

## Задачи для зачетной контрольной работы Молекулярная физика

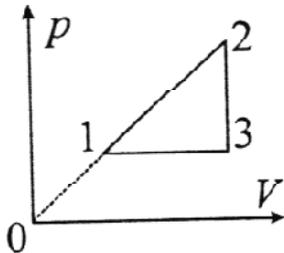
1. Идеальный газ находится в сосуде достаточно большого объема при температуре  $T$  и давлении  $P$ . Оценить относительную флуктуацию  $\frac{\sigma_m}{\langle m \rangle}$  числа молекул газа в малом объеме  $v$ , являющемся частью объема сосуда.
2. Столкновения молекул разреженного идеального газа происходят очень редко и случайным образом. В среднем молекула испытывает  $z = 2$  столкновения в секунду. Какова вероятность  $P$  того, что за время  $t = 5$  сек молекула испытает одно столкновение?
3. Газообразный азот находится при температуре  $T = 300$  К. Найти отношение числа молекул азота с компонентами скорости вдоль оси  $x$  в интервале  $v_{1x} = 300 \pm 0,31$  м/с к числу молекул с компонентами скорости вдоль той же оси в интервале  $v_{2x} = 500 \pm 0,51$  м/с.
4. Найти температуру  $T$  газообразного азота, при которой скоростям молекул  $v_1 = 300$  м/с и  $v_2 = 600$  м/с соответствуют одинаковые значения функции распределения молекул идеального газа по скоростям  $f(v)$ .
5. Определить скорость  $v$  молекул азота, при которой относительная доля молекул, скорости которых лежат в интервале  $(v, v+dv)$  при температуре  $T_0$ , будет такой же, как и при температуре в  $\eta$  раз большей.
6. При какой температуре газа  $T$ , состоящего из смеси азота и кислорода, наиболее вероятные скорости молекул азота и кислорода будут отличаться друг от друга на  $\Delta v = 30$  м/с?
7. Смесь водорода и гелия находится при температуре  $T$ . При каком значении скорости  $v$  относительная доля молекул каждого газа, скорости которых лежат в интервале  $(v, v+dv)$ , будет одинакова? Масса молекулы водорода  $m_H$ , масса молекулы гелия  $m_{He}$ .
8. Газ состоит из молекул, масса каждой из которых  $m$ . При какой температуре газа  $T$  число молекул со скоростями в заданном интервале  $(v, v+dv)$  будет максимально?
9. Идеальный газ находится при температуре  $T$ . Найти наивероятнейшее значение  $\epsilon_{нв}$  кинетической энергии поступательного движения молекул газа.
10. Водород находится в состоянии термодинамического равновесия. Определить температуру газа  $T$ , при которой среднеквадратичная скорость молекул водорода больше их наиболее вероятной скорости на  $\Delta v = 400$  м/с.
11. Кислород находится в состоянии термодинамического равновесия. Определить температуру газа  $T$ , при которой функция распределения молекул кислорода по скоростям будет иметь максимум при скорости  $v = 420$  м/с.
12. Какова относительная доля молекул одноатомного идеального газа, находящегося в тепловом равновесии, которые имеют кинетическую энергию, отличающуюся от ее среднего значения не более чем на  $\pm 1\%$ ?
13. Определить относительную долю молекул идеального газа, кинетические энергии которых заключены в пределах от нуля до значения, равного  $0,01\epsilon_{нв}$ .

14. Во сколько раз изменится значение максимума функции распределения молекул одноатомного идеального газа по кинетическим энергиям  $f(\epsilon)$ , если температура газа увеличится в 2 раза?
15. Разреженный идеальный газ, масса каждой молекулы которого  $m$ , находится в тонкостенном сосуде объемом  $V$  при температуре  $T$ . В стенке сосуда имеется малое отверстие площадью  $S$ , через которое газ вытекает в вакуум. Истечение газа происходит медленно и не нарушает равновесного состояния во всем сосуде. Определить время  $t$ , по истечении которого давление газа внутри сосуда уменьшится в 2 раза.
16. Пусть  $\eta_0$  - отношение концентрации молекул водорода к концентрации молекул азота вблизи поверхности Земли, а  $\eta$  - соответствующее отношение на высоте  $h$ . Найти температуру  $T$ , при которой отношение  $\eta$  к  $\eta_0$  равно двум. Масса молекулы водорода  $m_H$ , масса молекулы азота  $m_N$ . Считать, что  $T$  и ускорение свободного падения  $g$  не зависят от высоты.)
17. Идеальный газ находится в вертикальном цилиндрическом сосуде с площадью основания  $S$  и высотой  $H$  в однородном поле сил тяжести при температуре  $T$ . Давление газа на уровне нижнего основания  $P_0$ , масса каждой молекулы газа  $m$ . Определить массу  $M$  газа в сосуде.
18. Горизонтально расположенную трубку с закрытыми торцами вращают с постоянной угловой скоростью  $\omega$  вокруг вертикальной оси, проходящей через один из ее торцов. В трубке находится углекислый газ при температуре  $T$ . Длина трубки  $L$ . Найти значение  $\omega$ , при котором отношение концентраций молекул газа у противоположных торцов трубки  $n = 2$ .
19. Найти молярную массу  $\mu$  коллоидных частиц, если известно, что при вращении центрифуги вокруг вертикальной оси относительные концентрации частиц на расстояниях  $r_2$  и  $r_1$  от оси центрифуги ( $r_2 > r_1$ ), различаются в  $\alpha$  раз. Плотности частиц и растворителя –  $\rho$  и  $\rho_0$  соответственно, угловая скорость вращения центрифуги  $\omega$ .
20. Во сколько раз средняя длина свободного пробега  $\langle \lambda \rangle$  молекул азота, находящегося при давлении  $p = 10^5 \text{ Па}$  и температуре  $T = 300 \text{ К}$ , больше среднего расстояния  $\langle l \rangle$  между его молекулами?
21. Как для двухатомного газа средняя длина свободного пробега молекул зависит от температуры, если процесс адиабатический?
22. Как для газа число столкновений молекулы в единицу времени зависит от температуры, если процесс изохорический?
23. Во сколько раз изменится число ударов двухатомных молекул газа о поверхность стенки в единицу времени, если газ адиабатически расширить в  $n$  раз?
24. Как изменится коэффициент диффузии  $D$  газа, если его объем увеличить изобарически в  $n$  раз?
25. Как изменится вязкость газа, состоящего из двухатомных молекул, если его объем адиабатически уменьшить в 10 раз?
26. Два одинаковых параллельных диска, оси которых совпадают, расположены на расстоянии  $h$  друг от друга. Радиус каждого диска равен  $R$ , причем  $h \ll R$ . Один диск вращают с небольшой угловой скоростью  $\omega$ , другой диск неподвижен. Найти момент сил трения, действующий на неподвижный диск, если вязкость газа между дисками равна  $\eta$ .
27. На концах цилиндрической трубы длиной  $l$  и радиусом  $R$ , по которой течет жидкость с вязкостью  $\eta$ , поддерживается разность давлений  $\Delta p$ . Найти зависимость скорости слоев жидкости от их расстояния до оси трубы.

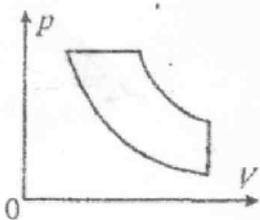
28. Коэффициент теплопроводности азота при нормальных условиях  $\vartheta = 2,4 \cdot 10^{-2} \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ . Каков размер молекулы азота?
29. Коэффициент теплопроводности воздуха при нормальных условиях  $\vartheta = 2,4 \cdot 10^{-2} \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ . Какова величина этого коэффициента при температуре  $50^\circ\text{C}$ ?
30. Один конец стержня, заключенного в теплоизолирующую оболочку, имеет температуру  $T_1$ , а другой конец – температуру  $T_2$ . Сам стержень состоит из двух частей, длины которых  $l_1$  и  $l_2$ , а коэффициенты теплопроводности  $\vartheta_1$  и  $\vartheta_2$ . Найти температуру поверхности соприкосновения этих частей стержня.
31. Пространство между двумя большими горизонтальными пластинами заполнено гелием. Расстояние между пластинами 50 мм. Нижняя пластина поддерживается при температуре 290 К, верхняя – при 330 К. Давление газа близко к нормальному. Эффективный диаметр атома гелия 0,2 нм. Найти плотность потока тепла в единицу времени.
32. Водоем покрыт слоем льда толщиной  $h_1 = 5 \text{ см}$ . Через какой промежуток времени толщина льда станет равной  $h_2 = 10 \text{ см}$ , если температура воздуха в течение этого промежутка равна  $T = 263 \text{ К}$ ? (Для льда: плотность  $\rho = 900 \text{ кг/м}^3$ , удельная теплота плавления  $q = 3,33 \cdot 10^5 \text{ Дж/кг}$ , коэффициент теплопроводности  $\vartheta = 2,1 \cdot 10^6 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ .)
33. Найти среднюю длину свободного пробега молекул кислорода при давлении  $10^5 \text{ Па}$ , если коэффициент теплопроводности при том же давлении и температуре 273 К равен  $2,4 \cdot 10^{-2} \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ .
34. Газообразный водород, находившийся при давлении  $p_0$  и температуре  $T_0$  в закрытом сосуде объемом  $V$ , охладили на  $\Delta T$ . Найти количество отданной газом теплоты.
35. Какое количество теплоты  $Q$  надо сообщить газу при изобарическом нагревании, чтобы он совершил работу  $A$ ?
36. Найти молярную массу газа, если при изобарическом нагревании  $m$  кг этого газа на  $\Delta T$  требуется на  $\Delta Q$  теплоты больше, чем при изохорическом нагревании.
37. Один моль идеального газа изобарически нагрели на  $\Delta T$ , сообщив ему количество теплоты  $Q$ . Найти отношение теплоемкостей  $\gamma = C_p/C_v$  для этого газа.
38. Два моля идеального газа, находившегося при температуре  $T_0$ , охладили изохорически, вследствие чего его давление уменьшилось в  $n$  раз. Затем газ изобарически расширили так, что его температура стала равной  $T_0$ . Найти количество теплоты  $Q$ , полученной газом.
39. Закрытый с обоих концов горизонтальный цилиндр объемом  $2V_0$  разделен тонким легкоподвижным поршнем, который делит цилиндр на две равные части. В каждой половине цилиндра находится идеальный газ при одинаковой температуре и одном и том же давлении  $p_0$ . Какую работу  $A$  необходимо совершить, перемещая поршень изотермически, чтобы объем одной части цилиндра стал в  $n$  раз больше объема другой части?
40. Три моля идеального газа, находившегося при температуре  $T_0$ , изотермически расширили в  $n$  раз, а затем изохорически нагрели. В результате давление газа стало равным первоначальному. Найти отношение теплоемкостей  $\gamma = C_p/C_v$  для этого газа, если ему было передано количество теплоты  $Q$ .
41. Один моль кислорода, находившегося при температуре  $T_0$ , адиабатически сжали, в результате чего его давление увеличилось в  $n$  раз. Найти работу  $A$ , совершенную над газом.
42. Некоторое количество азота подвергли сжатию в  $n$  раз (по объему): один раз адиабатически, другой раз изотермически. Начальное состояние газа в обоих случаях было одинаковым. Найти отношение  $A_S/A_T$  соответствующих работ, затраченных на сжатие.
43. Внутри закрытого теплоизолированного цилиндра с идеальным газом находится легкоподвижный теплопроводящий поршень. При равновесии поршень делит цилиндр на две равные части и при этом температура газа равна  $T_0$ . Поршень медленно переместили так, что отношение объема большей части к объему меньшей части стало равным  $n$ . Найти температуру газа в конечном состоянии, если показатель адиабаты газа  $\gamma$ .

44. Объем моля идеального газа с показателем адиабаты  $\gamma$  изменяют по закону  $V = \alpha/T$ , где  $\alpha$  – постоянная. Найти количество теплоты  $Q$ , полученное газом в этом процессе, если температура изменилась на  $\Delta T$ .
45. При некотором политропическом процессе объем аргона увеличился в  $\alpha$  раз. При этом давление уменьшилось в  $\beta$  раз. Найти молярную теплоемкость  $C$  аргона в этом процессе, считая газ идеальным.
46. Один моль аргона расширили по политропе с показателем  $n$ . При этом температура газа изменилась на  $\Delta T$ . Найти работу  $A$ , совершенную газом.
47. Один моль идеального газа с показателем адиабаты  $\gamma$  участвует в процессе, при котором его давление  $p \sim V^\alpha$ , где  $\alpha$  – постоянная. Найти работу  $A$ , совершенную газом, при изменении его температуры на  $\Delta T$ .
48. Один моль идеального газа с показателем адиабаты  $\gamma$  участвует в процессе, при котором его давление  $p \sim V^\alpha$ , где  $\alpha$  – постоянная. Найти молярную теплоемкость  $C$  газа в этом процессе.
49. Идеальный газ с показателем адиабаты  $\gamma$  участвует в процессе, при котором его внутренняя энергия  $U \sim V^\alpha$ , где  $\alpha$  – постоянная. Найти работу  $A$ , совершенную газом, если внутренняя энергия изменилась на  $\Delta U$ .
50. Идеальный газ с показателем адиабаты  $\gamma$  участвует в процессе, при котором его внутренняя энергия  $U \sim V^\alpha$ , где  $\alpha$  – постоянная. Найти молярную теплоемкость газа  $C$  в этом процессе.
51. Найти зависимость молярной теплоемкости  $C$  идеального газа от объема в процессе  $T = T_0 e^{\alpha V}$ , где  $T_0$  и  $\alpha$  – постоянные. Молярная теплоемкость газа при постоянном объеме  $C_V$  известна.
52. Найти зависимость молярной теплоемкости  $C$  идеального газа от объема в процессе  $p = p_0 e^{\alpha V}$ , где  $p_0$  и  $\alpha$  – постоянные. Молярная теплоемкость газа при постоянном объеме  $C_V$  известна.
53. Один моль идеального газа, теплоемкость которого при постоянном давлении равна  $C_p$ , участвует в процессе  $p = p_0 + \alpha/V$ , где  $p_0$  и  $\alpha$  – постоянные. Найти теплоемкость газа  $C$  как функцию его объема.
54. Один моль идеального газа, теплоемкость которого при постоянном давлении равна  $C_p$ , участвует в процессе  $p = p_0 + \alpha/V$ , где  $p_0$  и  $\alpha$  – постоянные. Найти количество теплоты, полученное газом при его расширении от  $V_1$  до  $V_2$ .
55. Один моль идеального газа, теплоемкость которого при постоянном давлении равна  $C_p$ , участвует в процессе  $T = T_0 + \alpha/V$ , где  $T_0$  и  $\alpha$  – постоянные. Найти теплоемкость газа  $C$  как функцию его объема  $V$ .
56. Один моль идеального газа, теплоемкость которого при постоянном давлении равна  $C_p$ , участвует в процессе  $T = T_0 + \alpha/V$ , где  $T_0$  и  $\alpha$  – постоянные. Найти количество теплоты, полученное газом при его расширении от  $V_1$  до  $V_2$ .
57. Найти уравнение процесса (в переменных  $T, V$ ), при котором молярная теплоемкость идеального газа изменяется по закону  $C = C_V + \alpha/T$ , где  $\alpha$  – постоянная.
58. Найти уравнение процесса (в переменных  $T, V$ ), при котором молярная теплоемкость идеального газа изменяется по закону  $C = C_V + \alpha V$ , где  $\alpha$  – постоянная.
59. Найти уравнение процесса (в переменных  $T, V$ ), при котором молярная теплоемкость идеального газа изменяется по закону  $C = C_V + \alpha p$ , где  $\alpha$  – постоянная.
60. Молярная теплоемкость идеального газа с показателем адиабаты  $\gamma$  при некотором процессе изменяется по закону  $C = \alpha/T$ , где  $\alpha$  – постоянная. Найти работу  $A$ , совершенную одним молем газа при повышении его температуры в  $n$  раз от температуры  $T_0$ .
61. В закрытом сосуде при температуре  $T$  находится  $\nu$  молей гелия. Какое количество теплоты  $Q$  необходимо сообщить, чтобы средняя квадратичная скорость молекул гелия возросла в  $n$  раз?
62. Объем газа из жестких двухатомных молекул с молярной теплоемкостью  $C$  в ходе политропического процесса увеличили в  $n$  раз. Во сколько раз изменилась при этом частота ударов молекул о стенку сосуда?

63. Газ из жестких двухатомных молекул расширили политропически так, что частота ударов молекул о стенку сосуда не изменилась. Найти молярную теплоемкость  $C$  газа в этом процессе.
64. Определить КПД двигателя внутреннего сгорания, если в цикле отношение  $V_{\max}/V_{\min} = n$ . Цикл, состоящий из двух изохор (23 и 41) и двух адиабат (12 и 34) считать идеальным,  $\gamma$  задано.
65. Идеальный одноатомный газ нагревают так, что его давление, изменяясь пропорционально квадратному корню из абсолютной температуры ( $p \sim \sqrt{T}$ ), возрастает в  $n$  раз. Затем газ охлаждают, при этом его давление уменьшается пропорционально температуре ( $p \sim T$ ) до начального. После этого газ изобарически возвращают в исходное состояние. Найти КПД теплового двигателя, работающего по такому циклу.
66. В тепловом двигателе идеальный газ расширяется изотермически и после изохорического охлаждения адиабатическим сжатием возвращается в исходное состояние. При этом КПД двигателя равно  $\eta$ , число молей газа  $\nu = 2$  молярная теплоемкость газа при постоянном объеме  $c_v$  а максимальное изменение температуры газа –  $\Delta T$ . Найти работу газа при изотермическом расширении.
67. Найти КПД теплового двигателя, использующего идеальный двухатомный газ в качестве рабочего вещества. Если его цикл состоит из двух изохор и двух изобар. Отношение давлений на изобарах равно  $\beta (> 1)$ , отношение объемов на изохорах равно  $\alpha (> 1)$ .
68. Моль гелия за цикл работы в тепловом двигателе совершает работу равную  $A$ . Цикл состоит из адиабаты, изобары и изохоры. Максимальная разность температур гелия при адиабатическом процессе равна  $\Delta T$ . Найти количество теплоты  $Q$ , которым обменивается гелий с внешними телами при изобарическом процессе, зная, что на этом участке цикла температура гелия становится минимальной.

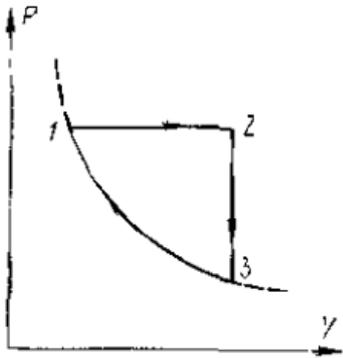


69. На  $pV$ -диаграмме показано изменение состояния одного моля идеального одноатомного газа, используемого в качестве рабочего вещества теплового двигателя. Отношение максимальной абсолютной температуры газа к его минимальной в данном цикле равно  $n = 4$ . Во сколько раз отличается КПД этого цикла от от максимально возможного при заданном значении  $n$ ?

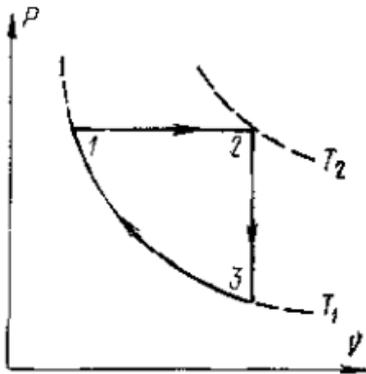


70. Тепловой двигатель, в котором в качестве рабочего вещества используется один моль идеального одноатомного газа, работает по циклу, изображенному на  $pV$ -диаграмме и состоящему из двух адиабат, изохоры и изобары. Зная, что КПД этого цикла равен  $\eta$ , а минимальная и максимальная температуры газа при изобарическом процессе равны  $T_1$  и  $T_2$ , найти количество теплоты, отдаваемое газом за цикл.

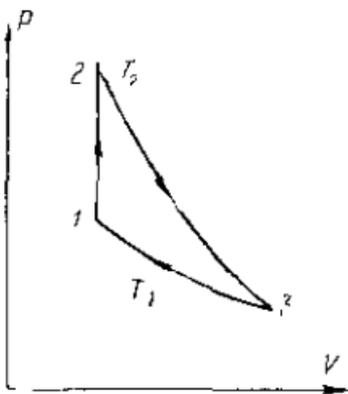
71. Тепловая машина Карно, имеющая к.п.д.  $\eta$ , начинает использоваться при тех же тепловых резервуарах как холодильная машина. Какое количество теплоты  $Q$  эта машина переведет от холодильника к рабочему телу за один цикл, если к ней за каждый цикл подводится работа  $A$ ?
72. Тепловая машина Карно используется в качестве холодильной машины для поддержания температуры некоторого резервуара при температуре  $T_2$ . Температура окружающего воздуха  $T_1$  ( $T_1 > T_2$ ). Какая механическая работа  $A$  требуется для выполнения одного цикла машины, если при этом от оболочки резервуара отводится количество теплоты  $Q$ ?
73. Найти к. п. д. цикла  $\eta$ , проводимого с идеальным газом и состоящего из двух изотерм с температурами  $T_1$  и  $T_2$  и двух изохор с объемами  $V_1$  и  $V_2$  ( $T_1 > T_2$ ,  $V_1 > V_2$ ). Молярная теплоемкость газа  $c_v$  известна.



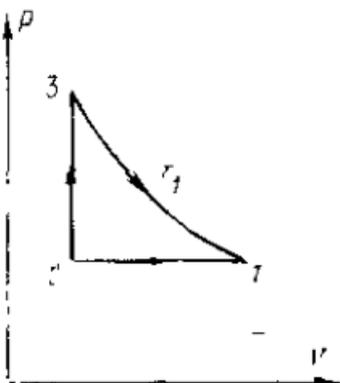
74. На рисунке изображена диаграмма обратимого цикла, выполняемого моле идеального газа в некоторой тепловой машине. Найти к. п. д. цикла  $\eta$ , выразив его как функцию температур  $T_1$ ,  $T_2$  и  $T_3$ . Процесс  $31$  адиабатический, отношение  $\gamma = c_p/c_v$  известно.



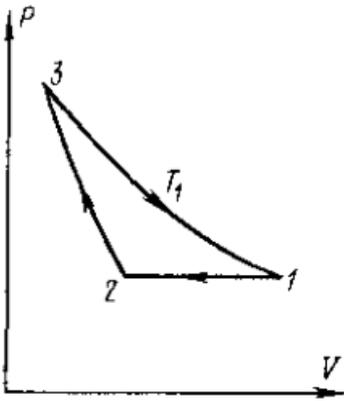
75. На рисунке изображена диаграмма обратимого цикла, выполняемого моле идеального газа в некоторой тепловой машине. Найти к. п. д. цикла  $\eta$ , выразив его как функцию температур  $T_1$  и  $T_2$ . Процесс  $31$  изотермический, молярная теплоемкость газа  $c_p$  известна.



76. Тепловая машина с идеальным газом в качестве рабочего вещества совершает обратимый цикл, состоящий из изохоры  $12$ , адиабаты  $23$  и изотермы  $31$  (см. рисунок). Найти к. п. д. машины  $\eta$  как функцию максимальной  $T_2$  и минимальной  $T_1$  температур, достигаемых газом в этом цикле.



77. Тепловая машина с идеальным газом в качестве рабочего вещества совершает цикл, состоящий из изотермы  $31$  при температуре  $T_1$ , изобары  $12$  и изохоры  $23$  (см. рисунок). Найти к. п. д. этого цикла  $\eta$  как функцию максимальной  $T_1$  и минимальной  $T_2$  температур рабочего вещества, участвующего в цикле.



78. Тепловая машина с идеальным газом в качестве рабочего вещества совершает обратимый цикл, состоящий из изобары 12, адиабаты 23 и изотермы 31 (см. рисунок). Найти к. п. д. машины  $\eta$  как функцию максимальной  $T_1$  и минимальной  $T_2$  температур рабочего вещества, используемого в этом цикле.

79. Найти приращение энтропии одного моля идеального газа с показателем адиабаты  $\gamma$  при увеличении его термодинамической температуры в  $n$  раз, если процесс нагревания – изохорический. Газ считать идеальным.
80. Во сколько раз следует увеличить изотермически объем идеального газа в количестве  $v$  молей, чтобы его энтропия испытала приращение  $\Delta S$ ?
81. Идеальный газ в количестве  $v$  молей сначала изохорически охладили, а затем изобарически расширили так, что температура газа стала равна первоначальной. Найти приращение энтропии газа, если его давление в данном процессе изменилось в  $n$  раз.
82. Идеальный газ массой  $m$  с молярной массой  $\mu$  и показателем адиабаты  $\gamma$  адиабатически расширили в  $n$  раз и затем изобарически сжали до первоначального объема. Найти приращение энтропии газа в этом процессе.
83. Найти приращение энтропии  $v$  молей идеального газа с показателем адиабаты  $\gamma$ , если в результате некоторого процесса объем газа увеличился в  $\alpha$  раз, а давление уменьшилось в  $\beta$  раз.
84. В сосудах 1 и 2 находится по  $v$  молей идеального газа с показателем адиабаты  $\gamma$ . Отношение объемов сосудов  $V_2/V_1 = \alpha > 1$ , а отношение абсолютных температур газа в них  $T_2/T_1 = \beta > 1$ . Найти разность энтропий газа в этих сосудах ( $S_2 - S_1$ ).
85. Один моль идеального газа с показателем адиабаты  $\gamma$  совершает политропический процесс, в результате которого абсолютная температура газа увеличивается в  $\tau$  раз. Показатель политропы равен  $n$ . Найти приращение энтропии газа в данном процессе.
86. Процесс расширения  $v$  молей идеального газа с показателем адиабаты  $\gamma$  происходит так, что давление газа увеличивается прямо пропорционально его объему. Найти приращение энтропии газа при увеличении его объема в  $\alpha$  раз.
87. Один моль идеального газа совершает процесс, при котором энтропия газа изменяется с температурой  $T$  по закону  $S = aT + C_V \ln T$ , где  $a$  – положительная постоянная,  $C_V$  – молярная теплоемкость данного газа при постоянном объеме. Найти, как зависит температура газа от его объема в этом процессе, если при  $V = V_0$  температура  $T = T_0$ .
88. При очень низких температурах теплоемкость кристаллов  $C = aT^3$ , где  $a$  – постоянная. Найти энтропию кристалла как функцию температуры в этой области.
89. Найти температуру  $T$  как функцию энтропии  $S$  вещества для политропического процесса, при котором теплоемкость вещества равна  $C$ . Известно, что при температуре  $T_0$  энтропия равна  $S_0$ .
90. Один моль идеального газа совершает процесс, при котором его энтропия  $S$  зависит от температуры  $T$ , как  $S = \alpha/T$ , где  $\alpha$  – постоянная. Найти молярную теплоемкость газа  $C$  как функцию температуры  $T$ .
91. Рабочее вещество совершает цикл, в пределах которого абсолютная температура изменяется в  $n$  раз, а сам цикл имеет вид, показанный на рисунке, где  $T$  – температура,  $S$  – энтропия. Найти КПД цикла.
92. Теплоизолированный цилиндр разделен невесомым поршнем на две одинаковые части. По одну сторону поршня находится один моль идеального газа с показателем адиабаты  $\gamma$ , а по другую сторону – вакуум. Начальная температура газа



$T_0$ . Поршень отпустили, и газ заполнил весь цилиндр. Затем поршень медленно переместили в начальное положение. Найти приращение энтропии газа в результате обоих процессов.

93. Два одинаковых теплоизолированных сосуда, соединенные трубкой с краном, содержат по одному молю одного и того же идеального газа. Температура газа в одном сосуде  $T_1$ , в другом  $T_2$ . Молярная теплоемкость газа равна  $C_V$ . После открывания крана газ пришел в новое состояние равновесия. Найти  $\Delta S$  – приращение энтропии газа. Показать, что  $\Delta S > 0$ .
94. При нормальном атмосферном давлении  $p_0$  температура кипения воды равна  $T_0 = 373\text{K}$ , удельная теплота парообразования воды  $q$ , молярная масса воды  $\mu$ . Определить давление насыщенного водяного пара при температуре  $T_1$ , немного большей  $T_0$ , считая пар близким к идеальному газу.
95. Уксусная кислота при атмосферном давлении  $p_0$  плавится при температуре  $T$ . Удельный объем уксусной кислоты в жидкой фазе  $v_1$ , а в твердой фазе в  $\alpha$  раз меньше. Ее точка плавления смещается на  $\Delta T$  °С при изменении давления на  $\Delta p$  ( $\Delta T \ll T$ ). Найти удельную теплоту плавления  $q$  уксусной кислоты.
96. В закрытом сосуде объемом  $V_0$  находится вода массой  $m$  при температуре  $t = 100$  °С, а над ней – насыщенный пар. На сколько увеличится масса насыщенного пара ( $\Delta m$ ) при повышении температуры на  $\Delta t = 1$  °С? Удельная теплота парообразования воды  $q$ . Считать пары воды близкими к идеальному газу. Давление насыщенных паров воды при  $t = 100$  °С равно  $p_0$ .
97. При температуре  $t_1 = 0$  °С давление водяного пара надо льдом  $p_1$ . Удельная теплота плавления льда при  $t_1$  равна  $q_1$ , а удельная теплота испарения воды при этой же температуре  $q_2$ . Найти давление водяного пара надо льдом при температуре  $t = -1$  °С.
98. Кусок льда помещен в адиабатическую оболочку при температуре  $t_0 = 0$  °С и нормальном атмосферном давлении  $p_0$ . Удельные объемы воды  $v_в$ , льда  $v_л$ , удельная теплота плавления льда  $q$ , теплоемкость льда  $c_л$ . Какая доля льда ( $\Delta m/m$ ) расплавится, если его адиабатически сжать до давления  $p$ ?
99. Найти зависимость давления насыщенных паров от температуры для не слишком большого интервала температур, считая удельную теплоту парообразования  $q$  не зависящей от температуры, а удельный объем жидкости значительно меньшим удельного объема пара. Пар можно считать идеальным газом. В начальном состоянии давление пара  $p_0$ , температура  $T_0$ .
100. Найти зависимость давления  $p$  насыщенного пара от температуры  $T$ , считая его близким к идеальному газу, а удельный объем жидкости значительно меньшим удельного объема насыщенного пара. Удельная теплота испарения  $q = q_0 - aT$ , где  $a = \text{const}$ . Молярная масса вещества  $\mu$ .
101. Найти повышение температуры  $\Delta T$  кипения воды при увеличении давления ее насыщенных паров на 1 атм вблизи точки кипения воды в нормальных условиях ( $t = 100$  °С,  $p_0 = 1$  атм). Удельная теплота испарения воды в этих условиях  $q$ . Считать пар близким к идеальному газу.
102. Найти удельную теплоту испарения бензола  $q_{\text{исп}}$  вблизи его тройной точки, если при этих условиях его удельная теплота плавления  $q_{\text{пл}}$ , температура тройной точки  $T$ , равновесное давление пара в тройной точке  $p$ , а для кривой возгонки в той же точке  $\frac{dp}{dT} = \alpha$  ( $\alpha = \text{const}$ ).
- Пар бензола близок к идеальному газу. Молярная масса бензола  $\mu$ .
103. На ледяную поверхность, температура которой  $t_1 = -1$  °С, ставится штанга, площадь основания которой  $S$ . При каком весе штанги лед под ней начнет таять? Удельная теплота плавления льда  $q$ , удельные объемы льда и воды при нормальных условиях  $v_л$  и  $v_в$ , а температура плавления льда  $t_0 = 0$  °С.
104. Превращение вещества  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  из ромбической в ромбоэдрическую форму происходит при атмосферном давлении  $p_0 = 1$  атм при температуре  $t_0 = 32,0$  °С. Оно сопровождается поглощением тепла  $q = 1600$  Дж/моль, плотность при этом уменьшается с  $\rho_1 = 1,72$  г/см<sup>3</sup> до  $\rho_2 = 1,66$  г/см<sup>3</sup>. Найти температуру такого превращения при давлении  $p_1 = 10$  атм.

105. Воду массой  $m$  нагрели от температуры  $t_1$  до температуры  $t_2 = 100$  °С, при которой она вся превратилась в пар. Удельная теплоемкость воды  $c_p$ , удельная теплота испарения  $q$ . Найти приращение энтропии системы.
106. Лед с начальной температурой  $t_1 = 0$  °С в результате нагрева превратили сначала в воду, а затем в пар при температуре  $t_2 = 100$  °С. Удельная теплота плавления льда  $q_1$ , удельная теплота испарения воды  $q_2$ , удельная теплоемкость воды  $c_p$ . Найти приращение удельной энтропии системы.
107. Найти критическую плотность воды, если критическое давление для воды равно  $p_{кр} = 195$  атм, а критическая температура  $T_{кр} = 374$  °С, предполагая, что вода подчиняется уравнению Ван-дер-Ваальса.
108. Найти выражение для изотермической сжимаемости  $\gamma_T$  газа Ван-дер-Ваальса.
109. Найти температурный коэффициент расширения  $\alpha$  для газа Ван-дер-Ваальса при постоянном давлении.
110. Два баллона с объемами  $V_1 = V_2 = V = 1$  л соединены трубкой с краном. В объеме  $V_1$  находится воздух под атмосферным давлением, а объем  $V_2$  откачан до предельного вакуума. Считая, что воздух подчиняется уравнению Ван-дер-Ваальса, а стенки баллонов и трубки адиабатические, определить, на сколько изменится температура газа после открытия крана. Начальная температура  $T = 290$  К, для воздуха  $a = 1,39 \cdot 10^6$  атм·см<sup>6</sup>/моль<sup>2</sup>.
111. Моль азота расширяется в пустоту от начального объема 1 л до конечного 10 л. Найти понижение температуры  $\Delta T$  при таком процессе, если постоянная  $a$  в уравнении Ван-дер-Ваальса для азота  $a = 1,35 \cdot 10^6$  атм·см<sup>6</sup>/моль<sup>2</sup>.
112. Два сосуда с объемами  $V_1$  и  $V_2$  соединены трубкой с краном. В каждом из них при закрытом кране находится по одному молю одного и того же газа, подчиняющегося уравнению Ван-дер-Ваальса. До открытия крана температура газа в обоих сосудах была одинакова и равна  $T$ . На сколько изменится температура газа после открытия крана?
113. Азот при критической температуре  $T_{кр} = 147$  °С имеет критический объем  $V_{кр} = 0,12$  л/моль. Считая, что азот подчиняется уравнению Ван-дер-Ваальса, найти понижение температуры 7 г азота при расширении в пустоту от объема  $V_1 = 5$  л до объема  $V_2 = 50$  л.
114. Какое количество тепла надо подвести к одному молю газа Ван-дер-Ваальса, чтобы при расширении в пустоту от объема  $V_1$  до объема  $V_2$  его температура не изменилась?
115. Какое количество тепла надо подвести к одному молю газа Ван-дер-Ваальса, чтобы при расширении в пустоту от объема  $V_1$  до объема  $V_2$  его давление осталось постоянным и равным  $p$ ?
116. Найти  $C_p - C_V$  для моля газа Ван-дер-Ваальса.
117. Найти уравнение политропы для газа Ван-дер-Ваальса, считая, что его теплоемкость  $C$  не зависит от температуры.
118. Показать, что газ, подчиняющийся уравнению Ван-дер-Ваальса, с  $a = 0$  в опыте Джоуля–Томсона всегда нагревается. Определить повышение температуры при расширении.
119. Показать, что газ, подчиняющийся уравнению Ван-дер-Ваальса, с  $b = 0$  в опыте Джоуля–Томсона всегда охлаждается. Определить понижение температуры при расширении.
120. При какой температуре  $T$  гелий в опыте Джоуля–Томсона начнет охлаждаться, если известно, что критическая температура гелия  $T_{кр} = 5,1$  К? Считать, что состояние гелия описывается уравнением Ван-дер-Ваальса.