

Данная подборка задач является **примером** того, что будет разбираться на смене. Здесь приведены 2–3 задачи из каждого семинара для того, чтобы вы смогли оценить уровень смены и темы, которые обсуждаются на ней. На самих семинарах будет разобрано гораздо больше задач.

Семинар 1. МКТ. Уравнение состояния 1.0

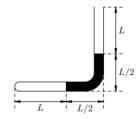
- 1. Кристаллическая решётка алюминия кубическая гранецентрированная. Атомы алюминия расположены во всех вершинах куба и в центрах всех граней. Рассчитать плотность алюминия, зная его атомную массу A=27 и минимальное расстояние между атомами $l=2.9\cdot 10^{-10}$ м.
- **2.** Оцените скорость роста толщины слоя серебра при напылении в вакууме, если известно, что атомы серебра с энергией $E=10^{-19}$ Дж оказывают на подложку давление p=0,1 Па. Плотность серебра $\rho=10,5$ г/см³, молярная масса $\mu=108$ г/моль.
- **3.** Идеальный газ участвует в процессе, в котором его температура изменяется от T_0 до $5T_0$, а график зависимости давления от температуры парабола

$$p = p_0 \left(1 + \frac{T^2}{4T_0^2} \right).$$

Плотность газа в конце процесса равна ρ_{κ} . Чему равна минимальная плотность газа в этом процессе?

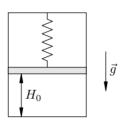
Семинар 2. Уравнения состояния 2.0

4. Имеется Γ -образная тонкая трубка постоянного внутреннего сечения и общей длиной 3L=1260 мм. Между слоем воздуха длиной и атмосферой находится слой ртути той же длины L (см. рисунок). Какой длины слой ртути останется в трубке, если вертикальное колено повернуть на 180° , расположив его открытым концом вниз? Внешнее давление H=735 мм рт. ст.



5. В закрытом сосуде при температуре T находился кислород в количестве 2 моль, содержащий некоторое количество озона O_3 . С течением времени озон полностью превратился в молекулярный кислород. Получившийся кислород оказывает то же самое давление, что и первоначальная смесь газов при температуре 8T/9. Найти количество вещества (число молей) озона в сосуде в начальный момент времени.

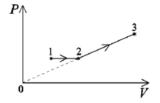
6. Подвижный поршень весом mg, подвешенный на пружине, делит объём вертикально расположенного откачанного цилиндра на две части (см. рисунок). В положении равновесия высота нижней части H_0 , а удлинение пружины равно x_0 . В нижнюю часть цилиндра впрыскивают ν молей воды. При медленном нагреве до некоторой температуры вся вода испаряется, а поршень перемещается на величину αx_0 ($\alpha = 1/2$).



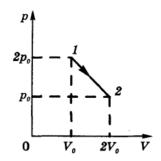
- 1. Определить конечную температуру T.
- 2. Найти работу A, совершённую паром.

Семинар 3. Внутренняя энергия. Работа. Первое начало термодинамики

7. Гелий в количестве ν моль расширяется от температуры в изобарическом процессе 1-2, а затем в процессе 2-3 с прямо пропорциональной зависимостью давления p от объёма V (см. рисунок). Отношение объёмов $V_2/V_1=V_3/V_2=3/2$.

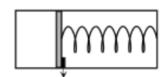


- 1. Найти температуры в состояниях 2 и 3.
- 2. Найти работу, совершённую газом в процессе 1 2 3.
- 3. Найти суммарное количество теплоты, полученное газом в процессе 1-2-3.
- **8.** Найдите максимальную температуру идеального атомного газа в процессе, изображенном на рисунке. Какое количество теплоты получает одноатомный идеальный газ при *нагревании*?



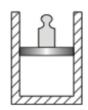
Семинар 4. Первое начало термодинамики 2.0

9. В теплоизолированном цилиндре слева от поршня находится один моль идеального одноатомного газа, справа — вакуум. В начальный момент поршень закреплён и пружина недеформирована. Затем поршень отпускают, и газ занимает объём, вдвое больший первоначального.



Во сколько раз изменятся температура и давление газа в новом состоянии равновесия? Теплоёмкостями поршня и цилиндра пренебречь.

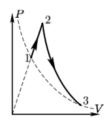
10. В вертикально расположенном цилиндрическом сосуде под поршнем находится моль гелия при температуре $T_1 = 300$ К. На поршне стоит гиря массой, равной массе поршня. Гирю снимают.



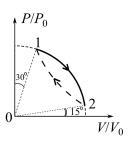
- 1. Во сколько раз изменится температура газа после установления нового положения равновесия в условиях отсутствия теплообмена газа с окружающей средой?
- 2. Какое количество теплоты необходимо подвести к газу в изобарическом процессе, чтобы вернуть газ в состояние с первоначальной температурой? Наружным давлением, трением между цилиндром и поршнем, теплоёмкостью поршня и цилиндра пренебречь.

Семинар 5. Теплоемкость

11. Газообразный гелий из начального состояния 1 расширяется в процессе 1-2, в котором давление прямо пропорционально объёму, совершая в нём работу $A_{12}=200$ Дж. Затем газ расширяется в процессе 2-3 с постоянной теплоёмкостью, совершая работу $A_{23}=1000$ Дж. Температуры в состояниях 1 и 3 равны (см. рисунок).



- 1. Найдите количество теплоты, подведённое к газу в процессе 2-3.
- 2. Найдите молярную теплоёмкость газа в процессе 2-3, выразив её через R.
- 12. С идеальным одноатомным газом проводят циклический процесс. Расширение газа (см. рис.) можно описать графиком в виде дуги окружности 1-2 с центром в начале координат на pV-диаграмме (p_0 и V_0 некоторые фиксированные давление и объём). Неравновесное сжатие газа 2-1 характеризуется пренебрежимо малым теплообменом с окружающей средой. Радиусы, проведённые в точки 1 и 2, составляют углы 30° и 15° с осями p/p_0 и V/V_0 соответственно.



- 1. Найти отношение температур в состояниях 1 и 2.
- 2. Найти угол с горизонтальной осью, который составляет радиус, проведённый в точку с теплоёмкостью равной нулю в процессе расширения 1-2, если такая существует. Дать значение любой тригонометрической функции угла.
- 3. Найти отношение работы газа за цикл к работе газа при расширении.

Ответы можно представить в виде числового выражения, не производя окончательного расчёта «до числа».

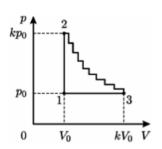
13. Газообразный гелий нагревается (непрерывно повышается температура) от температуры T_0 в процессе, в котором молярная теплоёмкость газа зависит от температуры T по закону

$$C = RT/T_0$$
.

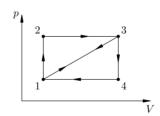
- 1. Найти температуру T_1 , при нагревании до которой газ совершил работу, равную нулю.
- 2. Найти температуру T_2 , при достижении которой газ занимал минимальный объём в процессе нагревания.

Семинар 6. Тепловые двигатели

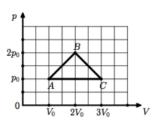
14. Над ν молями идеального одноатомного газа проводят циклический процесс, график которого изображён на pV—диаграмме. Цикл состоит из вертикального (1-2) и горизонтального (3-1) участков и «лестницы» (2-3) из n ступенек, на каждой из которых давление и объём газа изменяются в одно и то же количество раз. Отношение максимального давления газа к минимальному равно k; отношение максимального объёма к минимальному также равно k. Найдите КПД тепловой машины, работающей по данному циклу.



15. Идеальный газ используется как рабочее вещество в тепловой машине. Цикл 1-2-3-1 состоит из изохоры 1-2, изобары 2-3 и участка 3-1 линейной зависимости давления от объёма (см. рисунок). КПД этого цикла равен η_1 . Второй цикл 1-3-4-1 состоит из участка 1-3 линейной зависимости давления от объёма, изохоры 3-4 и изобары 4-1. Найти КПД второго цикла.



16. Над идеальным одноатомным газом совершается циклический процесс ABCA, изображённый на pV-диаграмме в виде треугольника с вершинами $A(p_0; V_0)$, $B(2p_0; 2V_0)$, $C(p_0; 3V_0)$ в. Определите, на каких участках цикла происходит теплообмен с нагревателями, на каких — с холодильниками. Чему равно количество теплоты, полученное газом от нагревателя? А отданное холодильнику?



Семинар 7. Насыщенные пары. Влажность

17. В сосуде находится ненасыщенный пар. В процессе его изотермического сжатия объём, занимаемый паром, уменьшается в $\beta=4$ раза, а давление возрастает в $\alpha=3$ раза. Найти долю пара, которая сконденсировалась в этом процессе.

18. Для насыщенного водяного пара вблизи температуры 100 °C малые относительные изменения давления $\Delta p_{\rm H}/p_{\rm H}$ и температуры $\Delta T_{\rm H}/T_{\rm H}$ связаны формулой $\Delta p_{\rm H}/p_{\rm H}=13\Delta T_{\rm H}/T_{\rm H}$. При какой температуре закипит вода на высоте Останкинской телебашни H=550 м? Давление воздуха в изотермической атмосфере p(h) с высотой h изменяется по закону $p(h)=p(0)\cdot\exp{(-\mu gh/RT)}$, где p(0) — нормальное атмосферное давление у поверхности земли, $\mu=29$ г/моль — средняя молярная масса воздуха, g=9.8 м/с² — ускорение свободного падения, R=8.31 Дж/(моль · K), T=273 K.

Указание. При малых $x \ll 1$ имеет место формула $e^{-x} \approx 1 - x$.

- 19. Подвижный поршень делит объем горизонтально расположенного сосуда на два отсека с общим объемом V=150 л. В первый отсек ввели $\nu_1=1$ моль воды, а во второй ввели $\nu_2=2$ моль азота. Можно считать, что объем введенной воды намного меньше V. В отсеках установилась температура $T_1=275$ К. Сосуд вместе с содержимым прогревают до температуры $T_2=373$ К. Давление насыщенного пара воды при температуре $T_1=275$ К равно $P_{\rm H}=705$ Па. Плотность воды $\rho=1$ г/см³.
 - 1. Найти давление P_1 в сосуде до прогревания.
 - 2. Найти объем V_1 первого отсека до прогревания.
 - 3. Найти давление P_2 в сосуде после прогревания.