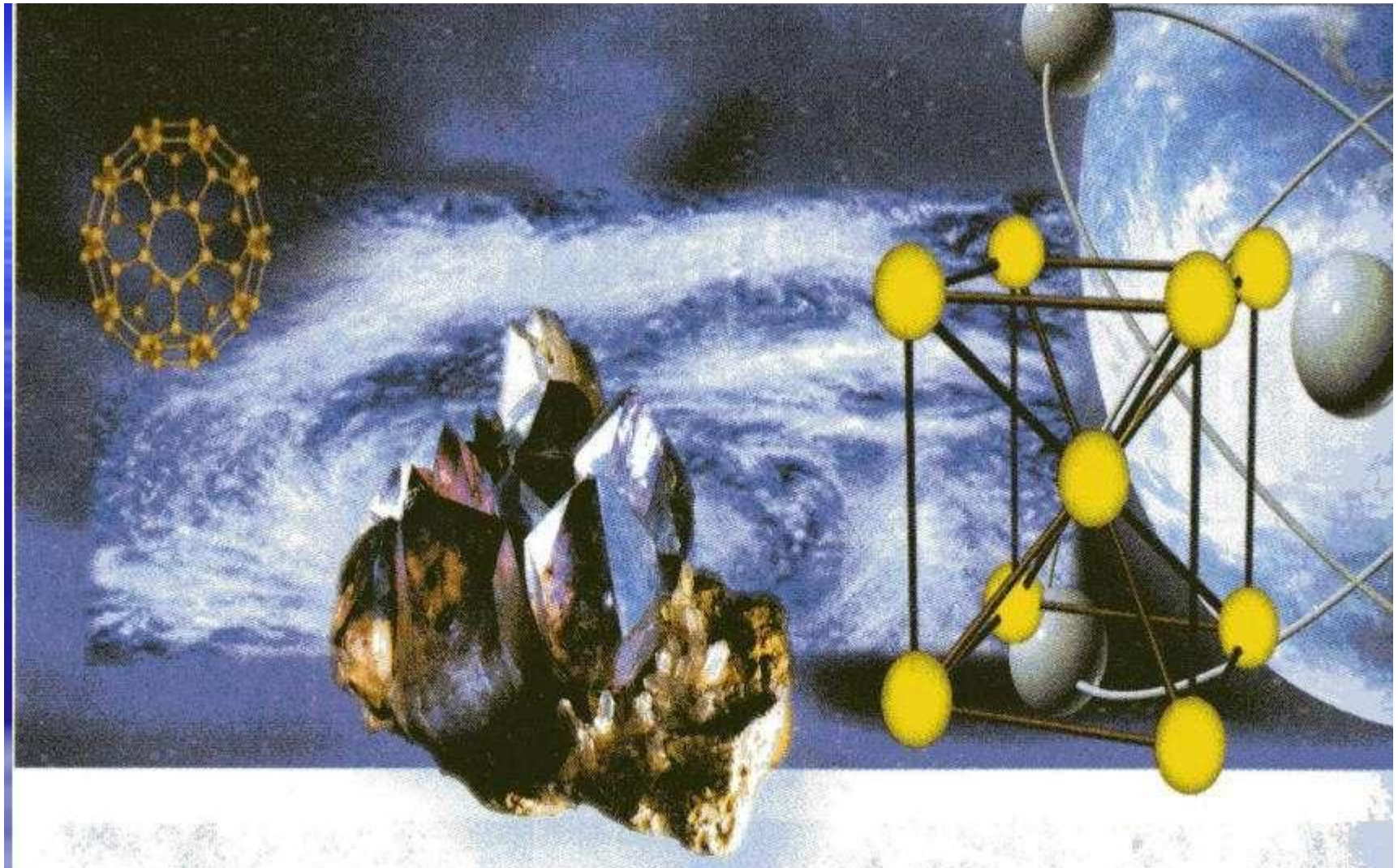
РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ ПО ТЕМЕ «ТЕРМОДИНАМИКА»

ТЕПЛООБМЕН. ПЕРВОЕ НАЧАЛО ТЕРМОДИНАМИКИ. ТЕПЛОВЫЕ ДВИГАТЕЛИ



Дано:

$m_1 = 0{,}1$ кг

$t_1 = 60$ °C

$m_2 = 0{,}05$ кг

$t_2 = 10$ °C

$t_к$ — ?

Решение.

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

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

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

Следовательно,

$$t_к = \frac{m_1t_1 + m_2t_2}{m_1 + m_2} =$$

$$= \frac{0{,}1\,\text{кг}\cdot 60\,°\text{C} + 0{,}05\,\text{кг}\cdot 10\,°\text{C}}{0{,}1\,\text{кг} + 0{,}05\,\text{кг}} = 43\,°\text{C}.$$

Дано:

$m_в = 0{,}1$ кг

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

$t_в = 20$ °C

$m_м = 0{,}2$ кг

$t_м = 100$ °C

$t_к = 44$ °C

$c_м$ — ?

Решение.

Вследствие теплопередачи брусок отдал количество теплоты $Q_м = c_м m_м(t_м - t_к)$, а вода получила количество теплоты

$$Q_в = c_в m_в(t_к - t_в).$$

Согласно уравнению теплового баланса $Q_м = Q_в$, следовательно,

$$c_м m_м(t_м - t_к) = c_в m_в(t_к - t_в).$$

Отсюда получаем

$$c_м = \frac{c_в m_в(t_к - t_в)}{m_м(t_м - t_к)} =$$

$$= \frac{4200\frac{\text{Дж}}{\text{кг}}\cdot 0{,}1\,\text{кг}\cdot(44\,°\text{C} - 20\,°\text{C})}{0{,}2\,\text{кг}\cdot(100\,°\text{C} - 44\,°\text{C})} = 900\,\frac{\text{Дж}}{\text{кг}}.$$

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?

$V = 60\ м^3$

$p = 100\ кПа = 10^5\ Па$

$M_{He} = 0{,}004\ кг/моль$

$U = ?$

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

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

$$\Downarrow$$

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

$$\Downarrow$$

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

Ответ: $U = 9 \cdot 10^6\ Дж$

Задача 6. Какую работу совершает идеальный газ в количестве 2 моль при его изобарном нагревании на 5 ^{0}C?

Дано:	"СИ"
ν = 2 моль	
p = const	
Δt = 5 ^{0}C	ΔT = 5 ^{0}K
R = 8,31 Дж/мольК	
A' - ?	

Решение.

$$A' = p\Delta V$$

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

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

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

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

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

$$A' = 2моль \cdot 8{,}31\frac{Дж}{мольК} \cdot 5^0 K = 83{,}1 Дж$$

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

1. КОДИРОВАНИЕ УСЛОВИЯ

Дано:	СИ
m = 10 г	10^{-2} кг
ΔT = 1К	
Q_p = 9,12 Дж	
Q_V = 6,49 Дж	
M_r – ?	

2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОТНОШЕНИЯ МЕЖДУ СИМВОЛАМИ ПОСРЕДСТВОМ ФОРМУЛ

Решение

$Q_V = mc_V\Delta T$, $Q_p = \Delta U + A'$, где $\Delta U = Q_V$, $A' = p\Delta V$

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

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

3. ПОИСК НЕИЗВЕСТНОГО С ПОМОЩЬЮ КОМБИНИРОВАНИЯ СИМВОЛОВ

$$M = \frac{mR\Delta T}{Q_p - Q_V}, \quad \boxed{M_r = \frac{10^3 mR\Delta T}{Q_p - Q_V}}$$

4. ВЫЧИСЛЕНИЕ ОТВЕТА И ЕГО РАСШИФРОВКА

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

Ответ: M_r = 32, кислород.

Задача 11. Для изобарного нагревания газа, количество вещества которого 400 моль, на 300 ^{0}К ему сообщили количество теплоты 5,4 МДж. Определите работу газа и изменение его внутренней энергии.

Дано:	"СИ"
p = const	
ν = 400 моль	
ΔT = 300 ^{0}К	
Q = 5,4 МДж	5,4·10^6 Дж
A' - ?	
ΔU - ?	

Решение.

Запишем первый закон термодинамики:

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

Работа газа при постоянном давлении:

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

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

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

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

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

Ответ: A' = 1МДж; ΔU = 4,4 МДж.

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

Дано:	Дано:	Решение:
T=const Q =800Дж	T=const Q =800Дж	$\Delta U = Q + A$
Al - ? A -?	A^I - ? A -?	т.к. $\Delta U = \frac{3 \cdot m \cdot R \cdot \Delta T}{2 \cdot M}$, по условию задачи T=const, ΔT=0, ⍰ , ΔU=0; 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:

$V_1 = 190\ см^3$

$T_1 = 323°K$

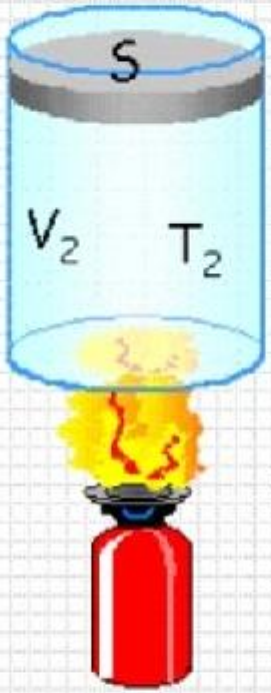
$\Delta T = 100°K$

$m = 120\ кг$

$S = 50\ см^2$

$p_0 = 0{,}1\ МПа$

$A = ?$



$$p = p_0 + \frac{mg}{S} \qquad A = p(V_2 - V_1)$$

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

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

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

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

Двигатель работает по циклу Карно. Как изменится КПД теплового двигателя, если при постоянной температуре холодильника 17оС температуру нагревателя повысить со 127 до 447оС?

Дано:	СИ
t1=17оС	T1=290K
t2=127оС	T2=400K
t3=447оС	T3=720K

Найти:

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

$$\eta = \frac{T_н - T_х}{T_н} \cdot 100\%$$

$$\eta_1 = \frac{T_2 - T_1}{T_2} \cdot 100\%$$

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

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

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

Задача 15. Идеальная тепловая машина получает от нагревателя, температура которого 500⁰К, за один цикл 3360 Дж теплоты. Найти количество теплоты, отдаваемое за один цикл холодильнику, температура которого 400⁰К. Найти работу машины за один цикл.

Дано:
$T_1 = 500^0K$
$Q_1 = 3360$ Дж
$T_2 = 400^0K$

Q_2 - ?
A' -?

Решение.

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

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

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

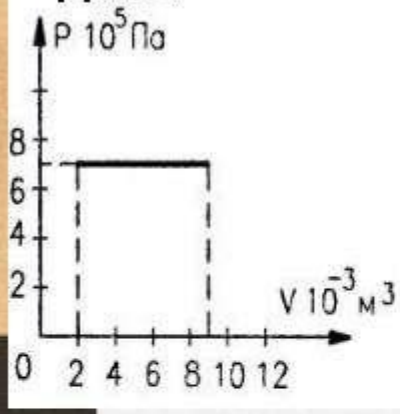
Работа машины за один цикл: $A' = Q_1 - Q_2$

$$Q_2 = \frac{3360\,Дж \cdot 400^0\,K}{500^0\,K} = 2688\,Дж \;;\; A' = 3360 - 2688 = 672\,Дж$$

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:

$p = 7\cdot10^5$ Па
$V_1 = 2\cdot10^{-3}$ м^3
$V_2 = 9\cdot10^{-3}$ м^3.

Тогда:

$$A' = 7\cdot10^5\,Па(9-2)10^{-3}\,м^3 =$$

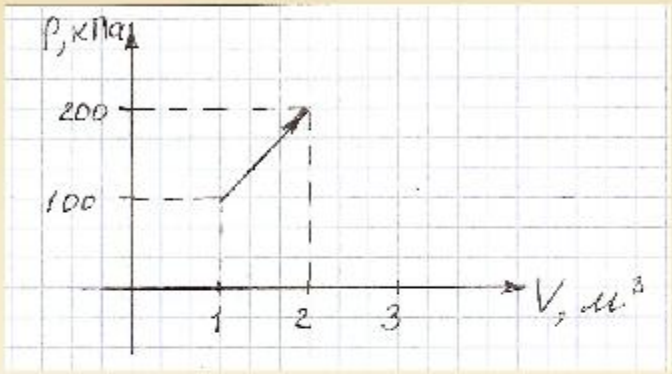
$$= 49\cdot10^2\,Дж = 4{,}9\,кДж.$$

Ответ: A' = 4,9 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

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

Тогда $\Delta U = U_2 - U_1 = \frac{3}{2}(P_2V_2 - P_1V_1) = \frac{3}{2}(200 \cdot 2 - 100 \cdot 1)кПа \cdot м^3 = 450кДж$

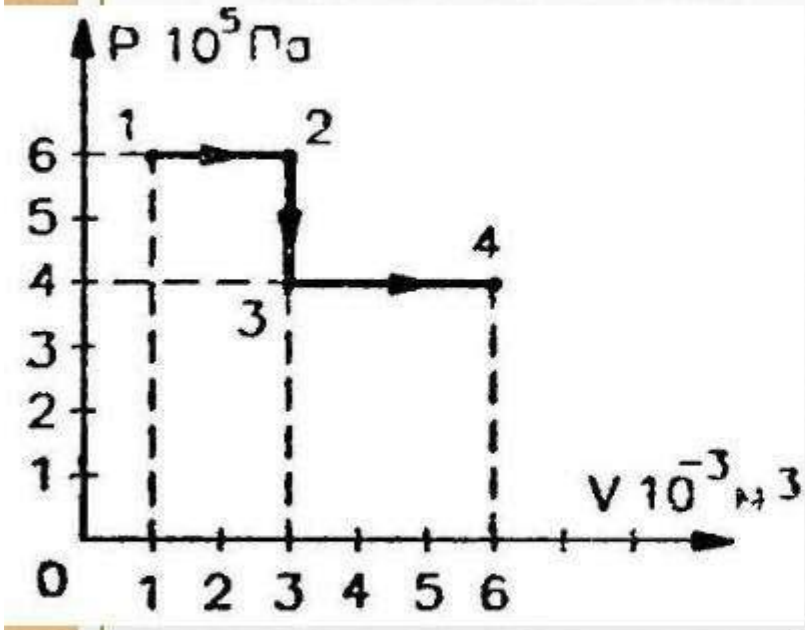
Работа равна площади фигуры под графиком (фигура под графиком- трапеция)

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

Значит, $Q = 450 + 150 = 600кДж$

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

Дано:



Решение.

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

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

$$A_{23} = 0, т.к. \Delta V = 0$$

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

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

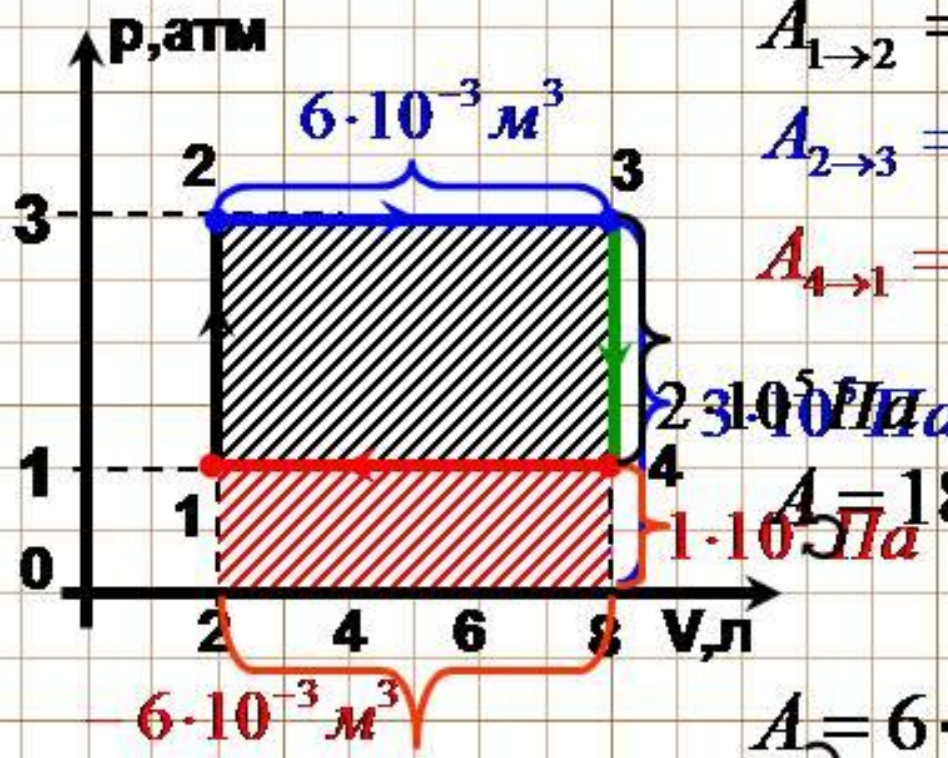
Найти: A‘- ?

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

Ответ: A‘ = 2,4 кДж.

Работа в термодинамике

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



$$A_{1\to2}=0 \qquad A_{3\to4}=0$$

$$A_{2\to3}=6\cdot10^{-3}\cdot3\cdot10^5=1800\,Дж$$

$$A_{4\to1}=-6\cdot10^{-3}\cdot1\cdot10^5=-600\,Дж$$

$$A=1800-600=1200\,Дж$$

$$A_{\circlearrowleft}=6\cdot10^{-3}\cdot2\cdot10^5=1200\,Дж$$

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

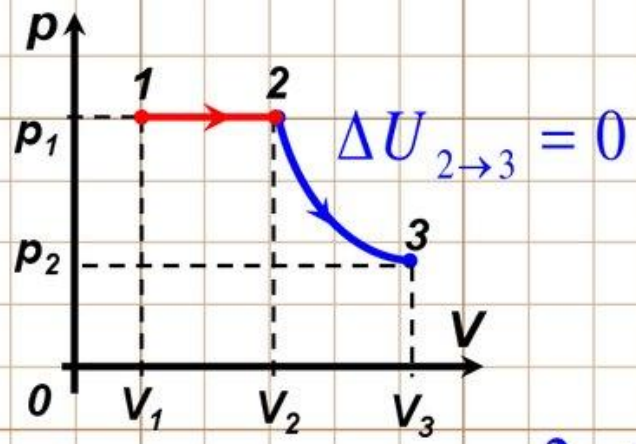
Идеальный газ при изобарном нагревании и изотермическом расширении получил 16 кДж тепла. При этом его внутренняя энергия увеличилась на 6 кДж. Нарисовать графики процессов с газом в координатах (p, V) и (V,T). Какую работу совершил газ при изотермическом расширении?

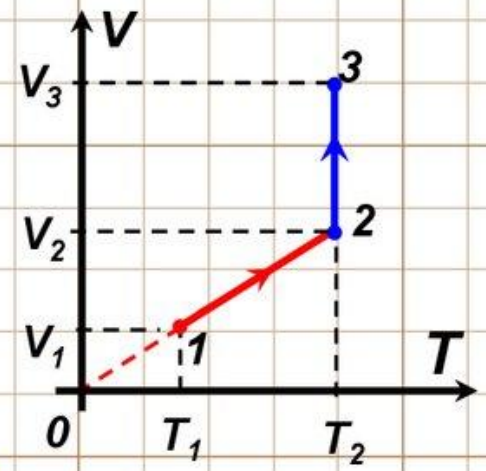
Дано:

$Q = 16$ кДж

$\Delta U = 6$ кДж

$A_{2\to3} - ?$





$1 \to 2$

$$\Delta U_{1\to2} = \Delta U = \frac{3}{2}\nu R\Delta T$$

$$A_{1\to2} = \nu R\Delta T = \frac{2}{3}\Delta U$$

$$Q_{1\to2} = A_{1\to2} + \Delta U_{1\to2} = \frac{5}{3}\Delta U$$

$2 \to 3$

$$Q_{2\to3} = A_{2\to3} = Q - Q_{1\to2}$$

$$A_{2\to3} = Q - \frac{5}{3}\Delta U$$

$$A_{2\to3} = 16 - \frac{5\cdot6}{3} = 6кДж$$

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, ^{0}С	**25**
Температура горячей воды, ^{0}С	**60**
Температура смеси, ^{0}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?