

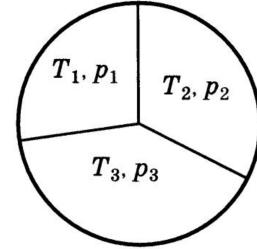
Данная подборка задач является **примером** того, что будет разбираться на смене.

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.** 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/см<sup>3</sup>, молярная масса  $\mu = 108$  г/моль.

**2.** Цилиндрический сосуд с идеальным газом разделён теплонепроницаемыми перегородками на три отсека (см. рис.). В каждой перегородке есть отверстие размер которого мал по сравнению с длиной свободного пробега молекул газа. Температура газа в отсеках сосуда поддерживаются постоянными и равными  $T_1$ ,  $T_2$  и  $T_3$ . Давление в первом отсеке  $p_1$  известно. Найдите давления  $p_2$  и  $p_3$  во втором и третьем отсеках.



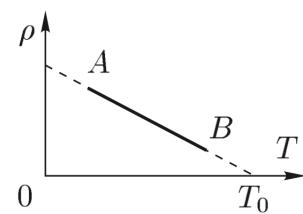
**3.** Идеальный газ участвует в процессе, в котором его температура изменяется от  $T_0$  до  $5T_0$ , а график зависимости давления от температуры — парабола

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

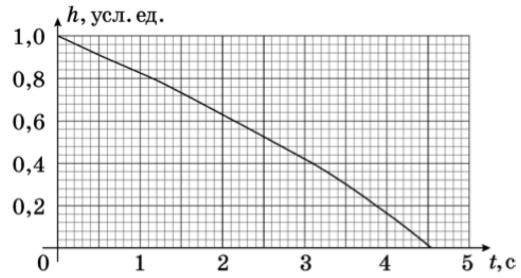
Плотность газа в конце процесса равна  $\rho_k$ . Чему равна минимальная плотность газа в этом процессе?

## Семинар 2. Уравнения состояния 2.0

**4.** Идеальный газ в количестве  $\nu$  моль участвует в процессе  $AB$ , изображённом на рисунке в координатах  $\rho(T)$ , где  $\rho$  — плотность газа, а  $T$  — его температура. При каких условиях (температуре) давление газа на 25% меньше максимального? Температура  $T_0$  известна.



5. Со дна глубокого озера всплывает пузырёк воздуха. На него действует сила сопротивления  $F = krv$ , где  $r$  — радиус пузырька,  $v$  — его скорость,  $k$  — постоянная. Вблизи дна радиус пузырька  $r_0 = 1,0$  мм. На рисунке представлен график зависимости глубины  $h$ , на которой находится пузырёк, от времени  $t$ , прошедшего от начала его движения.



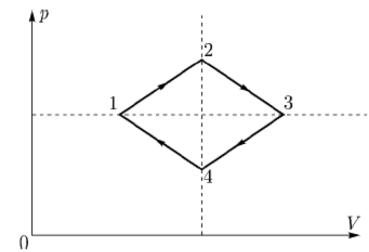
1. Какова глубина озера?
2. За какое время  $\tau_1$  всплыёт пузырёк, радиус которого у дна водоёма равен  $r_1 = 0,5$  мм?
3. За какое время  $\tau_2$  пузырёк, радиус которого у дна водоёма равен  $r_0 = 1,0$  мм, всплыёт со дна водоёма глубиной  $H = 10$  м?

*Примечание 1.* Давление водяных паров в пузырьке, поверхностное натяжение воды, изменение формы пузырька и изменение температуры воздуха в пузырьке не учитывайте. *Примечание 2.* Плотность воды  $\rho = 10^3 \text{ кг}/\text{м}^3$ , атмосферное давление  $p_0 = 10^5 \text{ Па}$ ,  $g = 10 \text{ м}/\text{с}^2$ , объём пузырька  $V = \frac{4}{3}\pi r^3$ .

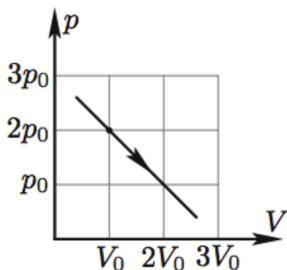
6. В закрытом сосуде при температуре  $T$  находился кислород в количестве 2 моль, содержащий некоторое количество озона  $O_3$ . С течением времени озон полностью превратился в молекулярный кислород. Получившийся кислород оказывает то же самое давление, что и первоначальная смесь газов при температуре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

### Семинар 3. Первое начало термодинамики 1.0

7. Циклический процесс, совершающийся над идеальным газом, на  $(p, V)$ -плоскости представляет собой ромб (см. качественный рисунок). Вершины (1) и (3) лежат на одной изобаре, а вершины (2) и (4) — на одной изохоре. За цикл газ совершил работу  $A$ . Насколько отличается количество теплоты  $Q_{12}$ , подведенное к газу на участке 1 — 2, от количества теплоты  $|Q_{34}|$ , отведённой от газа на участке 3 — 4?

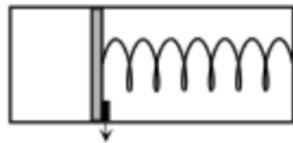


8. Найдите максимальную температуру идеального атомного газа в процессе, изображенном на рисунке. Какое количество теплоты получает одноатомный идеальный газ при нагревании?

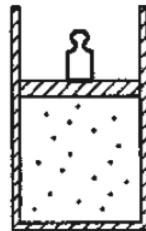


## Семинар 4. Первое начало термодинамики 2.0

**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 изменяется температура и давление газа в новом состоянии равновесия? Теплоёмкостями поршня и цилиндра пренебречь.



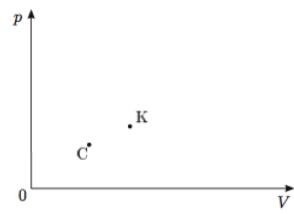
**10.** В цилиндре с теплонепроницаемыми стенками под массивным теплонепроницаемым поршнем находится идеальный одноатомный газ. На поршень поставили гирю, масса которой равна массе поршня (см. рис.). После того как система пришла в новое состояние термодинамического равновесия, гирю быстро сняли и вновь дождались наступления равновесного состояния. Определите, какая температура  $T$  газа установится в цилиндре после четырёх таких циклов, если первоначальная температура равнялась  $T_0 = 300$  К. Считайте, что трение между поршнем и стенками цилиндра пренебрежимо мало. Внешним давлением можно пренебречь.



**11.** Для описания некоторых систем используется модель идеального бозе-газа. При температурах ниже определённой (называемой температурой бозеэнштейновской конденсации) внутренняя энергия моля такого газа определяется выражением  $U = \frac{3}{2}AVT^{5/2}$ , а давление не зависит от объёма и равно  $p = AT^{5/2}$ , где  $A$  — некоторая константа. В этих условиях над газом совершают такой процесс расширения, что  $TV^\lambda = \text{const}$ , где  $\lambda$  — заданное число. Поглощается или отдаётся теплота газом в этом процессе?

## Семинар 5. Теплоемкость

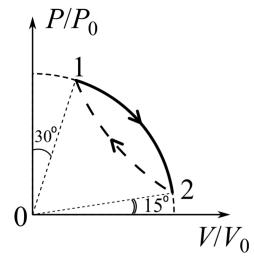
**12.** Говорят, что в архиве лорда Кельвина нашли рукопись с  $pV$ -диаграммой, на которой был изображён циклический процесс в виде прямоугольного треугольника  $ACB$ . При этом угол  $C$  был прямым, а в точке  $K$ , лежащей на середине стороны  $AB$ , теплоёмкость многоатомного газа ( $\text{CH}_4$ ) обращалась в нуль. Газ можно считать идеальным. От времени чернила выцвели, и на рисунке остались видны только координатные оси и точки  $C$  и  $K$  (см. рисунок). С помощью циркуля и линейки без делений восстановите положение треугольника  $ACB$ . Известно, что в точке  $A$  объём был меньше, чем в точке  $B$ .



**13.** Газообразный гелий нагревается (непрерывно повышается температура) от температуры  $T_0$  в процессе, в котором молярная теплоёмкость газа зависит от температуры  $T$  по закону  $C = RT/T_0$ . Найдите:

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

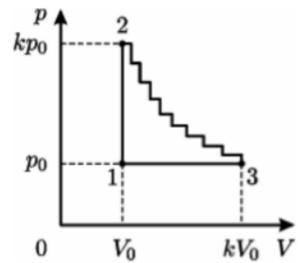
**14.** С идеальным одноатомным газом проводят циклический процесс. Расширение газа (см. рис.) можно описать графиком в виде дуги окружности 1–2 с центром в начале координат на  $pV$ -диаграмме ( $p_0$  и  $V_0$  — некоторые фиксированные давление и объём). Неравновесное сжатие газа 2–1 характеризуется пренебрежимо малым теплообменом с окружающей средой. Радиусы, проведённые в точки 1 и 2, составляют углы  $30^\circ$  и  $15^\circ$  с осями  $p/p_0$  и  $V/V_0$  соответственно.



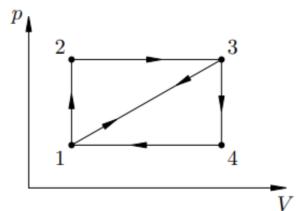
1. Найти отношение температур в состояниях 1 и 2.
2. Найти угол с горизонтальной осью, который составляет радиус, проведённый в точку с теплоёмкостью равной нулю в процессе расширения 1–2, если такая существует. Дать значение любой тригонометрической функции угла.
3. Найти отношение работы газа за цикл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

## Семинар 6. Тепловые двигатели. Влажность.

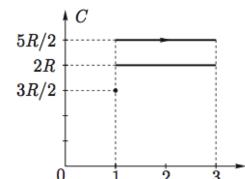
**15.** Над  $\nu$  молями идеального одноатомного газа проводят циклический процесс, график которого изображён на  $pV$ -диаграмме. Цикл состоит из вертикального (1–2) и горизонтального (3–1) участков и «лестницы» (2–3) из  $n$  ступенек, на каждой из которых давление и объём газа изменяются в одно 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.



**16.** 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  $\eta_1$ . 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.



**17.** В архиве лорда Кельвина нашли график циклического процесса, совершенного над фиксированным количеством одноатомного идеального газа (рис.). От времени чернила выцвели, и информация про направления некоторых процессов была утрачена. Также была утрачена и информация про то, что отложено по оси абсцисс. Известно лишь, что на оси абсцисс отложена одна из следующих величин: объём, давление, температура или плотность, а шкала выполнена в условных единицах. По оси ординат отложена молярная теплоемкость газа  $C$ . Найдите максимально возможный КПД цикла.



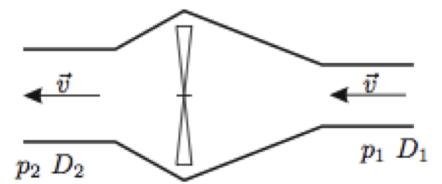
**18.** Подвижный поршень делит объём горизонтально расположенного сосуда на два

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  $P_n = 705$  Па. Плотность воды  $\rho = 1$  г/см<sup>3</sup>.

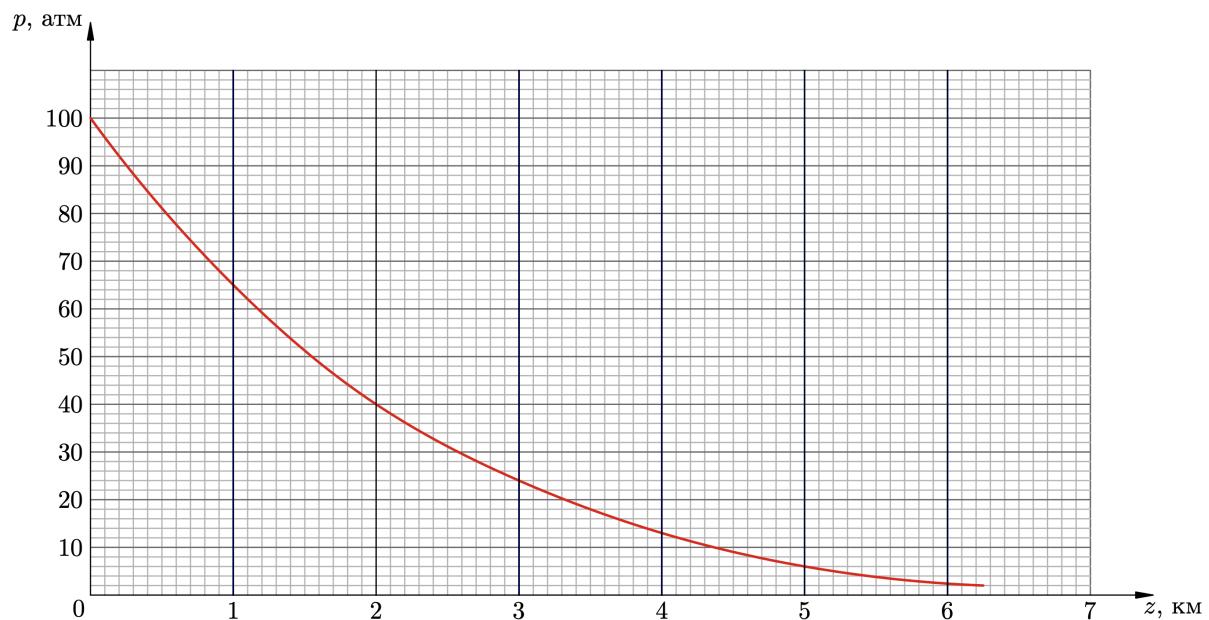
1. Найти давление  $P_1$  в сосуде до прогревания.
2. Найти объем  $V_1$  первого отсека до прогревания.
3. Найти давление  $P_2$  в сосуде после прогревания.

## Семинар 7. Модели атмосферы. Движение газа.

**19.** Диаметр входного отверстия воздухопровода тепловой пушки (см. рисунок)  $D_1 = 20$  см, выходного —  $D_2 = 22$  см. При стационарной работе вентилятора и нагревателя скорость воздуха  $v = 1,5$  м/с на входе и выходе оказалась одинаковой при разных давлениях  $p_1 = 10^5$  Па и  $p_2 = 1,05 \cdot 10^5$  Па. Найдите температуру  $t_2$  воздуха на выходе и мощность  $N$ , потребляемую тепловой пушкой. Температура воздуха на входе в пушку равна  $t_1 = 7^\circ\text{C}$ .



**20.** Спускаемый аппарат осуществляет посадку на поверхность экзотической планеты. Во время спуска проводилось измерение зависимости давления  $p$  в атмосфере планеты от расстояния  $z$  до поверхности планеты (см. рисунок).



Измерение температуры, произведённое на высоте  $z_1 = 5$  км, дало значение  $T_1 = 250$  К. Вычислите температуру  $T_0$  у поверхности планеты. Считайте, что радиус планеты  $R \gg z_1$ . Атмосфера состоит из углекислого газа.