.233	3.255
16	3.11	3.49	3.77	3.98	3.145	3.163	3.180	3.209	3.234	3.256
17	3.12	3.50	3.78	3.99	3.144	3.164	3.181	3.210	3.235	3.257
18	3.13	3.51	3.60	3.100	3.143	3.165	3.182	3.211	3.236	3.258
19	3.14	3.52	3.79	3.101	3.142	3.166	3.183	3.212	3.237	3.259
20	3.15	3.53	3.80	3.102	3.141	3.167	3.184	3.213	3.238	3.260
21	3.16	3.54	3.81	3.103	3.140	3.148	3.185	3.214	3.239	3.241
22	3.17	3.55	3.82	3.104	3.139	3.149	3.186	3.215	3.240	3.242
23	3.18	3.56	3.83	3.105	3.138	3.150	3.187	3.216	3.219	3.243
24	3.19	3.57	3.84	3.106	3.137	3.151	3.188	3.217	3.220	3.244
25	3.20	3.58	3.85	3.107	3.136	3.152	3.189	3.218	3.221	3.245
26	3.21	3.34	3.86	3.108	3.135	3.153	3.190	3.194	3.222	3.246
27	3.22	3.35	3.87	3.109	3.134	3.154	3.191	3.195	3.223	3.247
28	3.23	3.36	3.88	3.110	3.133	3.155	3.192	3.196	3.224	3.248
29	3.24	3.37	3.89	3.101	3.132	3.156	3.193	3.197	3.225	3.249
30	3.25	3.38	3.90	3.102	3.131	3.157	3.168	3.198	3.226	3.250
31	3.26	3.39	3.61	3.103	3.130	3.158	3.169	3.199	3.227	3.251
32	3.27	3.40	3.91	3.104	3.129	3.159	3.170	3.200	3.228	3.252
33	3.28	3.41	3.92	3.105	3.128	3.160	3.171	3.201	3.229	3.253
34	3.29	3.42	3.62	3.106	3.127	3.161	3.172	3.202	3.230	3.254
35	3.30	3.43	3.93	3.107	3.126	3.162	3.173	3.203	3.231	3.255
36	3.31	3.44	3.94	3.108	3.125	3.163	3.174	3.204	3.232	3.256
37	3.32	3.45	3.95	3.109	3.124	3.164	3.175	3.205	3.233	3.257
38	3.33	3.46	3.96	3.110	3.123	3.165	3.176	3.206	3.234	3.258
39	3.1	3.47	3.65	3.97	3.122	3.166	3.177	3.207	3.235	3.259
40	3.2	3.48	3.66	3.98	3.121	3.167	3.178	3.208	3.236	3.260
41	3.3	3.49	3.67	3.99	3.120	3.148	3.179	3.209	3.237	3.241
42	3.4	3.50	3.68	3.100	3.119	3.149	3.180	3.210	3.238	3.242
43	3.5	3.51	3.69	3.101	3.118	3.150	3.181	3.211	3.239	3.243
44	3.6	3.52	3.70	3.102	3.117	3.151	3.182	3.212	3.240	3.244
45	3.7	3.53	3.71	3.103	3.116	3.152	3.183	3.213	3.219	3.245
46	3.8	3.54	3.72	3.104	3.115	3.153	3.184	3.214	3.220	3.246
47	3.9	3.55	3.91	3.105	3.114	3.154	3.185	3.215	3.221	3.247
48	3.10	3.56	3.92	3.106	3.113	3.155	3.186	3.216	3.222	3.248
49	3.11	3.57	3.94	3.107	3.112	3.156	3.187	3.217	3.223	3.249
50	3.12	3.58	3.95	3.108	3.111	3.157	3.188	3.218	3.224	3.250

Модуль 3

Тема 1. Идеальный газ. Уравнение Менделеева-Клапейрона

- 3.1. В сосуде вместимостью $V = 2$ л находится кислород, количество вещества ν которого равно 0,2 моль. Определить плотность ρ газа.
- 3.2. Определить количество вещества ν и число N молекул азота массой $m = 0,2$ кг.
- 3.3. В баллоне вместимостью $V = 3$ л находится кислород массой $m = 4$ г. Определить количество вещества ν и число N молекул газа.
- 3.4. Кислород при нормальных условиях заполняет сосуд вместимостью $V = 11,2$ л. Определить количество вещества ν газа и его массу m .
- 3.5. Определить количество вещества ν водорода, заполняющего сосуд вместимостью $V = 3$ л, если плотность газа $\rho = 6,65 \times 10^{-3}$ кг/моль.
- 3.6. Колба вместимостью $V = 0,5$ л содержит газ при нормальных условиях. Определить число N молекул газа, находящихся в колбе.
- 3.7. Сколько атомов содержится в газах массой 1 г каждый: 1) гелии, 2) углероде?
- 3.8. В сосуде вместимостью $V = 5$ л находится однородный газ количеством вещества $\nu = 0,2$ моль. Определить, какой это газ, если его плотность $\rho = 1,12$ кг/м³.
- 3.9. Одна треть молекул азота массой $m = 10$ г распалась на атомы. Определить оставшееся число N молекул газа.
- 3.10. В цилиндр длиной $l = 1,6$ м, заполненный воздухом при нормальном атмосферном давлении ρ_0 , начали медленно вдвигать поршень площадью $S = 200$ см². Определить силу F , которая будет действовать на поршень, если его остановить на расстоянии $l_1 = 10$ см от дна цилиндра.
- 3.11. В баллоне содержится газ при температуре $t_2 = 100$ °С. До какой температуры t_1 нужно нагреть газ, чтобы его давление увеличилось в два раза?

- 3.12. При нагревании идеального газа на $\Delta T = 1$ К при постоянном давлении объем его увеличился на $1/350$ первоначального объема. Найти начальную температуру T газа.
- 3.13. Оболочка воздушного шара вместимостью $V = 800$ м³ целиком заполнена водородом при температуре $T_1 = 273$ К. Чему равна подъемная сила шара? Считать внешнее давление нормальным.
- 3.14. Баллон вместимостью $V = 12$ л содержит углекислый газ. Давление p газа равно 1 МПа, температура $T = 300$ К. Определить массу m газа в баллоне.
- 3.15. Какой объем V занимает идеальный газ, содержащий количество вещества $\nu = 1$ кмоль при давлении $p = 1$ МПа и температуре $T = 400$ К?
- 3.16. Баллон вместимостью $V = 20$ л содержит углекислый газ массой $m = 500$ г под давлением $p = 1,3$ МПа. Определить температуру T газа.
- 3.17. В баллоне вместимостью $V = 25$ л находится водород при температуре $T = 290$ К. После того как часть водорода израсходовали, давление в баллоне понизилось на $\Delta p = 0,4$ МПа. Определить массу Δm израсходованного водорода.
- 3.18. Какой объем V занимает смесь газов — азота массой $m_1 = 1$ кг и гелия массой $m_2 = 1$ кг — при нормальных условиях?
- 3.19. В баллонах вместимостью $V_1 = 20$ л и $V_2 = 44$ л содержится газ. Давление в первом баллоне $p_1 = 2,4$ МПа, во втором — $p_2 = 1,6$ МПа. Определить общее давление p и парциальные давления p'_1 и p'_2 после соединения баллонов, если температура газа осталась прежней.
- 3.20. В сосуде вместимостью $V = 0,01$ м³ содержится смесь газов — азота массой $m_1 = 7$ г и водорода массой $m_2 = 1$ г — при температуре $T = 280$ К. Определить давление p смеси газов.
- 3.21. Баллон вместимостью $V = 30$ л содержит смесь водорода и гелия при температуре $T = 300$ К и давлении $p = 828$ кПа. Масса m смеси равна 24 г. Определить массу m_1 водорода и массу m_2 гелия.
- 3.22. Давление воздуха внутри плотно закупоренной бутылки при температуре $t_1 = 7^\circ\text{C}$ было $p_1 = 100$ кПа. При нагревании бутылки пробка вылетела. До какой температуры t_2 нагрели бутылку, если известно, что пробка вылетела при давлении воздуха в бутылке $p = 130$ кПа?

3.23. Каким должен быть наименьший V объем баллона, вмещающего массу $m = 6,4$ кг кислорода, если его стенки при температуре $t = 20^\circ\text{C}$ выдерживают давление $p = 15,7$ МПа?

3.24. В баллоне находилась масса $m_1 = 10$ кг газа при давлении $p_1 = 10$ МПа. Какую массу Δm газа взяли из баллона, если давление стало равным $p_2 = 2,5$ МПа? Температуру газа считать постоянной.

3.25. Во сколько раз плотность ρ_1 воздуха, заполняющего помещение зимой ($t_1 = 7^\circ\text{C}$), больше его плотности ρ_2 летом ($t_2 = 7^\circ\text{C}$)? Давление газа считать постоянным.

3.26. Каков должен быть вес P оболочки детского воздушного шарика, наполненного водородом, чтобы результирующая подъемная сила шарика $F = 0$, т.е. чтобы шарик находился во взвешенном состоянии? Воздух и водород находятся при нормальных условиях. Давление внутри шарика равно внешнему давлению. Радиус шарика $r = 12,5$ см.

3.27. Некоторый газ при температуре $t = 10^\circ\text{C}$ и давлении $p = 200$ кПа имеет плотность $\rho = 0,34$ кг/м³. Найти молярную массу M газа.

3.28. Масса $m = 12$ г газа занимает объем $V = 4$ л при температуре $t_1 = 7^\circ\text{C}$. После нагревания газа при постоянном давлении его плотность стала равной $\rho = 0,6$ кг/м³. До какой температуры t_2 нагрели газ?

3.29. В сосуде 1 объемом $V_1 = 3$ л находится газ под давлением $p_1 = 0,2$ МПа. В сосуде 2 объемом $V_2 = 4$ л находится тот же газ под давлением $p_2 = 0,1$ МПа. Температура газа в обоих сосудах одинакова. Под каким давлением p будет находиться газ, если соединить сосуды 1 и 2 трубкой? Объемом трубки пренебречь.

3.30. В сосуде объемом $V = 2$ л находятся масса $m_1 = 6$ г углекислого газа (CO_2) и масса m_2 закиси азота (N_2O) при температуре $t = 127^\circ\text{C}$. найти давление p смеси в сосуде.

3.31. В сосуде находятся масса $m_1 = 14$ г азота и масса $m_2 = 9$ г водорода при температуре $t = 10^\circ\text{C}$ и давлении $p = 1$ МПа. Найти молярную массу M смеси и объем V сосуда.

3.32. В сосуде находится масса $m_1 = 10$ г углекислого газа и масса $m_2 = 15$ г азота. Найти плотность ρ смеси при температуре $t = 27^\circ\text{C}$ и давлении $p = 150$ кПа.

3.33. Зная молярную массу соответствующего газа, найти массу m_0 атома: а) водорода; б) гелия.

Тема 2. Уравнение МКТ для давления. Закон равнораспределения энергии молекул по степеням свободы

3.34. Определить концентрацию n молекул идеального газа при температуре $T = 300$ К и давлении $p = 1$ мПа.

3.35. Определить давление p идеального газа при двух значениях температуры газа: 1) $T = 3$ К; 2) $T = 1$ кК. Принять концентрацию n молекул газа равной $\approx 10^{19}$ см⁻³.

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

3.37. Определить количество вещества ν и концентрацию n молекул газа, содержащегося в колбе вместимостью $V = 240$ см³ при температуре $T = 290$ К и давлении $p = 50$ кПа.

3.38. В колбе вместимостью $V = 100$ см³ содержится некоторый газ при температуре $T = 300$ К. На сколько понизится давление p газа в колбе, если вследствие утечки из колбы выйдет $N = 10^{20}$ молекул?

3.39. В колбе вместимостью $V = 240$ см³ находится газ при температуре $T = 290$ К и давлении $p = 50$ кПа. Определить количество вещества ν газа и число N его молекул.

3.40. Давление p газа равно 1 мПа, концентрация n его молекул равна 10^{10} см⁻³. Определить: 1) температуру T газа; 2) среднюю кинетическую энергию $\langle \varepsilon_{\text{п}} \rangle$ поступательного движения молекул газа.

3.41. Определить среднюю кинетическую энергию $\langle \varepsilon_{\text{п}} \rangle$ поступательного движения и среднее значение $\langle \varepsilon \rangle$ полной кинетической энергии молекулы водяного пара при температуре $T = 600$ К.

3.42. Определить среднее значение $\langle \varepsilon \rangle$ полной кинетической энергии одной молекулы гелия и кислорода при температуре $T = 400$ К.

3.43. Определить среднюю кинетическую энергию $\langle \varepsilon_{\text{п}} \rangle$ поступательного движения, среднюю кинетическую энергию $\langle \varepsilon_{\text{вр}} \rangle$ вращательного движения и среднее значение полной кинетической энергии $\langle \varepsilon \rangle$ молекулы азота при температуре $T = 1$ кК

- 3.44. В сосуде объемом $V = 4$ л находится масса $m = 1$ г водорода. Какое число молекул n содержит единица объема сосуда?
- 3.45. Какое число молекул N находится в комнате объемом $V = 80$ м³ при температуре $t = 17^\circ\text{C}$ и давлении $p = 100$ кПа?
- 3.46. Какое число молекул n содержит единица объема сосуда при температуре $t = 10^\circ\text{C}$ и давлении $p = 1,33 \cdot 10^{-9}$ Па?
- 3.47. Найти суммарную энергию $U_{\text{вр}}$ вращательного движения молекул, содержащихся в массе $m = 1$ кг азота при температуре $t = 7^\circ\text{C}$.
- 3.48. В сосуде вместимостью 1 л находится кислород массой 1 г. Определить концентрацию молекул кислорода в сосуде.
- 3.49. Определить среднюю кинетическую энергию $\langle \varepsilon_0 \rangle$ поступательного движения молекул газа, находящегося под давлением 0,1 Па. Концентрация молекул газа равна 10^{13} см⁻³
- 3.50. В сосуде вместимостью $V = 0,3$ л при температуре $T = 290$ К находится некоторый газ. На сколько понизится давление p газа в сосуде, если из него из-за утечки выйдет $N = 10^{19}$ молекул?
- 3.51. Азот массой $m = 10$ г находится при температуре $T = 290$ К. Определить: 1) среднюю кинетическую энергию одной молекулы азота; 2) среднюю кинетическую энергию вращательного движения всех молекул азота. Газ считать идеальным.
- 3.52. Кислород массой $m = 1$ кг находится при температуре $T = 320$ К. Определить: 1) внутреннюю энергию молекул кислорода; 2) среднюю кинетическую энергию вращательного движения молекул кислорода. Газ считать идеальным.
- 3.53. Под каким давлением находится в баллоне водород, если емкость баллона $V = 10$ л, а суммарная кинетическая энергия поступательного движения молекул водорода $W_k = 7,5 \cdot 10^3$ Дж?
- 3.54. В баллоне находится водород под давлением $p = 1$ МПа. Каков объем баллона, если суммарная кинетическая энергия поступательного движения всех молекул водорода в баллоне $W_k = 15 \cdot 10^3$ Дж?
- 3.55. Найдите среднюю кинетическую энергию одноатомного газа при давлении $p = 20$ кПа и концентрации газа $3 \cdot 10^{25}$ м⁻³.
- 3.56. Одному киломолю некоторого идеального газа в процессе изобарического расширения сообщили количество тепла $Q = 249$ кДж, при

этом его температура увеличилась на $\Delta T = (T_2 - T_1) = 12$ К. Определить число степеней свободы газа i .

3.57. Найти массу m одного киломоля и число степеней свободы i молекулы газа, у которого удельные теплоемкости равны: $c_V = 750$ Дж/(кг·К), $c_P = 1050$ Дж/(кг·К).

3.58. Найти суммарную энергию $U_{вр}$ вращательного движения молекул, содержащихся в массе $m = 1$ кг кислорода при температуре $t = 27^\circ\text{C}$.

Тема 3. Распределение Максвелла

3.59. Найти среднюю квадратичную $\langle v_{кв} \rangle$, среднюю арифметическую $\langle v \rangle$ и наиболее вероятную $\langle v_{в} \rangle$ скорости молекул водорода. Вычисления выполнить для температуры $T = 300$ К.

3.60. При какой температуре T молекулы кислорода имеют такую же среднюю квадратичную скорость $\langle v_{кв} \rangle$, как молекулы водорода при температуре $T_1 = 100$ К?

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

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

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

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

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

- 3.66. Определить наиболее вероятную скорость $\langle v \rangle$ молекул водорода при температуре $T = 400$ К.
- 3.67. Зная функцию распределения молекул по скоростям, вывести формулу наиболее вероятной скорости $\langle v_B \rangle$.
- 3.68. Используя функцию распределения молекул по скоростям, получить функцию, выражающую распределение молекул по относительным скоростям u ($u = v/v_B$).
- 3.69. Какова вероятность W того, что данная молекула идеального газа имеет скорость, отличную от $1/2 v_B$ не более чем на 1 %?
- 3.70. Найти вероятность W того, что данная молекула идеального газа имеет скорость, отличную от $2 v_B$ не более чем на 1 %.
- 3.71. Определить относительное число ω молекул идеального газа, скорости которых заключены в пределах от нуля до одной сотой наиболее вероятной скорости v_B .
- 3.72. Водород находится при нормальных условиях и занимает объем $V = 1$ см³. Определить число N молекул в этом объеме, обладающих скоростями, меньшими некоторого значения $v_{\max} = 1$ м/с.
- 3.73. Найти среднюю квадратичную скорость $\sqrt{\langle v^2 \rangle}$ молекул воздуха при температуре $t = 17^\circ\text{C}$. Молярная масса воздуха $M = 0,029$ кг/моль.
- 3.74. Найти отношение средних квадратичных скоростей молекул гелия и азота при одинаковых температурах.
- 3.75. Найти среднюю квадратичную скорость $\sqrt{\langle v^2 \rangle}$ молекул воздуха при температуре $t = 17^\circ\text{C}$. Молярная масса воздуха $M = 0,029$ кг/моль.
- 3.76. Найти число молекул n водорода в единице объема сосуда при давлении $p = 266,6$ Па, если средняя квадратичная скорость его молекул $\sqrt{\langle v^2 \rangle} = 2,4$ км/с.
- 3.77. Плотность некоторого газа $\rho = 0,06$ кг/м³, средняя квадратичная скорость его молекул $\sqrt{\langle v^2 \rangle} = 500$ м/с. Найти давление p , которое газ оказывает на стенки сосуда.
- 3.78. Во сколько раз средняя квадратичная скорость пылинки, взвешенной в воздухе, меньше средней квадратичной скорости молекул воздуха? Масса

пылинки $m = 10^{-8}$ г. Воздух считать однородным газом, молярная масса которого $M = 0,029$ кг/моль.

3.79. В сосуде объемом $V = 2$ л находится масса $m = 10$ г кислорода при давлении $p = 90,6$ кПа. найти среднюю квадратичную скорость $\sqrt{\langle v^2 \rangle}$ молекул газа, число молекул N , находящихся в сосуде, и плотность ρ газа.

3.80. Средняя квадратичная скорость молекул некоторого газа $\sqrt{\langle v^2 \rangle} = 450$ м/с. Давление газа $p = 50$ кПа. Найти плотность ρ газа при этих условиях.

3.81. Плотность некоторого газа $\rho = 0,082$ кг/м³ при давлении $p = 100$ кПа и температуре $t = 17$ °С. Найти среднюю квадратичную скорость $\sqrt{\langle v^2 \rangle}$ молекул газа. Какова молярная масса M этого газа?

3.82. Энергия поступательного движения молекул азота, находящегося в баллоне объемом $V = 20$ л, $U_{\text{пост}} = 5$ кДж, а средняя квадратичная скорость его молекул $\sqrt{\langle v^2 \rangle} = 2 \cdot 10^3$ м/с. Найти массу m азота в баллоне и давление p , под которым он находится.

3.83. Какая часть молекул азота при $t = 270$ °С обладает скоростями v от 100 до 120 м/с?

3.84. Найти среднюю арифметическую $\langle v \rangle$, среднюю квадратичную $\sqrt{\langle v^2 \rangle}$ и наиболее вероятную $v_{\text{в}}$ скорости молекул газа, который при давлении $p = 40$ кПа имеет плотность $\rho = 0,3$ кг/м³.

3.85. При какой температуре T средняя квадратичная скорость молекул азота больше их наиболее вероятной скорости на $\Delta v = 50$ м/с?

3.86. Какая часть молекул кислорода при $t = 0$ °С обладает скоростями v от 100 до 110 м/с?

3.87. Какая часть молекул азота при $t = 150$ °С обладает скоростями v от 300 до 325 м/с?

3.88. Какая часть молекул водорода при $t = 0$ °С обладает скоростями v от 2000 до 2100 м/с?

3.89. В сосуде находится масса $m = 2,5$ г кислорода. Найти число N_x молекул кислорода, скорости которых превышают среднюю квадратичную скорость $\sqrt{\langle v^2 \rangle}$.

3.90. При какой температуре газа, состоящего из смеси азота и кислорода, наиболее вероятные скорости молекул азота и кислорода будут отличаться друг от друга на 30 м/с?

3.91. Найти отношение числа молекул водорода ΔN_1 , скорости которых лежат в пределах от 2200 м/с до 2210 м/с, к числу молекул этого же газа ΔN_2 , имеющих скорости в пределах от 1300 до 1310 м/с, если температура водорода 3000С.

3.92. В сосуде находится $m = 10$ г водорода (H_2). Сколько молекул водорода при температуре $T = 270$ К обладает скоростями в интервале от $v_1=300$ м/с до $v_2=320$ м/с?

3.93. Какая часть от общего числа N молекул газа имеет скорости: 1) больше средней квадратичной скорости; 2) больше наиболее вероятной скорости?

3.94. Какая часть молекул газа имеет скорости в интервале между наиболее вероятной и средней квадратичной скоростями?

3.95. Как изменится число молекул газа, скорости которых лежат в интервале от средней арифметической до средней квадратичной скорости, если температура газа уменьшится в 5 раз?

3.96. Найти отношение числа молекул кислорода ΔN_1 , скорости которых лежат в интервале от 500 м/с до 520 м/с при температуре $T_1 = 200$ К, к числу молекул этого же газа ΔN_2 , скорости которых находятся в пределах от 390 м/с до 400 м/с при температуре $T_2 = 400$ К.

Тема 4. Барометрическая формула

3.97. Пылинки, взвешенные в воздухе, имеют массу $m = 10^{-18}$ г. Во сколько раз уменьшится их концентрация n при увеличении высоты на $\Delta h = 500$ м? Температура воздуха $T = 300$ К.

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

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

3.100. Барометр в кабине летящего вертолета показывает давление $p = 90$ кПа. На какой высоте h летит вертолет, если на взлетной площадке барометр показывал давление $p_0 = 100$ кПа? Считать, что температура T воздуха равна 290 К и не изменяется с высотой.

3.101. Во сколько раз уменьшится концентрация n молекул азота, входящих в состав воздуха, при увеличении высоты на $\Delta h = 100$ м? Температура воздуха $T = 300$ К.

3.102. Обсерватория расположена на высоте $h = 3250$ м над уровнем моря. Найти давление p воздуха на этой высоте. Температуру воздуха считать независимой от высоты и равной $t = 5$ °С. Молярная масса воздуха $M = 0,029$ кг/моль. Давление воздуха на уровне моря $p_0 = 101,3$ кПа.

3.103. На какой высоте h давление воздуха составляет 75% от давления на уровне моря? Температуру воздуха считать постоянной и равной $t = 0$ °С.

3.104. Найти плотность воздуха: а) у поверхности Земли; б) на высоте $h = 4$ км от поверхности Земли. Температуру воздуха считать независимой от высоты и равной $t = 0$ °С. Давление воздуха у поверхности Земли $p_0 = 100$ кПа.

3.105. На какой высоте h плотность газа вдвое меньше его плотности на уровне моря? Температуру газа считать независимой от высоты и равной $t = 0$ °С. Задачу решить для: а) воздуха, б) водорода.

3.106. На какой высоте давление воздуха составляет 60 % от давления на уровне моря? Считать, что температура воздуха везде одинакова и равна 10 °С.

3.107. Каково давление воздуха на высоте 3 км, если считать, что температура по всей высоте постоянная и равна 22 °С? Давление воздуха у поверхности Земли принять равным 1 атмосфере.

3.108. Определить отношение давления воздуха на высоте 5 км к давлению у поверхности Земли. Воздух у поверхности Земли находится при нормальных условиях, и его температура не зависит от высоты.

3.109. На какой высоте плотность воздуха в e раз (e — основание натуральных логарифмов) меньше по сравнению с его плотностью на уровне моря? Температуру воздуха и ускорение свободного падения считать не зависящими от высоты.

3.110. Предположим, что пылинки, взвешенные в воздухе над городом, имеют массу 10^{-21} г каждая. На какой высоте их концентрация уменьшится в 100 раз? Температура воздуха 300 К.

Тема 5. Работа газа. Первое начало термодинамики

3.111. Водород массой $m = 4$ г был нагрет на $\Delta T = 10$ К при постоянном давлении. Определить работу A расширения газа.

3.112. Газ, занимавший объем $V_1 = 12$ л под давлением $p_1 = 100$ кПа, был изобарно нагрет от температуры $T_1 = 300$ К до $T_2 = 400$ К. Определить работу A расширения газа.

3.113. Какая работа A совершается при изотермическом расширении водорода массой $m = 5$ г, взятого при температуре $T = 290$ К, если объем газа увеличивается в три раза?

3.114. Кислород массой $m = 4$ г был нагрет на $\Delta T = 10$ К при постоянной температуре. Определить работу A расширения газа.

3.115. Азот массой $m = 5$ кг, нагретый на $\Delta T = 150$ К, сохранил неизменный объем V . Найти: 1) количество теплоты Q , сообщенное газу; 2) изменение ΔU внутренней энергии; 3) совершенную газом работу A .

3.116. Водород занимает объем $V_1 = 10$ м³ при давлении $p_1 = 100$ кПа. Газ нагрели при постоянном объеме до давления $p_2 = 300$ кПа. Определить: 1) изменение ΔU внутренней энергии газа; 2) работу A , совершенную газом; 3) количество теплоты Q , сообщенное газу.

3.117. При изохорном нагревании кислорода объемом $V = 50$ л давление газа изменилось на $\Delta p = 0,5$ МПа. Найти количество теплоты Q , сообщенное газу.

3.118. Баллон вместимостью $V = 20$ л содержит водород при температуре $T = 300$ К под давлением $p = 0,4$ МПа. Каковы будут температура T_1 и давление p_1 , если газу сообщить количество теплоты $Q = 6$ кДж?

3.119. Кислород при неизменном давлении $p = 80$ кПа нагревается. Его объем увеличивается от $V_1 = 1$ м³ до $V_2 = 3$ м³. Определить: 1) изменение ΔU внутренней энергии кислорода; 2) работу A , совершенную им при расширении; 3) количество теплоты Q , сообщенное газу.

- 3.120. Азот нагревался при постоянном давлении, причем ему было сообщено количество теплоты $Q = 21$ кДж. Определить работу A , которую совершил при этом газ, и изменение ΔU его внутренней энергии.
- 3.121. Гелий массой $m = 1$ г был нагрет на $\Delta T = 100$ К при постоянном давлении p . Определить: 1) количество теплоты Q , переданное газу; 2) работу A расширения; 3) приращение ΔU внутренней энергии газа.
- 3.122. Какая доля ω_1 количества теплоты Q_1 подводимого к идеальному газу при изобарном процессе, расходуется на увеличение ΔU внутренней энергии газа и какая доля ω_2 — на работу A расширения? Рассмотреть три случая, если газ: 1) одноатомный; 2) двухатомный; 3) трехатомный.
- 3.123. Водяной пар расширяется при постоянном давлении. Определить работу A расширения, если пару передано количество теплоты $Q = 4$ кДж.
- 3.124. Азот массой $m = 200$ г расширяется изотермически при температуре $T = 280$ К, причем объем газа увеличивается в два раза. Найти: 1) изменение ΔU внутренней энергии газа; 2) совершенную при расширении газа работу A ; 3) количество теплоты Q , полученное газом.
- 3.125. При изотермическом расширении водорода массой $m = 1$ г, имевшего температуру $T = 280$ К, объем газа увеличился в три раза. Определить работу A расширения газа и полученное газом количество теплоты Q .
- 3.126. Азот, занимавший объем $V_1 = 10$ л под давлением $p_1 = 0,2$ МПа, изотермически расширился до объема $V_2 = 28$ л. Определить работу A расширения газа и количество теплоты Q , полученное газом.
- 3.127. При изотермическом расширении кислорода, содержавшего количество вещества $\nu = 1$ моль и имевшего температуру $T = 300$ К, газу было передано количество теплоты $Q = 2$ кДж. Во сколько раз увеличился объем газа?
- 3.128. Какое количество теплоты Q выделится, если азот массой $m = 1$ г, взятый при температуре $T = 280$ К под давлением $p_1 = 0,1$ МПа, изотермически сжать до давления $p_2 = 1$ МПа?
- 3.129. Расширяясь, водород совершил работу $A = 6$ кДж. Определить количество теплоты Q , подведенное к газу, если процесс протекал: 1) изобарно; 2) изотермически.
- 3.130. При изотермическом расширении кислорода, содержавшего количество вещества $\nu = 1$ моль и имевшего температуру $T = 300$ К, газу

было передано количество теплоты $Q = 2$ кДж. Во сколько раз увеличился объем газа?

3.131. Давление азота объемом $V = 3$ л при нагревании увеличилось на $\Delta p = 1$ МПа. Определить количество теплоты Q , полученное газом, если объем газа остался неизменным.

3.132. Масса $m = 12$ г азота находится в закрытом сосуде объемом $V = 2$ л при температуре $t = 10$ °С. После нагревания давление в сосуде стало равным $p = 1,33$ МПа. Какое количество теплоты Q сообщено газу при нагревании?

3.133. В сосуде объемом $V = 2$ л находится азот при давлении $p = 0,1$ МПа. Какое количество теплоты Q надо сообщить азоту, чтобы: а) при $p = \text{const}$ объем увеличился вдвое; б) при $V = \text{const}$ давление увеличилось вдвое?

3.134. Какое количество теплоты Q надо сообщить массе $m = 12$ г кислорода, чтобы нагреть его на $\Delta t = 50$ °С при $p = \text{const}$?

3.135. На нагревание массы $m = 40$ г кислорода от температуры $t_1 = 16$ °С до $t_2 = 40$ °С затрачено количество теплоты $Q = 628$ Дж. При каких условиях нагревался газ (при постоянном объеме или при постоянном давлении)?

3.136. В закрытом сосуде объемом $V = 10$ л находится воздух при давлении $p = 0,1$ МПа. Какое количество теплоты Q надо сообщить воздуху, чтобы повысить давление в сосуде в 5 раз?

3.137. Какую массу m углекислого газа можно нагреть при $p = \text{const}$ от температуры $t_1 = 20$ °С до $t_2 = 100$ °С количеством теплоты $Q = 222$ Дж? На сколько при этом изменится средняя кинетическая энергия одной молекулы?

3.138. В закрытом сосуде объемом $V = 2$ л находится азот, плотность которого $\rho = 1,4$ кг/м³. Какое количество теплоты Q надо сообщить азоту, чтобы нагреть его на $\Delta T = 100$ К?

3.139. Азот находится в закрытом сосуде объемом $V = 2$ л при температуре $t_1 = 27$ °С и давлении $p_1 = 0,3$ МПа. Вследствие нагревания давление в сосуде повысилось до $p_2 = 2,5$ МПа. Найти температуру t_2 азота после нагревания и количество теплоты Q , сообщенное азоту.

3.140. Двухатомному газу сообщено количество теплоты $Q = 2,093$ кДж. Газ расширяется при $p = \text{const}$. Найти работу A расширения газа.

3.141. При изобарическом расширении двухатомного газа была совершена работа $A = 156,8$ Дж. Какое количество теплоты Q было сообщено газу?

3.142. В сосуде объемом $V = 5$ л находится газ при давлении $p = 200$ кПа и температуре $t = 17$ °С. При изобарическом расширении газа была совершена работа $A = 196$ Дж. На сколько нагрелся газ?

3.143. Масса $m = 10,5$ г азота изотермически расширяется при температуре $t = -23$ °С, причем его давление изменяется от $p_1 = 250$ кПа до $p_2 = 100$ кПа. Найти работу A , совершенную газом при расширении.

3.144. При изотермическом расширении массы $m = 10$ г азота, находящегося при температуре $t = 17$ °С, была совершена работа $A = 860$ Дж. Во сколько раз изменилось давление азота при расширении?

3.145. Работа изотермического расширения массы $m = 10$ г некоторого газа от объема V_1 до $V_2 = 2V_1$ оказалась равной $A = 575$ Дж. Найти среднюю квадратичную скорость $\sqrt{\langle v^2 \rangle}$ молекул газа при этой температуре.

3.146. Гелий, находящийся при нормальных условиях изотермически расширяется от объема $V_1 = 1$ л до $V_2 = 2$ л. Найти работу A , совершенную газом при расширении, и количество теплоты Q , сообщенное газу.

3.147. При изотермическом расширении газа, занимавшего объем $V = 2$ м³, давление его меняется от $p_1 = 0,5$ МПа до $p_2 = 0,4$ МПа. Найти работу A , совершенную газом.

Тема 6. Внутренняя энергия

3.148. В цилиндре под поршнем находится азот массой $m = 0,6$ кг, занимающий объем $V_1 = 1,2$ м³ при температуре $T = 560$ К. В результате подвода теплоты газ расширился и занял объем $V_2 = 4,2$ м³, причем температура осталась неизменной. Найти: 1) изменение ΔU внутренней энергии газа; 2) совершенную им работу A ; 3) количество теплоты Q , сообщенное газу.

3.149. Водород массой $m = 10$ г нагрели на $\Delta T = 200$ К, причем газу было передано количество теплоты $Q = 40$ кДж. Найти изменение ΔU внутренней энергии газа и совершенную им работу A .

3.150. Углекислый газ CO_2 массой $m = 400$ г был нагрет на $\Delta T = 50$ К при постоянном давлении. Определить изменение ΔU внутренней энергии газа, количество теплоты Q , полученное газом, и совершенную им работу A .

3.151. Кислород массой $m = 800$ г, охлажденный от температуры $t_1 = 100$ °С до температуры $t_2 = 20$ °С, сохранил неизменным объем. Определить: 1) количество теплоты Q , полученное газом; 2) изменение ΔU внутренней энергии и 3) совершенную газом работу A .

3.152. Найти внутреннюю энергию U массы $m = 20$ г кислорода при температуре $t = 10$ °С. Какая часть этой энергии приходится на долю поступательного движения молекул и какая часть на долю вращательного движения?

3.153. Найти внутреннюю энергию U массы $m = 1$ г воздуха при температуре $t = 10$ °С. Молярная масса воздуха $M = 0,029$ кг/моль.

3.154. Найти внутреннюю энергию U двухатомного газа, находящегося в сосуде объемом $V = 2$ л под давлением $p = 150$ кПа.

3.155. Двухатомный газ, имеющий массу $m = 1$ кг и плотность $\rho = 4$ кг/м³, находится под давлением $p = 80$ кПа. Найти энергию теплового движения U молекул газа при этих условиях.

3.156. Какое число молекул N двухатомного газа содержит объем $V = 10$ см³ при давлении $p = 5,3$ кПа и температуре $t = 27$ °С? Какой энергией теплового движения U обладают эти молекулы?

3.157. Масса $m = 10$ г кислорода находится при давлении $p = 0,3$ МПа и температуре $t = 10$ °С. После нагревания при $p = \text{const}$ газ занял объем $V = 10$ л. Найти количество теплоты Q , полученное газом, и энергию теплового движения молекул газа U до и после нагревания.

3.158. Масса $m = 10$ г кислорода находится при давлении $p = 300$ кПа и температуре $t = 10$ °С. После нагревания при $p = \text{const}$ газ занял объем $V = 10$ л. Найти количество теплоты Q , полученное газом, приращение ΔU внутренней энергии и работу A , совершенную газом при расширении.

3.159. Масса $m = 6,5$ г водорода, находящегося при температуре $t = 27$ °С, расширяется вдвое при $p = \text{const}$ за счет притока тепла извне. Найти работу A расширения газа, приращение ΔU внутренней энергии газа и количество теплоты Q , сообщенное газу.

3.160. В закрытом сосуде находится масса $m_1 = 20$ г азота и масса $m_2 = 32$ г кислорода. Найти приращение ΔU внутренней энергии смеси газов при охлаждении ее на $\Delta T = 28$ К.

3.161. Количество $\nu = 2$ кмоль углекислого газа нагревается при постоянном давлении на $\Delta T = 50$ К. Найти приращение ΔU внутренней энергии газа, работу A расширения газа и количество теплоты Q , сообщенное газу.

3.162. Масса $m = 7$ г углекислого газа была нагрета на $\Delta T = 10$ К в условиях свободного расширения. Найти работу A расширения газа и приращение ΔU его внутренней энергии.

3.163. Количество $\nu = 1$ кмоль многоатомного газа нагревается на $\Delta T = 100$ К в условиях свободного расширения. Найти количество теплоты Q , сообщенную газу, приращение ΔU его внутренней энергии и работу A расширения газа.

3.164. Азот массой $m = 14$ г сжимают изотермически при температуре $T = 300$ К от давления $p_1 = 100$ кПа до давления $p_2 = 500$ кПа. Определить: 1) изменение внутренней энергии газа; 2) работу сжатия; 3) количество выделившейся теплоты.

3.165. Азот массой $m = 50$ г находится при температуре $T_1 = 280$ К. В результате изохорного охлаждения его давление уменьшилось в $n = 2$ раза, а затем в результате изобарного расширения температура газа в конечном состоянии стала равной первоначальной. Определить: 1) работу, совершенную газом; 2) изменение внутренней энергии газа.

3.166. При адиабатическом расширении кислорода ($\nu = 2$ моль), находящегося при нормальных условиях, его объем увеличился в $n = 3$ раза. Определить: 1) изменение внутренней энергии газа; 2) работу расширения газа.

3.167. При изобарном нагревании некоторого идеального газа ($\nu = 2$ моль) на $\Delta T = 90$ К ему было сообщено количество теплоты $2,1$ кДж. Определить: 1) работу, совершаемую газом; 2) изменение внутренней энергии газа; 3) величину $\gamma = C_p/C_v$.

Тема 7. Теплоемкость идеального газа

3.168. Вычислить удельные теплоемкости c_v и c_p газов: 1) водорода; 2) углекислого газа.

3.169. Разность удельных теплоемкостей $c_p - c_v$ некоторого двухатомного газа равна 260 Дж/(кг К). Найти молярную массу M газа и его удельные теплоемкости c_v и c_p .

- 3.170. Каковы удельные теплоемкости c_v и c_p смеси газов, содержащей кислород массой $m_1 = 10$ г и азот массой $m_2 = 20$ г?
- 3.171. Определить удельную теплоемкость c_v смеси газов, содержащей $V_1 = 5$ л водорода и $V_2 = 3$ л гелия. Газы находятся при одинаковых условиях.
- 3.172. Определить удельную теплоемкость c_p смеси кислорода и азота, если количество вещества ν_1 первого компонента равно 2 моль, а количество вещества ν_2 второго равно 4 моль.
- 3.173. Смесь газов состоит из хлора и криптона, взятых при одинаковых условиях и в равных объемах. Определить удельную теплоемкость c_p смеси.
- 3.174. Определить удельную теплоемкость c_v смеси ксенона и кислорода, если количества вещества газов в смеси одинаковы и равны ν .
- 3.175. Найти показатель адиабаты γ для смеси газов, содержащей гелий массой $m_1 = 10$ г и водород массой $m_2 = 4$ г.
- 3.176. Смесь газов состоит из аргона и азота, взятых при одинаковых условиях и в одинаковых объемах. Определить показатель адиабаты γ такой смеси.
- 3.177. Найти показатель адиабаты γ смеси газов, содержащей кислород и аргон, если количества вещества того и другого газа в смеси одинаковы и равны ν .
- 3.178. Определить удельную теплоемкость c_p смеси кислорода и азота, если количество вещества ν_1 первого компонента равно 2 моль, а количество вещества ν_2 второго равно 4 моль.
- 3.179. Определить удельную теплоемкость c_p смеси кислорода и азота, если количество вещества ν_1 первого компонента равно 2 моль, а количество вещества ν_2 второго равно 4 моль.
- 3.180. Определить удельную теплоемкость c_p смеси кислорода и азота, если количество вещества ν_1 первого компонента равно 2 моль, а количество вещества ν_2 второго равно 4 моль.
- 3.181. Определить удельную теплоемкость c_p смеси кислорода и азота, если количество вещества ν_1 первого компонента равно 2 моль, а количество вещества ν_2 второго равно 4 моль.
- 3.182. Найти удельную теплоемкость кислорода для: а) $V = \text{const}$; б) $p = \text{const}$.
- 3.183. Найти удельную теплоемкость c_p : а) неона; в) двуокиси азота.

- 3.184. Найти отношение удельных теплоемкостей c_p/c_v для кислорода.
- 3.185. Удельная теплоемкость некоторого двухатомного газа $c_p = 14,7$ кДж/(кг·К). Найти молярную массу M этого газа.
- 3.186. Плотность некоторого двухатомного газа при нормальных условиях $\rho = 1,43$ кг/м³. Найти удельные теплоемкости c_v и c_p этого газа.
- 3.187. Молярная масса некоторого газа $M = 0,03$ кг/моль, отношение $c_p/c_v = 1,4$. Найти удельные теплоемкости c_v и c_p этого газа.
- 3.188. Удельная теплоемкость газовой смеси, состоящей из количества $\nu_1 = 1$ кмоль кислорода и некоторой массы m_2 аргона, $c_p = 430$ Дж/(кг·К). Какая масса m_2 аргона находится в газовой смеси?
- 3.189. Считая азот идеальным газом, определить его удельную теплоемкость: 1) для изобарного процесса; 2) для изохорного процесса.
- 3.190. Определить удельные теплоемкости c_v и c_p , если известно, что некоторый газ при нормальных условиях имеет удельный объем $v = 0,7$ м³/кг. Что это за газ?
- 3.191. Определить удельные теплоемкости c_v и c_p смеси углекислого газа массой $m_1 = 3$ г и азота массой $m_2 = 4$ г.
- 3.192. Определить показатель адиабаты γ для смеси газов, содержащей гелий массой $m_1 = 8$ г и водород массой $m_2 = 2$ г.
- 3.193. Применяя первое начало термодинамики и уравнение состояния идеального газа, показать, что разность удельных теплоемкостей $c_p - c_v = R/M$.

Тема 8. Адиабатический процесс

- 3.194. При адиабатном сжатии кислорода массой $m = 1$ кг совершена работа $A = 100$ кДж. Определить конечную температуру T_2 газа, если до сжатия кислород находился при температуре $T_1 = 300$ К.
- 3.195. Определить работу A адиабатного расширения водорода массой $m = 4$ г, если температура газа понизилась на $\Delta T = 10$ К.

- 3.196. Азот массой $m = 2$ г, имевший температуру $T_1 = 300$ К, был адиабатно сжат так, что его объем уменьшился в $n = 10$ раз. Определить конечную температуру T_2 газа и работу A сжатия.
- 3.197. Кислород, занимавший объем $V_1 = 1$ л под давлением $p_1 = 1,2$ МПа, адиабатно расширился до объема $V_2 = 10$ л. Определить работу A расширения газа.
- 3.198. При адиабатном расширении кислорода с начальной температурой $T_1 = 320$ К внутренняя энергия уменьшилась на $\Delta U = 8,4$ кДж, а его объем увеличился в $n = 10$ раз. Определить массу m кислорода.
- 3.199. Водород при нормальных условиях имел объем $V_1 = 100$ м³. Найти изменение ΔU внутренней энергии газа при его адиабатном расширении до объема $V_2 = 150$ м³.
- 3.200. В цилиндре под поршнем находится водород массой $m = 0,02$ кг при температуре $T_1 = 300$ К. Водород сначала расширился адиабатно, увеличив свой объем в шесть раз, а затем был сжат изотермически, причем объем газа уменьшился в шесть раз. Найти температуру T_2 в конце адиабатного расширения и полную работу A , совершенную газом. Изобразить процесс графически.
- 3.201. При адиабатном сжатии кислорода массой $m = 20$ г его внутренняя энергия увеличилась на $\Delta U = 8$ кДж и температура повысилась до $T_2 = 900$ К. Найти: 1) повышение температуры ΔT ; 2) конечное давление газа p_2 , если начальное давление $p_1 = 200$ кПа.
- 3.202. Воздух, занимавший объем $V_1 = 10$ л при давлении $p_1 = 100$ кПа, был адиабатно сжат до объема $V_2 = 1$ л. Под каким давлением p_2 находится воздух после сжатия?
- 3.203. Горючая смесь в двигателе дизеля воспламеняется при температуре $T_2 = 1,1$ кК. Начальная температура смеси $T_1 = 350$ К. Во сколько раз нужно уменьшить объем смеси при сжатии, чтобы она воспламенилась? Сжатие считать адиабатным. Показатель адиабаты γ для смеси принять равным 1,4.
- 3.204. При адиабатном сжатии газа его объем уменьшился в $n = 10$ раз, а давление увеличилось в $\kappa = 21,4$ раза. Определить отношение C_p/C_v теплоемкостей газов.
- 3.205. До какой температуры t_2 охладится воздух, находящийся при $t_1 = 0^\circ\text{C}$, если он расширяется адиабатически от объема V_1 до $V_2 = 2V_1$?

- 3.206. Объем $V_1 = 7,5$ л кислорода адиабатически сжимается до объема $V_2 = 1$ л, причем в конце сжатия установилось давление $p_2 = 1,6$ МПа. Под каким давлением p_1 находился газ до сжатия?
- 3.207. При адиабатическом сжатии воздуха в цилиндрах двигателя внутреннего сгорания давление изменяется от $p_1 = 0,1$ МПа до $p_2 = 3,5$ МПа. Начальная температура воздуха $t_1 = 40^\circ\text{C}$. Найти температуру t_2 воздуха в конце сжатия.
- 3.208. Газ расширяется адиабатически, причем объем его увеличивается вдвое, а термодинамическая температура падает в 1,32 раза. Какое число степеней свободы i имеют молекулы этого газа?
- 3.209. Двухатомный газ, находящийся при давлении $p_1 = 2$ МПа и температуре $t_1 = 27^\circ\text{C}$, сжимается адиабатически от объема V_1 до $V_2 = 0,5V_1$. Найти температуру t_2 и давление p_2 газа после сжатия.
- 3.210. Количество $\nu = 1$ кмоль азота, находящегося при нормальных условиях, расширяется адиабатически от объема V_1 до $V_2 = 5V_1$. Найти приращение ΔU внутренней энергии газа и работу A , совершенную газом при расширении.
- 3.211. Необходимо сжать воздух от объема $V_1 = 10$ л до $V_2 = 2$ л. Как энергетически выгоднее его сжимать (адиабатически или изотермически)?
- 3.212. При адиабатическом сжатии количества $\nu = 1$ кмоль двухатомного газа была совершена работа $A = 146$ кДж. На сколько увеличилась температура газа при сжатии?
- 3.213. Во сколько раз уменьшится средняя квадратичная скорость молекул двухатомного газа при адиабатическом увеличении объема газа в 2 раза?
- 3.214. Масса $m = 28$ г азота, находящегося при температуре $t_1 = 40^\circ\text{C}$ и давлении $p_1 = 100$ кПа, сжимается до объема $V_2 = 13$ л. Найти температуру t_2 и давление p_2 азота после сжатия, если азот сжимается: а) изотермически; б) адиабатически. Найти работу A сжатия в каждом из этих случаев.
- 3.215. Два различных газа, из которых один одноатомный, а другой двухатомный, находятся при одинаковых температурах и занимают одинаковые объемы. Газы сжимаются адиабатически так, что объем уменьшается вдвое. Какой из газов нагреется больше и во сколько раз?
- 3.216. Масса $m = 1$ кг воздуха, находящегося при давлении $p_1 = 150$ кПа и температуре $t_1 = 30^\circ\text{C}$, расширяется адиабатически и давление при этом

падает до $p_2 = 100$ кПа. Во сколько раз увеличился объем воздуха? Найти конечную температуру t_2 и работу A , совершенную газом при расширении.

3.217. Азот массой $m = 1$ кг занимает при температуре $T_1 = 300$ К объем $V_1 = 0,5$ м³. В результате адиабатического сжатия давление газа увеличилось в 3 раза. Определить: 1) конечный объем газа; 2) его конечную температуру; 3) изменение внутренней энергии газа.

3.218. Азот, находившийся при температуре 400 К, подвергли адиабатическому расширению, в результате которого его объем увеличился в $n = 5$ раз, а внутренняя энергия уменьшилась на 4 кДж. Определить массу азота.

Тема 9. Энтропия идеального газа

3.219. Смешали воду массой $m_1 = 5$ кг при температуре $T_1 = 280$ К с водой массой $m_2 = 8$ кг при температуре $T_2 = 350$ К. Найти: 1) температуру θ в смеси; 2) изменение ΔS энтропии, происходящее при смешивании.

3.220. В результате изохорного нагревания водорода массой $m = 1$ г давление p газа увеличилось в два раза. Определить изменение ΔS энтропии газа.

3.221. Найти изменение ΔS энтропии при изобарном расширении азота массой $m = 4$ г от объема $V_1 = 5$ л до объема $V_2 = 9$ л.

3.222. Кусок льда массой $m = 200$ г, взятый при температуре $t_1 = -10$ °С, был нагрет до температуры $t_2 = 0$ °С и расплавлен, после чего образовавшаяся вода была нагрета до температуры $t_1 = 10$ °С. Определить изменение ΔS энтропии в ходе указанных процессов.

3.223. Лед массой $m_1 = 2$ кг при температуре $t_1 = 0$ °С был превращен в воду той же температуры с помощью пара, имеющего температуру $t_2 = 100$ °С. Определить массу m_2 израсходованного пара. Каково изменение ΔS энтропии системы лед — пар?

3.224. Кислород массой $m = 2$ кг увеличил свой объем в $n = 5$ раз один раз изотермически, другой — адиабатно. Найти изменения энтропии в каждом из указанных процессов.

3.225. Водород массой $m = 100$ г был изобарно нагрет так, что объем его увеличился в $n = 3$ раза, затем водород был изохорно охлажден так, что

давление его уменьшилось в $n = 3$ раза. Найти изменение ΔS энтропии в ходе указанных процессов.

3.226. Найти приращение ΔS энтропии при превращении массы $m = 10$ г льда ($t = -20$ °C) в пар ($t_{\text{п}} = 100$ °C).

3.227. Найти приращение ΔS энтропии при превращении массы $m = 1$ г воды ($t = 0$ °C) в пар ($t_{\text{п}} = 100$ °C).

3.228. Найти приращение ΔS энтропии при плавлении массы $m = 1$ кг льда ($t = 0$ °C).

3.229. Найти приращение ΔS энтропии при переходе массы $m = 8$ г кислорода от объема $V_1 = 10$ л при температуре $t_1 = 80$ °C к объему $V_2 = 40$ л при температуре $t_2 = 300$ °C.

3.230. Найти приращение ΔS энтропии при переходе массы $m = 6$ г водорода от объема $V_1 = 20$ л под давлением $p_1 = 150$ кПа к объему $V_2 = 60$ л под давлением $p_2 = 100$ кПа.

3.231. Масса $m = 6,6$ г водорода расширяется изотермически от объема V_1 до объема $V_2 = 2V_1$. Найти приращение ΔS энтропии при этом расширении.

3.232. Найти приращение ΔS энтропии при изобарическом расширении массы $m = 8$ г гелия от объема $V_1 = 10$ л до объема $V_2 = 25$ л.

3.233. Найти приращение ΔS энтропии при изотермическом расширении массы $m = 6$ г водорода от давления $p_1 = 100$ кПа до давления $p_2 = 50$ кПа.

3.234. Масса $m = 10,5$ г азота изотермически расширяется от объема $V_1 = 2$ л до объема $V_2 = 5$ л. Найти приращение ΔS энтропии при этом процессе.

3.235. Масса $m = 10$ г кислорода нагревается от температуры $t_1 = 50$ °C до температуры $t_2 = 150$ °C. Найти приращение ΔS энтропии, если нагревание происходит: а) изохорически; б) изобарически.

3.236. Приращение энтропии на участке между двумя адиабатами в цикле Карно $\Delta S = 4,19$ кДж/К. Разность температур между двумя изотермами $\Delta T = 100$ К. Какое количество теплоты Q превращается в работу в этом цикле?

3.237. Во сколько раз необходимо увеличить объем $\nu = 5$ моль идеального газа при изотермическом расширении, если его энтропия увеличилась на $57,6$ Дж/К?

3.238. При нагревании двухатомного идеального газа ($\nu = 3$ моль) его термодинамическая температура увеличилась в $n = 2$ раза. Определить

изменение энтропии, если нагревание происходит: 1) изохорно; 2) изобарно.
3.239. Идеальный газ ($\nu = 2$ моль) сначала изобарно нагрели, так что объем газа увеличился в $n_1 = 2$ раза, а затем изохорно охладил, так что давление его уменьшилось в $n = 2$ раза. Определить приращение энтропии в ходе указанных процессов.

3.240. Азот массой 28 г адиабатически расширили в $n = 2$ раза, а затем изобарно сжали до первоначального объема. Определить изменение энтропии газа в ходе указанных процессов.

Тема 10. Цикл Карно

3.241. В результате кругового процесса газ совершил работу $A = 1$ Дж и передал охладителю количество теплоты $Q_2 = 4,2$ Дж. Определить термический к.п.д. η цикла.

3.242. Совершая замкнутый процесс, газ получил от нагревателя количество теплоты $Q_1 = 4$ кДж. Определить работу A газа при протекании цикла, если его термический к.п.д. $\eta = 0,1$.

3.243. Идеальный газ, совершающий цикл Карно, $2/3$ количества теплоты Q_1 , полученного от нагревателя, отдает охладителю. Температура T_2 охладителя равна 280 К. Определить температуру T_1 нагревателя.

3.244. Идеальный газ совершает цикл Карно. Температура T_2 охладителя равна 290 К. Во сколько раз увеличится к.п.д. цикла, если температура нагревателя повысится от $T'_1 = 400$ К до $T''_1 = 600$ К?

3.245. Идеальный газ совершает цикл Карно. Температура T_1 нагревателя в три раза выше температуры T_2 охладителя. Нагреватель передал газу количество теплоты $Q_1 = 42$ кДж. Какую работу A совершил газ?

3.246. Идеальный газ совершает цикл Карно. Температура T_1 нагревателя равна 470 К, температура T_2 охладителя равна 280 К. При изотермическом расширении газ совершает работу $A = 100$ Дж. Определить термический к.п.д. η цикла, а также количество теплоты Q_2 , которое газ отдает охладителю при изотермическом сжатии.

3.247. Идеальный газ совершает цикл Карно. Температура T_1 нагревателя в четыре раза выше температуры T_2 охладителя. Какую долю ω количества теплоты, получаемого за один цикл от нагревателя, газ отдает охладителю?

3.248. Идеальный газ, совершающий цикл Карно, получив от нагревателя количество теплоты $Q_1 = 4,2$ кДж, совершил работу $A = 590$ Дж. Найти термический к.п.д. η этого цикла. Во сколько раз температура T_1 нагревателя больше температуры T_2 охладителя?

3.249. Идеальный газ совершает цикл Карно. Работа A_1 изотермического расширения газа равна 5 Дж. Определить работу A_2 изотермического сжатия, если термический к.п.д. η цикла равен 0,2.

3.250. Наименьший объем V_1 газа, совершающего цикл Карно, равен 153 л. Определить наибольший объем V_3 , если объем V_2 в конце изотермического расширения и объем V_4 в конце изотермического сжатия равны соответственно 600 и 189 л.

3.251. Тепловая машина, работающая по циклу Карно, за цикл получает от нагревателя количество теплоты $Q_1 = 2,512$ кДж. Температура нагревателя $T_1 = 400$ К, температура холодильника $T_2 = 300$ К. Найти работу A , совершаемую машиной за один цикл, и количество теплоты Q_2 , отдаваемое холодильнику за один цикл.

3.252. Тепловая машина, работающая по циклу Карно, совершает за один цикл работу $A = 2,94$ кДж и отдает за один цикл холодильнику количество теплоты $Q_2 = 13,4$ кДж. Найти КПД η цикла.

3.253. Тепловая машина, работающая по циклу Карно, совершает за один цикл работу $A = 73,5$ кДж. Температура нагревателя $t_1 = 100^\circ\text{C}$, температура холодильника $t_2 = 0^\circ\text{C}$. Найти КПД η цикла, количество теплоты Q_1 , получаемое машиной за один цикл от нагревателя, и количество теплоты Q_2 , отдаваемое за один цикл холодильнику.

3.254. Тепловая машина работает по циклу Карно. При этом 80 % количества теплоты, получаемого от нагревателя, передается холодильнику. Машина получает от нагревателя количество теплоты $Q_1 = 6,28$ кДж. Найти КПД η цикла и работу A , совершаемую за один цикл.

3.255. Холодильная машина, работающая по обратному циклу Карно, совершает за один цикл работу $A = 37$ кДж. При этом она берет тепло от тела температурой $t_2 = -10^\circ\text{C}$ и передает тепло телу с температурой $t_1 = 17^\circ\text{C}$. Найти КПД η цикла, количество теплоты Q_2 , отнятое у холодного тела за один цикл, и количество теплоты Q_1 , переданное более горячему телу за один цикл.

3.256. Идеальный газ, совершающий цикл Карно, 70 % количества теплоты, полученной от нагревателя, отдает холодильнику. Количество теплоты,

получаемое от нагревателя, равно 5 кДж. Определить: 1) термический к.п.д. цикла; 2) работу, совершенную за цикл.

3.257. Идеальный газ совершает цикл Карно. Газ получил от нагревателя количество теплоты 5,5 кДж и совершил работу 1,1 кДж. Определить: 1) термический к.п.д. цикла; 2) отношение температур нагревателя и холодильника.

3.258. Идеальный газ совершает цикл Карно, термический к.п.д. которого равен 0,4. Определить работу изотермического сжатия газа, если работа изотермического расширения составляет 400 Дж.

3.259. Идеальный газ совершает цикл Карно. Температура нагревателя $T_1 = 500$ К, холодильника $T_2 = 300$ К. Работа изотермического расширения газа составляет 2 кДж. Определить: 1) термический к.п.д. цикла; 2) количество теплоты, отданное газом при изотермическом сжатии холодильнику.

3.260. Многоатомный идеальный газ совершает цикл Карно, при этом в процессе адиабатического расширения объем газа увеличивается в $n = 4$ раза. Определить термический к.п.д. цикла.