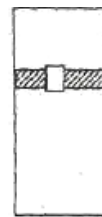


Решения и ответы на контрольную работу, сборы ВЗШ

Вариант 1

1. В вертикальном герметически закрытом цилиндре поршень массы m может двигаться без трения. Первоначально давление газа над поршнем равно P_0 , а поршень находится в равновесии. В поршне на короткое время открывают клапан, после установления равновесия поршень опускается вниз на h при прежней температуре. Каково теперь давление газа над поршнем, если общий объем газа выше и ниже поршня равен V ? Ускорение свободного падения g .



Решение:

Из уравнений состояния для общего числа молей в начале описываемого процесса имеем:

$$P_0 V_1 + \left(P_0 + \frac{mg}{S}\right) (V - V_1) = \nu RT,$$

где V_1 - объем газа под поршнем.

После проведенной операции, учитывая опускание поршня, а следовательно уменьшение объема газа под поршнем и увеличение над поршнем можно записать $P(V_1 + hS) + \left(P + \frac{mg}{S}\right) (V - V_1 - hS) = \nu RT$.

$$\text{Откуда } P = P_0 + \frac{mgh}{V}.$$

$$\text{Ответ: } P = P_0 + \frac{mgh}{V}.$$

2. В сосуде находится озон O_3 при температуре $t_1 = 527^\circ C$. Через некоторое время он полностью превратился в кислород O_2 , а температура в сосуде упала до $t_2 = 127^\circ C$. На сколько процентов изменилось при этом давление газа? Молярная масса озона M_1 , кислорода – M_2 .

Решение:

Согласно уравнению Клапейрона - Менделеева

$$\text{для озона } p_1 V = \frac{m}{M_1} RT_1,$$

$$\text{для кислорода } p_2 V = \frac{m}{M_2} RT_2.$$

Поделим первое уравнение на второе получим $\frac{p_1}{p_2} = \frac{T_1 M_2}{T_2 M_1} = \frac{4}{3}$.

Найдем на сколько процентов изменилось давление

$$\varepsilon_p = \frac{p_1 - p_2}{p_1} \cdot 100\% = 25\%.$$

Ответ: 25%

3.

В герметически закрытом сосуде объемом $V = 5$ л находится только кипящая вода массой $m_1 = 500$ г и ее пары при температуре $t = 100$ °С и атмосферном давлении $p_0 = 10^5$ Па. Найдите массу m пара. Плотность воды ρ при 100 °С считать равной 10^3 кг/м³. Ответ представьте в граммах и округлите до целого.

Решение:

Найдем объем воды в сосуде: $V_1 = \frac{m_1}{\rho}$.

Тогда объем пара в сосуде: $V_2 = V - V_1 = V - \frac{m_1}{\rho}$.

Молярная масса воды $M_{H_2O} = (16 + 2) \cdot 10^{-3} = 18 \cdot 10^{-3}$ кг/моль

Согласно уравнению Клапейрона - Менделеева $p_0 V_2 = \frac{m}{M_{H_2O}} RT$.

Откуда $m = \frac{p_0 V_2 M_{H_2O}}{RT} \approx 0,003$ кг = 3 г.

Ответ: 3 г.

4.

Один моль идеального одноатомного газа ($\nu = 1$ моль, $i = 3$) сначала изотермически расширился ($T_1 = 300$ К). Затем газ изобарно нагрели, повысив температуру в 3 раза ($T_3 = 3T_1$, см. рис.). Какое количество теплоты Q_{23} получил газ на участке 2–3? Ответ представьте в килоджоулях и округлите до десятых.

Решение:

Процесс 2–3 изобарный. Согласно первому закону термодинамики для изобарного процесса

$$Q_{23} = A_{23} + \Delta U_{23}.$$

$$\Delta U_{23} = \frac{i}{2} \nu R (T_3 - T_2).$$

$A_{23} = p(V_3 - V_2)$, с учетом уравнения Клапейрона – Менделеева

$$p(V_3 - V_2) = \frac{m}{M} R (T_3 - T_2),$$

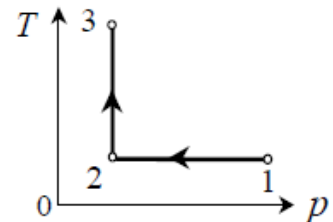
получим $A_{23} = \frac{m}{M} R (T_3 - T_2)$.

Тогда $Q_{23} = \frac{i+2}{2} \nu R (T_3 - T_2)$.

Процесс 1–2 изотермический тогда $T_1 = T_2$.

Значит $Q_{23} = (i + 2) \nu R T_1 \approx 12,5$ кДж.

Ответ: 12,5 кДж.



5.

Смесь, состоящую из $m_1 = 5$ кг льда и $m_2 = 15$ кг воды при общей температуре 0°C , нужно нагреть до температуры $\theta = 80^\circ\text{C}$, пропуская через нее водяной пар, нагретый до $t = 100^\circ\text{C}$. Определите необходимое количество m пара. Ответ представьте в единицах СИ и округлите до десятых.

Решение:

Уравнение теплового баланса $Q_1 + Q_2 - Q_3 - Q_4 = 0$,

где количество теплоты, необходимое для плавления льда $Q_1 = m_1\lambda$,
количество теплоты, необходимое для нагревания холодной воды

$$Q_2 = c(m_1 + m_2)(t_2 - t_1),$$

количество теплоты, выделяемое при конденсации пара $Q_3 = m_3r$,

количество теплоты, выделяемое при остывании горячей воды

$$Q_4 = cm_3(t_3 - t_2).$$

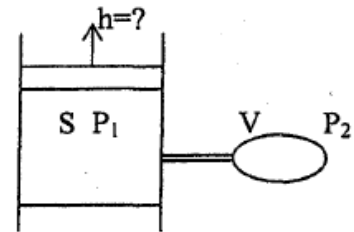
Значит $m_1\lambda + c(m_1 + m_2)(t_2 - t_1) = m_3r + cm_3(t_3 - t_2)$.

Откуда $m_3 = \frac{m_1\lambda + c(m_1 + m_2)(t_2 - t_1)}{r + c(t_3 - t_2)} \approx 3,6$ кг.

Ответ: 3,6 кг.

6.

В цилиндре сечения S под поршнем находится газ при давлении P_1 . В баллоне объема V находится газ при той же температуре и давлении P_2 . После открытия соединительной трубки газ из баллона начинает переходить в цилиндр. Насколько поднимется поршень к моменту установления равновесия и возвращению температуры к исходной?



Решение:

Так как давление над поршнем не меняется, то окончательное давление под поршнем равно P_1 . Газ из баллона расширился до объема $V + Sh$.

Так как процесс происходит при неизменной температуре,

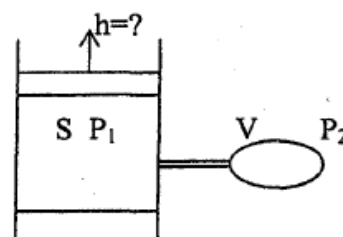
то $P_2V = P_1(V + Sh)$, отсюда $h = \frac{(P_2 - P_1)V}{P_1S}$

Ответ: $\frac{(P_2 - P_1)V}{P_1S}$.

Вариант 2

1.

В цилиндре сечения S под поршнем находится газ при давлении P_1 . В баллоне объёма V находится газ при той же температуре и давлении P_2 . После открытия соединительной трубки газ из баллона начинает переходить в цилиндр. Насколько поднимется поршень к моменту установления равновесия и возвращению температуры к исходной?



Решение:

Так как давление над поршнем не меняется, то окончательное давление под поршнем равно P_1 . Газ из баллона расширился до объёма $V+Sh$.

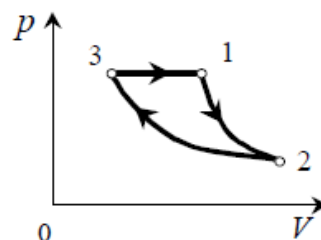
Так как процесс происходит при неизменной температуре,

то $P_2V = P_1(V + Sh)$, отсюда $h = \frac{(P_2 - P_1)V}{P_1 S}$

Ответ: $\frac{(P_2 - P_1)V}{P_1 S}$.

2.

Один моль гелия совершает цикл, изображенный на p - V диаграмме (см. рис.). Участок 1-2 –



адиабата, 2-3 – изотерма, 3-1 – изобара. Работа A , совершенная газом за цикл, равна 4 кДж. Разность температур $|\Delta T|$ газа между состояниями 1 и 2 равна 120 К. Какая работа A_{23} совершается газом в изотермическом процессе? Ответ представьте в килоджоулях и округлите до десятых.

Решение:

Из геометрического смысла работы в термодинамике имеем

$$A_{23} = A_{312} - A.$$

$$A_{312} = A_{31} + A_{12}.$$

Процесс 3-1 изобарный, тогда $A_{31} = p(V_1 - V_3)$.

С учетом уравнения Клапейрона - Менделеева $p(V_1 - V_3) = \nu R(T_1 - T_3)$, получим $A_{31} = \nu R(T_1 - T_3)$.

Так как $T_2 = T_3$, то $A_{31} = \nu R(T_1 - T_2)$.

Процесс 1-2 адиабатный, тогда $A_{12} = -\Delta U_{12} = \frac{i}{2} \nu R(T_1 - T_2)$.

Значит $A_{312} = \frac{i+2}{2} \nu R \Delta T_{12}$.

$$A_{23} = \frac{i+2}{2} \nu R \Delta T_{12} - A = -1500 \text{ Дж.}$$

Ответ: -1500 Дж.

3.

В калориметр с горячим чаем бросили кубик льда, имеющий температуру 0°C . К моменту установления теплового равновесия температура чая понизилась на $\Delta t_1 = 12^{\circ}\text{C}$. Когда в калориметр бросили другой такой же кубик льда, температура чая понизилась еще на $\Delta t_2 = 10^{\circ}\text{C}$. Найдите массу кубика льда. Первоначальная масса чая $M = 100$ г. Теплоемкостью калориметра, теплообменом с окружающей средой и примесями заварки в чае пренебречь.

Решение:

Запишем уравнение теплового баланса для первого случая:

$$cM\Delta t_1 = m\lambda + cm(t_1 - \Delta t_2),$$

где m - масса кубика льда, λ - удельная теплота плавления льда, c - удельная теплоемкость воды, t_1 - исходная температура чая.

$$\text{Отсюда} \quad \left(\frac{M}{m} + 1\right)\Delta t_1 = \frac{\lambda}{c} + t_1 \quad (1)$$

В случае бросания в чай второго кубика мы можем записать уравнение, аналогичное уравнению (1):

$$\left(\frac{M}{2m} + 1\right)(\Delta t_1 + \Delta t_2) = \frac{\lambda}{c} + t_1 \quad (2)$$

Исключая из (1) и (2) правые части, получим:

$$\left(\frac{M}{m} + 1\right)\Delta t_1 = \left(\frac{M}{2m} + 1\right)(\Delta t_1 + \Delta t_2),$$

откуда легко найти отношение масс: $\frac{M}{m} = \frac{2\Delta t_2}{\Delta t_1 - \Delta t_2} = 10$.

Следовательно $m = 10$ г.

Ответ: 10г.

4.

«Ледяной» водой из холодильника заполнили электрический чайник так, что льдинки в него не попали. Чайник сразу включили и вода начала кипеть через время $t_1 = 6$ минут. Если чайник заполнить таким же объёмом воды при комнатной температуре, он закипает за время $t_2 = 4,5$ минуты. Оцените, чему равна комнатная температура T в градусах Цельсия, если выключенный чайник остывает очень долго, а в почти пустом чайнике вода начинает кипеть почти сразу.

Решение:

Долгое остывание говорит о хорошей теплоизоляции. Тогда все поступившее тепло идёт на повышение температуры воды и чайника.

Раз в почти пустом чайнике вода закипает почти сразу, то его теплоемкость мала и ею можно пренебречь по сравнению с теплоёмкостью воды в наполненном чайнике.

В таком случае уравнение теплового баланса при постоянной мощности:

$$Nt_1 = C \cdot 100^{\circ}; \quad Nt_2 = C(100^{\circ} - T);$$

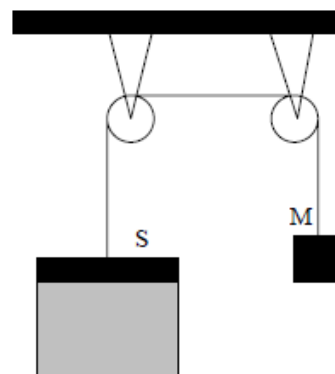
ведь температура «ледяной» воды 0° , а кипящей 100°C .

$$\text{Отсюда} \quad \frac{t_1}{t_2} = \frac{100^{\circ}}{100^{\circ} - T} \quad \Rightarrow \quad T = 25^{\circ}\text{C}.$$

Ответ: 25°C

5.

В цилиндре под невесомым поршнем площадью $S = 100 \text{ см}^2$ находится 1 моль идеального газа при температуре $t_1 = 100 \text{ }^\circ\text{C}$. К поршню через два блока на невесомой нерастяжимой нити подвешен груз массой $M = 17 \text{ кг}$. На какую высоту Δh поднимется груз, если медленно охладить газ до температуры $t_2 = 0 \text{ }^\circ\text{C}$? Атмосферное давление $P_0 = 10^5 \text{ Па}$, универсальная газовая постоянная $R = 8,31 \text{ Дж}/(\text{моль}\cdot\text{К})$, ускорение свободного падения принять $g = 10 \text{ м}/\text{с}^2$. Трением пренебречь.



Решение:

Давление газа под поршнем определяется действием двух сил: силы натяжения нити и силы атмосферного давления:

$$P = \frac{P_0 S - Mg}{S} \quad (1)$$

В (1) учтено, что сила натяжения нити T уравновешивает силу тяжести груза Mg .

Таким образом, из (1) следует, что газ под поршнем будет изобарно расширяться. Тогда из уравнения Клапейрона - Менделеева следует:

$$P(V_1 - V_2) = PS\Delta h = R(t_1 - t_2) \quad (2)$$

Подставляя (1) в (2), получим

$$\Delta h = \frac{R(t_1 - t_2)}{P_0 S - Mg} = 1 \text{ м.}$$

Ответ: 1 м.

6.

Фильтр при пропускании через него воды поглощает 10% содержащихся в ней примесей. Сколько нужно фильтров, чтобы последовательно пропуская через них воду, уменьшить не менее чем вдвое содержание примесей?

Решение:

1 фильтр уменьшает содержание примесей до 0,9 начального, 2 фильтра до $(0,9)^2 = 0,81$ начального ... 4 фильтра до $(0,9)^4 = 0,6561$, 6 фильтров до $(0,9)^6 = 0,5314$, наконец 7 фильтров до $(0,9)^7 = 0,4783$

Ответ: 7 фильтров.

7.

При подъеме с помощью гидравлического пресса груза массой $m = 2$ т была совершена работа $A = 4,9$ кДж. Найдите число N ходов малого поршня, перемещающегося за один ход на $h = 10$ см, если КПД пресса $\eta = 90\%$, а площадь S_1 большого поршня больше площади S_2 малого в 100 раз.

Решение:

КПД пресса $\eta = \frac{A_{\text{п}}}{A} 100\%$, откуда $A_{\text{п}} = \frac{\eta A}{100\%}$;

Полезная работа большого поршня равна $A_{\text{п}} = mgh_1$, откуда

$$h_1 = \frac{A_{\text{п}}}{mg} \approx 0,225 \text{ м.}$$

Так как гидравлический пресс представляет собой сообщающиеся сосуды, а в сообщающихся сосудах уменьшение объема жидкости в одном сосуде приводит к увеличению объема жидкости в другом сосуде, т.е. $\frac{h_1}{h_0} = \frac{S_1}{S_2}$, где h_0 – высота, на которую поднимается большой поршень за один ход малого поршня.

Откуда $h_0 = h_1 \frac{S_2}{S_1} = 10^{-3}$ м.

Тогда число ходов большого поршня, равное числу ходов малого поршня,

$$N = \frac{h_1}{h_0} = 225.$$

Ответ: 225.