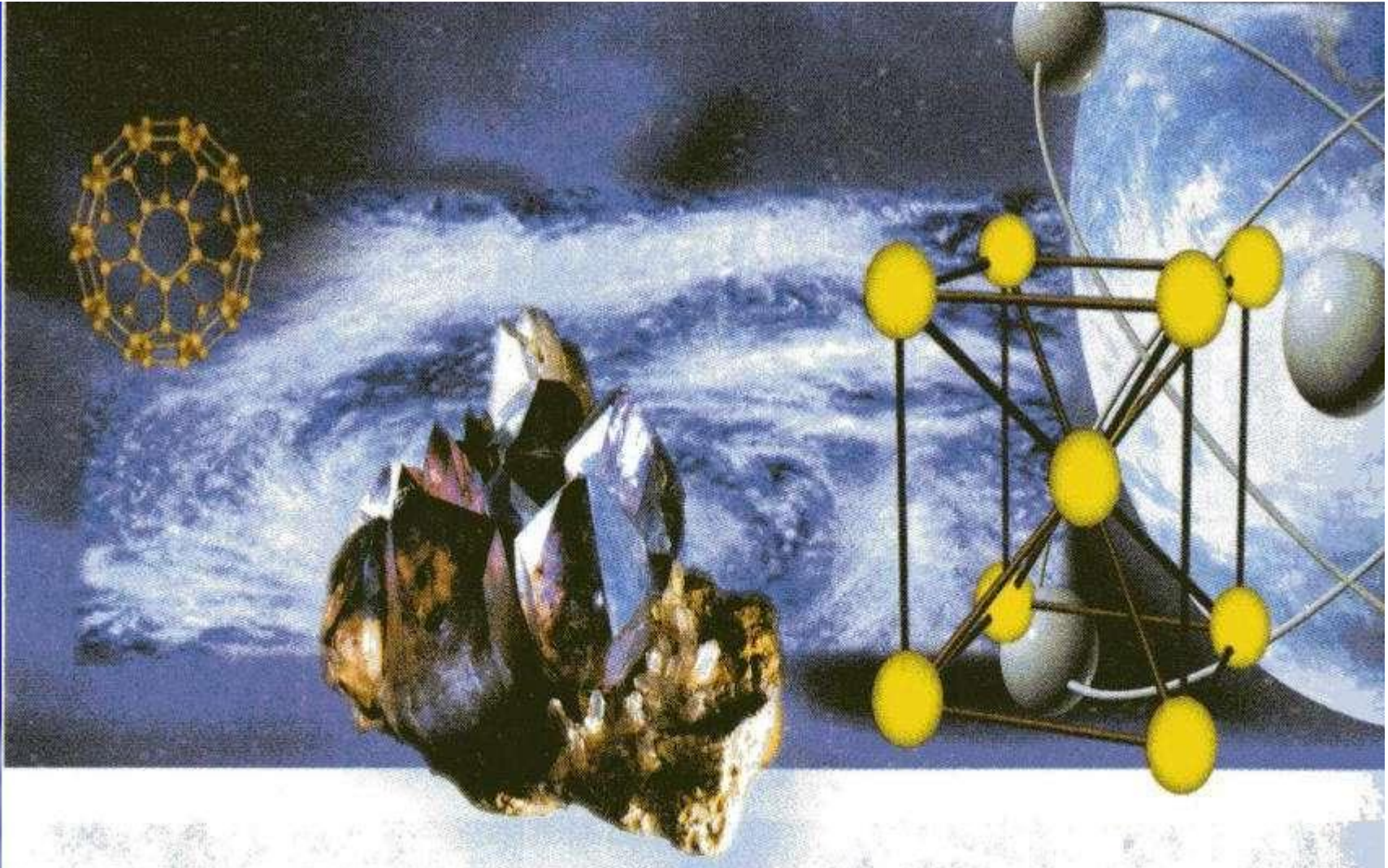


РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ ПО ТЕМЕ «ТЕРМОДИНАМИКА»

ТЕПЛОБМЕН. ПЕРВОЕ НАЧАЛО ТЕРМОДИНАМИКИ. ТЕПЛОВЫЕ
ДВИГАТЕЛИ



Дано:

$$m_1 = 0,1 \text{ кг}$$

$$t_1 = 60 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$m_2 = 0,05 \text{ кг}$$

$$t_2 = 10 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$t_k = ?$$

Решение.

Горячая вода отдаст количество теплоты $Q_1 = cm_1(t_1 - t_k)$, а холодная вода получит количество теплоты $Q_2 = cm_2(t_k - t_2)$. В этих формулах c — удельная теплоёмкость воды.

Согласно уравнению теплового баланса $Q_1 = Q_2$, откуда получаем

$$cm_1(t_1 - t_k) = cm_2(t_k - t_2).$$

Следовательно,

$$\begin{aligned} t_k &= \frac{m_1 t_1 + m_2 t_2}{m_1 + m_2} = \\ &= \frac{0,1 \text{ кг} \cdot 60 \text{ }^\circ\text{C} + 0,05 \text{ кг} \cdot 10 \text{ }^\circ\text{C}}{0,1 \text{ кг} + 0,05 \text{ кг}} = 43 \text{ }^\circ\text{C}. \end{aligned}$$

Дано:

$$m_b = 0,1 \text{ кг}$$

$$c_b = 4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$$

$$t_b = 20 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$m_m = 0,2 \text{ кг}$$

$$t_m = 100 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$t_k = 44 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$c_m = ?$$

Решение.

Вследствие теплопередачи брусок отдал количество теплоты $Q_m = c_m m_m (t_m - t_k)$, а вода получила количество теплоты

$$Q_b = c_b m_b (t_k - t_b).$$

Согласно уравнению теплового баланса $Q_m = Q_b$, следовательно,

$$c_m m_m (t_m - t_k) = c_b m_b (t_k - t_b).$$

Отсюда получаем

$$\begin{aligned} c_m &= \frac{c_b m_b (t_k - t_b)}{m_m (t_m - t_k)} = \\ &= \frac{4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}} \cdot 0,1 \text{ кг} \cdot (44 \text{ }^\circ\text{C} - 20 \text{ }^\circ\text{C})}{0,2 \text{ кг} \cdot (100 \text{ }^\circ\text{C} - 44 \text{ }^\circ\text{C})} = 900 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}. \end{aligned}$$

Сравнивая полученное значение с таблицей, мы видим, что это — удельная теплоёмкость алюминия.

Какова внутренняя энергия гелия, заполняющего аэростат объёмом 60 м^3 при давлении в 100 кПа ?

$$V = 60 \text{ м}^3$$

$$p = 100 \text{ кПа} = 10^5 \text{ Па}$$

$$M_{\text{He}} = 0,004 \text{ кг/моль}$$

$$U = ?$$

$$U_{\text{He}} = \frac{3}{2} \cdot \frac{m}{M_{\text{He}}} \cdot R \cdot T$$

$$\text{но } p \cdot V = \frac{m}{M_{\text{He}}} \cdot R \cdot T$$

$$U \Downarrow = \frac{3}{2} \cdot p \cdot V$$

$$U = \frac{3}{2} \cdot 10^5 \text{ Па} \cdot 60 \text{ м}^3 \Downarrow = 9 \cdot 10^6 \text{ Дж}$$

Ответ: $U = 9 \cdot 10^6 \text{ Дж}$

Задача 6. Какую работу совершает идеальный газ в количестве 2 моль при его изобарном нагревании на 5 °С?

Дано:
 $\nu = 2$ моль
 $p = \text{const}$
 $\Delta t = 5$ °С
 $R = 8,31$ Дж/мольК

$A' = ?$

“СИ”

$\Delta T = 5$ °К

Решение.

$$A' = p \Delta V$$

$$pV_1 = \frac{m}{M} RT_1; pV_2 = \frac{m}{M} RT_2$$

$$pV_2 - pV_1 = \frac{m}{M} R(T_2 - T_1)$$

$$p \Delta V = \frac{m}{M} R \Delta T \Rightarrow A' = \frac{m}{M} R \Delta T$$

$$\nu = \frac{m}{M}$$

$$A' = \nu R \Delta T$$

$$A' = 2 \text{ моль} \cdot 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{мольК}} \cdot 5^\circ \text{К} = 83,1 \text{ Дж}$$

Ответ: $A' = 83,1$ Дж

A11. Какова сообщенная газу теплота в некотором процессе, в котором внутренняя энергия газа уменьшилась на 300 Дж, а газ совершил работу 500 Дж?

1) 200 Дж

2) 300 Дж

3) 500 Дж

4) 800 Дж

Для нагревания 10г неизвестного газа на 1К при постоянном давлении требуется 9,12Дж, при постоянном объёме 6,49Дж. Что это за газ?

1. КОДИРОВАНИЕ УСЛОВИЯ

Дано:	СИ
$m = 10 \text{ г}$	10^{-2} кг
$\Delta T = 1 \text{ К}$	
$Q_p = 9,12 \text{ Дж}$	
$Q_v = 6,49 \text{ Дж}$	
$M_r - ?$	

2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОТНОШЕНИЯ МЕЖДУ СИМВОЛАМИ ПОСРЕДСТВОМ ФОРМУЛ

Решение

$$Q_v = mc_v \Delta T, Q_p = \Delta U + A', \text{ где } \Delta U = Q_v, A' = p\Delta V$$

$$pV = \frac{m}{M} RT, \text{ находим, что } A' = \frac{m}{M} R\Delta T \quad (3)$$

$$Q_p = Q_v + \frac{m}{M} R\Delta T, \text{ откуда}$$

3. ПОИСК НЕИЗВЕСТНОГО С ПОМОЩЬЮ КОМБИНИРОВАНИЯ СИМВОЛОВ

$$M = \frac{mR\Delta T}{Q_p - Q_v},$$

$$M_r = \frac{10^3 mR\Delta T}{Q_p - Q_v}$$

4. ВЫЧИСЛЕНИЕ ОТВЕТА И ЕГО РАСШИФРОВКА

$$[M_r] = \frac{\frac{\text{моль}}{\text{кг}} \cdot \text{кг} \cdot \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \cdot \text{К}}{\text{Дж}} = 1$$

Ответ: $M_r = 32$, кислород.

Задача 11. Для изобарного нагревания газа, количество вещества которого 400 моль, на 300 °К ему сообщили количество теплоты 5,4 МДж. Определите работу газа и изменение его внутренней энергии.

Дано:

“СИ”

$$p = \text{const}$$

$$\nu = 400 \text{ моль}$$

$$\Delta T = 300 \text{ °К}$$

$$Q = 5,4 \text{ МДж}$$

$$5,4 \cdot 10^6 \text{ Дж}$$

$$A' - ?$$

$$\Delta U - ?$$

Решение.

Запишем первый закон термодинамики:

$$Q = \Delta U + A'$$

Работа газа при постоянном давлении:

$$A' = p\Delta V = \frac{m}{M} R\Delta T$$

$$m.k.\nu = \frac{m}{M}, \text{ то } A' = \nu R\Delta T$$

Изменение внутренней энергии системы: $\Delta U = Q - A'$

$$A' = 400 \text{ моль} \cdot 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{°К}} \cdot 300 \text{ °К} = 99,72 \cdot 10^4 \text{ Дж} = 0,9972 \cdot 10^6 \text{ Дж}$$

$$\Delta U = 5,4 \cdot 10^6 - 0,9972 \cdot 10^6 \approx 4,4 \cdot 10^6 \text{ Дж}$$

Ответ: $A' = 1 \text{ МДж}$; $\Delta U = 4,4 \text{ МДж}$.

При изотермическом сжатии газ передал окружающим телам теплоту 800Дж. Какую работу совершил газ? Какую работу совершили внешние силы?

Дано:	Дано:	Решение:
T=const	T=const	$\Delta U = Q + A$
Q = 800Дж	Q = 800Дж	т.к. $\Delta U = \frac{3 \cdot m \cdot R \cdot \Delta T}{2 \cdot M}$, по условию задачи
A - ?	A ^I - ?	T=const, $\Delta T = 0$, $\Delta U = 0$;
A - ?	A - ?	тогда 1 закон термодинамики примет вид: $Q = -A$, $Q = A^I$,
		A = -800 (Дж); A ^I = 800 (Дж)
		При совершении работы внешними силами газ отдаёт тепло окружающей среде.

Дано:

$$V_1 = 190 \text{ см}^3$$

$$T_1 = 323^\circ\text{K}$$

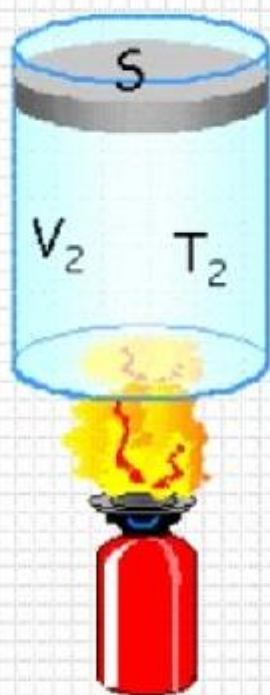
$$\Delta T = 100^\circ\text{K}$$

$$m = 120 \text{ кг}$$

$$S = 50 \text{ см}^2$$

$$p_0 = 0,1 \text{ МПа}$$

$$A = ?$$



$$p = p_0 + \frac{mg}{S}$$

$$A = p(V_2 - V_1)$$

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{T_2}{T_1}$$

$$V_2 = \frac{V_1 T_2}{T_1}$$

$$V_2 - V_1 = \frac{V_1 T_2}{T_1} - V_1 = \frac{V_1 (T_2 - T_1)}{T_1} \quad T_2 - T_1 = \Delta T$$

$$V_2 - V_1 = \frac{V_1 \Delta T}{T_1} \quad A = \left(p_0 + \frac{mg}{S} \right) \frac{V_1 \Delta T}{T_1}$$

$$A = \left(10^5 \text{ Па} + \frac{120 \text{ кг} \cdot 9,8 \text{ м/с}^2}{50 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2} \right) \frac{190 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3 \cdot 100^\circ\text{K}}{323^\circ\text{K}} \approx 20 \text{ Дж}$$

Двигатель работает по циклу Карно. Как изменится КПД теплового двигателя, если при постоянной температуре холодильника 170С температуру нагревателя повысить со 127 до 4470С?

Дано:

	СИ
t1=170С	T1=290K
t2=1270С	T2=400K
t3=4470С	T3=720K

Найти:

$$\frac{\eta_2}{\eta_1} = ?$$

$$\eta = \frac{T_n - T_x}{T_n} \cdot 100\% \quad \eta_1 = \frac{T_2 - T_1}{T_2} \cdot 100\%$$

$$\eta_2 = \frac{T_3 - T_1}{T_3} \cdot 100\%$$

$$\frac{\eta_2}{\eta_1} = \frac{(T_3 - T_1) \cdot T_2}{(T_2 - T_1) \cdot T_3}$$

$$\frac{\eta_2}{\eta_1} = \frac{(720K - 290K) \cdot 400K}{(400K - 290K) \cdot 720K} = 2,17$$

Задача 15. Идеальная тепловая машина получает от нагревателя, температура которого 500°K , за один цикл 3360 Дж теплоты. Найти количество теплоты, отдаваемое за один цикл холодильнику, температура которого 400°K . Найти работу машины за один цикл.

Дано:

$$T_1 = 500^{\circ}\text{K}$$

$$Q_1 = 3360 \text{ Дж}$$

$$T_2 = 400^{\circ}\text{K}$$

$$Q_2 = ?$$

$$A' = ?$$

Решение.

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \quad \text{или} \quad \eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}$$

$$\frac{T_1 - T_2}{T_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}$$

$$1 - \frac{T_2}{T_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} \Rightarrow \frac{T_2}{T_1} = \frac{Q_2}{Q_1} \Rightarrow Q_2 = \frac{Q_1 T_2}{T_1}$$

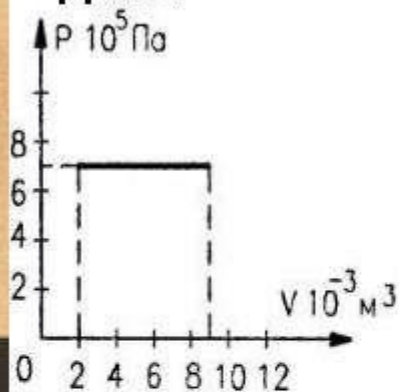
Работа машины за один цикл: $A' = Q_1 - Q_2$

$$Q_2 = \frac{3360 \text{ Дж} \cdot 400^{\circ}\text{K}}{500^{\circ}\text{K}} = 2688 \text{ Дж} ; A' = 3360 - 2688 = 672 \text{ Дж}$$

Ответ: $Q_2 = 2688$ Дж; $A' = 672$ Дж.

Задача 4. На рисунке приведён график зависимости давления газа от объёма. Найдите работу газа при расширении.

Дано:



Найти: A' -?

Решение.

Газ расширяется изобарно, поэтому работа газа:

$$A' = p\Delta V = p(V_2 - V_1).$$

Значения p , V_1 и V_2 найдём из графика:

$$p = 7 \cdot 10^5 \text{ Па}$$

$$V_1 = 2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$$

$$V_2 = 9 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3.$$

Тогда:

$$\begin{aligned} A' &= 7 \cdot 10^5 \text{ Па} (9 - 2) 10^{-3} \text{ м}^3 = \\ &= 49 \cdot 10^2 \text{ Дж} = 4,9 \text{ кДж}. \end{aligned}$$

Ответ: $A' = 4,9 \text{ кДж}$

Задача.

Идеальный газ переходит из состояния 1 в состояние 2 в процессе, представленном на диаграмме P- V. В этом процессе газ получил теплоты

Решение:

Из графика видно, что процесс не является изопроцессом. По первому закону термодинамики

$$Q = \Delta U + A$$

Изменение внутренней энергии

$$\Delta U = U_2 - U_1$$

В задаче не указано сколько атомов в молекулах газа, поэтому при необходимости нужно проводить расчеты для различных условий. Начинаем расчеты для одноатомного газа

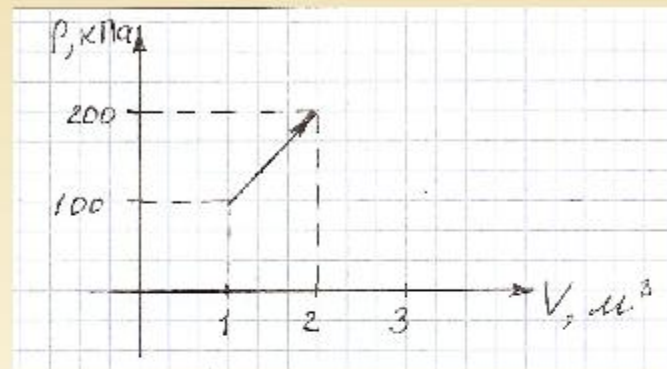
$$U = \frac{3}{2} \nu RT \quad , \text{ по уравнению состояния идеального газа } PV = \nu RT$$

$$\text{Тогда } \Delta U = U_2 - U_1 = \frac{3}{2} (P_2 V_2 - P_1 V_1) = \frac{3}{2} (200 \cdot 2 - 100 \cdot 1) \text{кПа} \cdot \text{м}^3 = 450 \text{кДж}$$

Работа равна площади фигуры под графиком (фигура под графиком- трапеция)

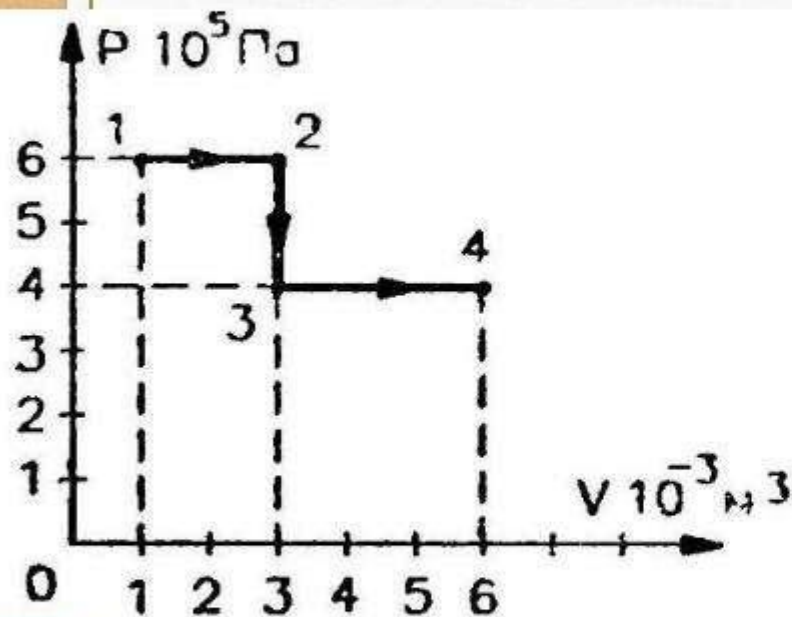
$$A = \frac{200 + 100}{2} \cdot (2 - 1) \text{кПа} \cdot \text{м}^3 = 150 \text{кДж}$$

$$\text{Значит, } Q = 450 + 150 = 600 \text{кДж}$$



Задача 5. Идеальный газ переходит из состояния 1 в состояние 4 так, как показано на рисунке. Вычислите работу, совершаемую газом.

Дано:



Решение.

$$A' = A_{12} + A_{23} + A_{34}$$

$$A_{12} = p_1(V_2 - V_1)$$

$$A_{23} = 0, \text{ т.к. } \Delta V = 0$$

$$A_{34} = p_3(V_4 - V_3)$$

$$A' = A_{12} + A_{34}$$

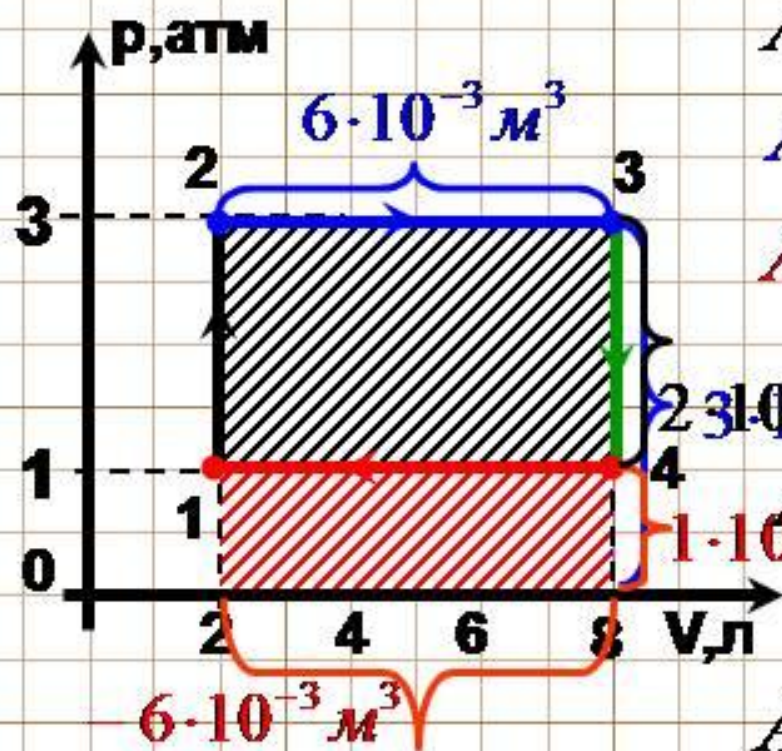
Найти: A' - ?

$$A' = 6 \cdot 10^5 (3 - 1) \cdot 10^{-3} + 4 \cdot 10^5 (6 - 3) \cdot 10^{-3} = 24 \cdot 10^2 = 2,4 \text{ кДж.}$$

Ответ: $A' = 2,4 \text{ кДж.}$

Работа в термодинамике

Какую работу совершил газ при переходах: $1 \rightarrow 2$, $2 \rightarrow 3$, $3 \rightarrow 4$, $4 \rightarrow 1$.
Найти работу газа за цикл.



$$A_{1 \rightarrow 2} = 0$$

$$A_{3 \rightarrow 4} = 0$$

$$A_{2 \rightarrow 3} = 6 \cdot 10^{-3} \cdot 3 \cdot 10^5 = 1800 \text{ Дж}$$

$$A_{4 \rightarrow 1} = -6 \cdot 10^{-3} \cdot 1 \cdot 10^5 = -600 \text{ Дж}$$

$$A = 1800 - 600 = 1200 \text{ Дж}$$

$$A = 1800 - 600 = 1200 \text{ Дж}$$

$$A_{\Sigma} = 6 \cdot 10^{-3} \cdot 2 \cdot 10^5 = 1200 \text{ Дж}$$

Работа газа за цикл численно равна площади фигуры внутри цикла процесса в координатах $p(V)$!

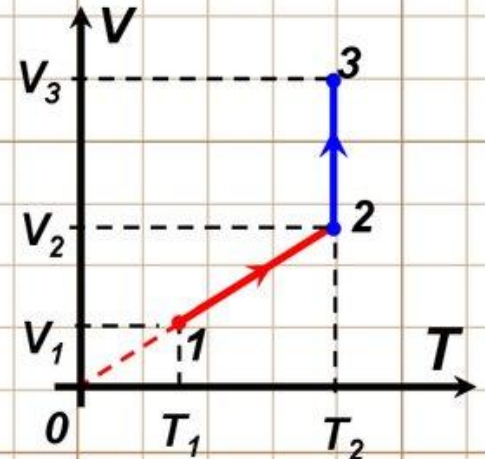
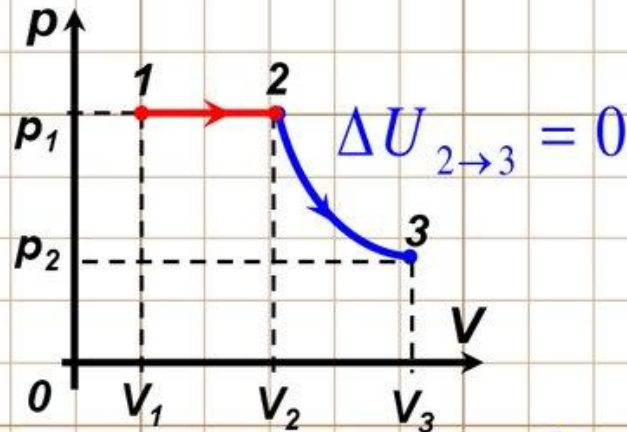
Идеальный газ при изобарном нагревании и изотермическом расширении получил 16 кДж тепла. При этом его внутренняя энергия увеличилась на 6 кДж. Нарисовать графики процессов с газом в координатах (p, V) и (V, T) . Какую работу совершил газ при изотермическом расширении?

Дано:

$$Q = 16 \text{ кДж}$$

$$\Delta U = 6 \text{ кДж}$$

$$A_{2 \rightarrow 3} = ?$$



1 → 2

2 → 3

$$\Delta U_{1 \rightarrow 2} = \Delta U = \frac{3}{2} \nu R \Delta T$$

$$A_{1 \rightarrow 2} = \nu R \Delta T = \frac{2}{3} \Delta U$$

$$Q_{1 \rightarrow 2} = A_{1 \rightarrow 2} + \Delta U_{1 \rightarrow 2} = \frac{5}{3} \Delta U$$

$$Q_{2 \rightarrow 3} = A_{2 \rightarrow 3} = Q - Q_{1 \rightarrow 2}$$

$$A_{2 \rightarrow 3} = Q - \frac{5}{3} \Delta U$$

$$A_{2 \rightarrow 3} = 16 - \frac{5 \cdot 6}{3} = 6 \text{ кДж}$$

Ответ: 6 кДж.

Решаем самостоятельно



В результате наблюдения за теплообменом между горячей и холодной водой, налитой в калориметр, ученик составил таблицу:

Масса холодной воды, г	75
Температура холодной воды, °С	25
Температура горячей воды, °С	60
Температура смеси, °С	45

Теплообменом с окружающей средой пренебречь. Масса горячей воды равна

Чему была равна внутренняя энергия газа, если в результате теплообмена она уменьшилась на 10 кДж и стала равной 0,05 МДж?

Как при этом изменилась температура газа – повысилась или понизилась?

Какое количество теплоты было получено газом?

Задача :В закрытом баллоне находится газ. При охлаждении его внутренняя энергия уменьшилась на 600кДж.Какое количество теплоты отдал газ? Совершил ли он работу?

Задача. Для изобарного нагревания газа, количество вещества которого 800 моль, на 500К ему сообщили количество теплоты 9,4МДж. Определите работу газа и приращение его внутренней энергии.

Задача 14. Тепловой двигатель получает от нагревателя за одну секунду 7200 кДж теплоты и отдаёт холодильнику 5600 кДж. Каков КПД теплового двигателя?