

# **Внутренняя энергия и работа газа.**

*Решение задач.*

*Учитель физики МОБУ лицей №22 г.  
Сочи  
Омарова Т. Х.*

**В вертикальном цилиндре под тяжелым поршнем находится кислород массы 2 кг. Для повышения температуры кислорода на 5 К ему было сообщено количество теплоты  $Q = 9160$  Дж. Найти удельную теплоемкость кислорода  $c_p$ , работу  $A$ , совершаемую им при расширении, и увеличение его внутренней энергии. Молярная масса кислорода = 0,032 кг/моль.**

## Задача № 512

Дано:

$$m = 2 \text{ кг}$$

$$\Delta t = 5^\circ\text{K}$$

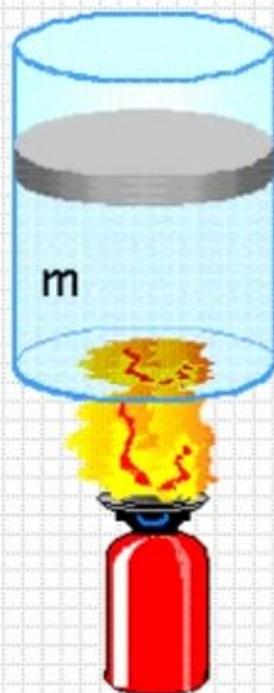
$$Q = 9160 \text{ Дж}$$

$$\mu = 0,032 \text{ кг/моль}$$

$$c_p = ?$$

$$A = ?$$

$$\Delta U = ?$$



$$c_p = \frac{Q}{m\Delta t} = \frac{9160 \text{ Дж}}{2 \text{ кг} \cdot 5^\circ\text{K}} = 916 \text{ Дж/кг} \cdot ^\circ\text{K}$$

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

$$pV_1 = \frac{m}{\mu}RT_1$$

$$pV_2 = \frac{m}{\mu}RT_2$$

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

$$A = \frac{mR\Delta T}{\mu} = \frac{2 \text{ кг} \cdot 8,31 \text{ Дж/моль} \cdot ^\circ\text{K} \cdot 5^\circ\text{K}}{0,032 \text{ кг/моль}} = 2590 \text{ Дж}$$

$$Q = \Delta U + A$$

$$\Delta U = Q - A = 9160 \text{ Дж} - 2590 \text{ Дж} = 6570 \text{ Дж}$$

Два металлических шара радиуса 10 см с одинаковыми массами, один из которых откачан, а другой заполнен кислородом при давлении 2 МПа, вносят в камеру, через которую идет поток насыщенного водяного пара, имеющего температуру 100 °С. После того как температуры пара и шаров выровнялись, оказалось, что на откачанном шаре сконденсировалась масса воды 10 г, а на заполненном шаре  $m_2 = 12,33$  г воды. Начальные температуры шаров  $t = 27$  °С. Найти удельную теплоемкость с кислорода. Удельная теплота парообразования воды = 2,3 МДж/кг. Молярная масса кислорода = 0,032 кг/моль. Тепловым расширением шаров пренебречь.

Задача

517

## Задача № 517

Дано:

$$r = 10 \text{ см}$$

$$p = 2 \text{ МПа}$$

$$t_{\text{п}} = 100 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$m_1 = 10 \text{ г}$$

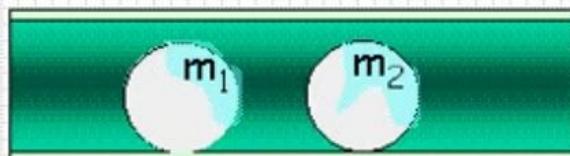
$$m_2 = 12,33 \text{ г}$$

$$t = 27 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\lambda = 2,3 \text{ МДж/кг}$$

$$\mu = 0,032 \text{ кг/моль}$$

$$c = ?$$



$$pV = \frac{m}{\mu}RT \quad m = \frac{\mu pV}{RT} \quad V = \frac{4}{3}\pi r^3 \quad m = \frac{4\pi r^3 \mu p}{3RT}$$

$$C_1(T_{\text{п}} - T) = \lambda m_1$$

$$(mc + C_1)(T_{\text{п}} - T) = \lambda m_2$$

$$mc(T_{\text{п}} - T) = \lambda(m_2 - m_1)$$

$$c = \frac{\lambda(m_2 - m_1)}{m(T_{\text{п}} - T)}$$

$$c = \frac{3\lambda(m_2 - m_1)RT}{4\pi r^3 p(T_{\text{п}} - T)\mu}$$

$$c \approx 683 \text{ Дж/кг}\cdot^{\circ}\text{K}$$



**Для повышения температуры газа, имеющего массу 20 кг и молярную массу 0,028 кг/моль, на  $\Delta T = 50$  К при постоянном давлении необходимо затратить количество теплоты  $Q_p = 0,5$  МДж. Какое количество теплоты  $Q_v$  следует отнять от этого газа при постоянном объеме, чтобы его температура понизилась на  $\Delta T = 50$  К?**

## Задача № 522

Дано:

$$m = 20 \text{ кг}$$

$$\mu = 0,028 \text{ кг/моль}$$

$$\Delta T = 50 \text{ °K}$$

$$Q_p = 0,5 \text{ МДж}$$

$$Q_V = ?$$

$$Q = \Delta U + A$$

$$p = \text{const}$$

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

$$V = \text{const}$$

$$A = 0$$

$$Q_V = \Delta U$$

$$pV_1 = \frac{mRT_1}{\mu}$$

$$pV_2 = \frac{mRT_2}{\mu}$$

$$\left. \begin{array}{l} pV_1 = \frac{mRT_1}{\mu} \\ pV_2 = \frac{mRT_2}{\mu} \end{array} \right\} p(V_2 - V_1) = \frac{mR\Delta T}{\mu}$$

$$Q_p = \Delta U + \frac{mR\Delta T}{\mu}$$

$$Q_p - Q_V = \frac{mR\Delta T}{\mu}$$

$$Q_V = Q_p - \frac{mR\Delta T}{\mu}$$

$$Q_V = 0,5 \cdot 10^6 \text{ Дж} - \frac{20 \text{ кг} \cdot 8,31 \text{ Дж/моль} \cdot \text{°K} \cdot 50 \text{ °K}}{0,028 \text{ кг/моль}} \approx 0,2 \text{ МДж}$$

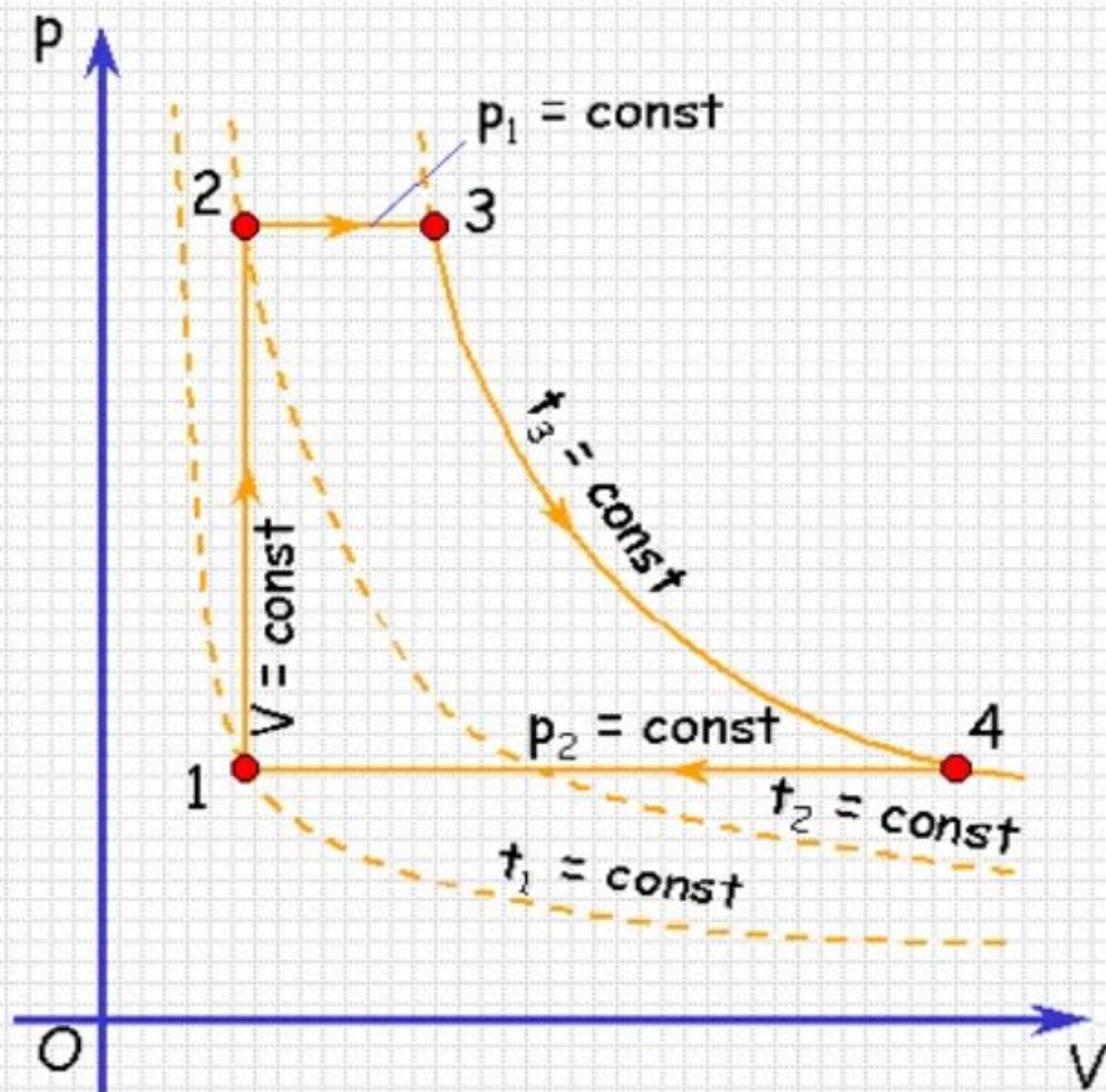


## Задача 529

В цилиндре под поршнем находится газ, состояние которого изменяется следующим образом: в процессе 1-2 увеличивается давление при постоянном объеме  $V$ ; в процессе 2-3 увеличивается объем при постоянном давлении  $p_1$ , в процессе 3-4 увеличивается объем при постоянной температуре  $t_3$ ; в процессе 4-1 газ возвращается в первоначальное состояние при постоянном давлении  $p_2$ . Представить на графиках изменение состояния газа в координатах  $p, V$ ;  $p, T$  и  $V, T$ . Показать, при каких процессах газ получает (отдает) теплоту. Как при этом изменяется

температура и какая совершается работа?

## Задача № 529



$$A_{12} = 0$$

$$A_{23} > 0$$

$$A_{34} > 0$$

$$A_{41} < 0$$

## Задача 528

**В цилиндре объема  $190 \text{ см}^3$  под поршнем находится газ при температуре  $323 \text{ К}$ . Найти работу расширения газа при нагревании его на  $100 \text{ К}$ . Масса поршня  $120 \text{ кг}$ , его площадь  $50 \text{ см}^2$ .  
Атмосферное давление  $0,1 \text{ МПа}$ .**

## Задача № 528

Дано:

$$V_1 = 190 \text{ см}^3$$

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

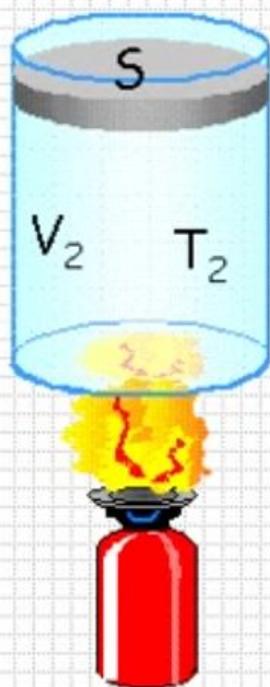
$$\Delta T = 100^\circ\text{K}$$

$$m = 120 \text{ кг}$$

$$S = 50 \text{ см}^2$$

$$p_0 = 0,1 \text{ МПа}$$

$$A = ?$$



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

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

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

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

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

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

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





**В двух теплоизолированных цилиндрах с объемами 3 л и 5 л находятся одинаковые газы при давлениях  $p_1 = 0,4$  МПа и  $p_2 = 0,6$  МПа и температурах  $t_1 = 27$  °С и  $t_2 = 127$  °С. Цилиндры соединяют трубкой. Какая температура  $T$  и какое давление  $p$  установятся в цилиндрах после смешивания газов?**

**Задача**

**532**

### Задача № 532

Дано:

$$V_1 = 3 \text{ л}$$

$$V_2 = 5 \text{ л}$$

$$P_1 = 0,4 \text{ МПа}$$

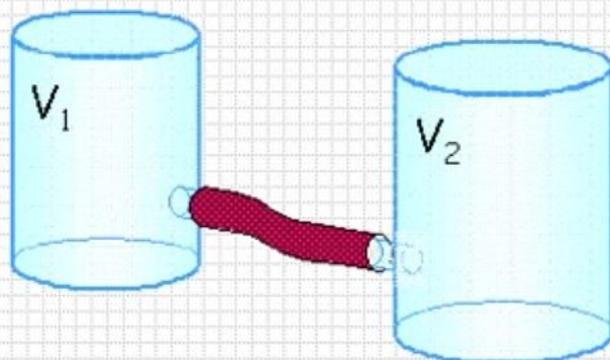
$$P_2 = 0,6 \text{ МПа}$$

$$t_1 = 27^\circ\text{C}$$

$$t_2 = 127^\circ\text{C}$$

$$T = ?$$

$$p = ?$$



$$U_1 = k\nu_1 T_1$$

$$U_2 = k\nu_2 T_2$$

$$U = k(\nu_1 + \nu_2)T$$

$$U_1 + U_2 = U$$

$$\nu_1 T_1 + \nu_2 T_2 = (\nu_1 + \nu_2)T$$

$$\nu_1 = \frac{p_1 V_1}{RT_1}$$

$$\nu_2 = \frac{p_2 V_2}{RT_2}$$

$$\frac{p_1 V_1}{R} + \frac{p_2 V_2}{R} = \left( \frac{p_1 V_1}{RT_1} + \frac{p_2 V_2}{RT_2} \right) T$$

$$T = \frac{T_1 T_2 (p_1 V_1 + p_2 V_2)}{p_1 V_1 T_2 + p_2 V_2 T_1} = 366^\circ\text{K}$$

$$p = \frac{p_1 V_1 + p_2 V_2}{V_1 + V_2} = 525 \text{ кПа}$$



**В цилиндре под поршнем в объеме 1674 см<sup>3</sup> находится насыщенный водяной пар, имеющий массу 1 г и температуру  $t = 100\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Какую работу  $A$  нужно затратить, чтобы сжать весь пар до полного превращения его в жидкость при той же температуре? Плотность воды при  $t = 100\text{ }^{\circ}\text{C}$  под давлением ее насыщенного пара  $\rho = 0,96 \cdot 10^3\text{ кг/м}^3$ .**

Задача  
531

### Задача № 531

Дано:

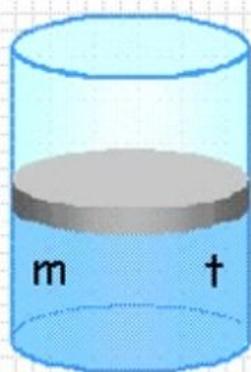
$$V = 1674 \text{ см}^3$$

$$m = 1 \text{ г}$$

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

$$\rho = 0,96 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$$

$$A = ?$$



$$A = p_0 (V - V')$$

$$\rho = \frac{m}{V'}$$

$$V' = \frac{m}{\rho}$$

$$A = p_0 \left( V - \frac{m}{\rho} \right)$$

$$p_0 = 10^5 \text{ Па}$$

$$A = 10^5 \text{ Па} \left( 1674 \cdot 10^{-6} - \frac{10^{-3} \text{ кг}}{0,96 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3} \right) \approx 167 \text{ Дж}$$



**Некоторая масса газа, занимающего  
объем 0,01 м<sup>3</sup>, находится при  
давлении 0,1 МПа и температуре 300 К.**

**Газ**

**нагревается вначале при постоянном  
объеме до температуры  $T_2 = 320$  К, а  
затем при постоянном давлении до  
температуры  $T_3 = 350$  К. Найти работу  
А, совершаемую газом при переходе  
из состояния 1 в состояние 3.**

**Задача**

**530**

### Задача № 530

Дано:

$$V_1 = 0,01 \text{ м}^3$$

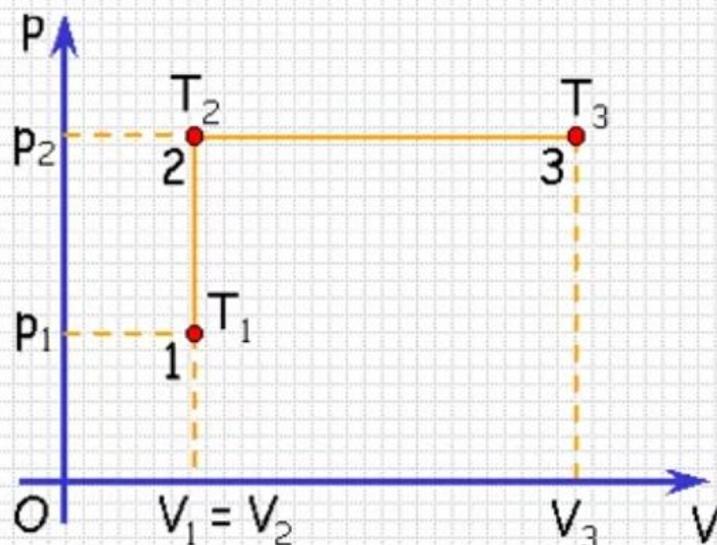
$$p_1 = 0,1 \text{ МПа}$$

$$T_1 = 300^\circ\text{К}$$

$$T_2 = 320^\circ\text{К}$$

$$T_3 = 350^\circ\text{К}$$

$$A = ?$$



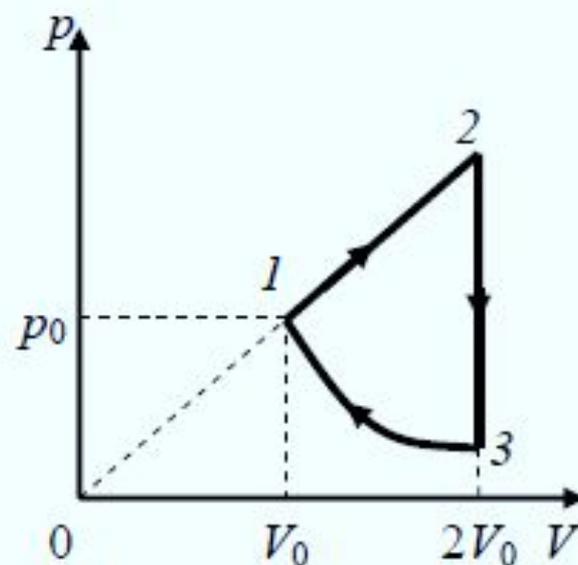
$$A = p_2 (V_3 - V_2)$$

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{T_1}{T_2} \quad V_1 = V_2$$

$$\frac{V_2}{V_3} = \frac{T_2}{T_3} \quad p_2 = \text{const}$$

$$A = \frac{p_1 V_1 (T_3 - T_2)}{T_1} = \frac{10^5 \text{ Па} \cdot 0,01 \text{ м}^3 (350^\circ\text{К} - 320^\circ\text{К})}{300^\circ\text{К}} = 100 \text{ Дж}$$

Над одноатомным идеальным газом проводится циклический процесс, показанный на рисунке. На участке 1–2 газ совершает работу  $A_{12} = 1000$  Дж. На адиабате 3–1 внешние силы сжимают газ, совершая работу  $|A_{31}| = 370$  Дж. Количество вещества газа в ходе процесса не меняется. Найдите количество теплоты  $|Q_{\text{хол}}|$ , отданное газом за цикл холодильнику.



1. В данном цикле рабочее тело на участке 1–2 получает положительное количество теплоты от нагревателя:  $Q_{\text{нагр}} = Q_{12} = (U_2 - U_1) + A_{12}$ .

На участке 2–3 (изохора) рабочее тело отдаёт холодильнику количество теплоты  $|Q_{\text{хол}}| = U_2 - U_3$ .

Наконец, на участке 3–1 (адиабата) внешние силы сжимают газ, совершая работу  $|A_{31}| = U_1 - U_3$ .

Поэтому количество теплоты  $|Q_{\text{хол}}|$ , отданное газом за цикл холодильнику, можно представить в виде:  $|Q_{\text{хол}}| = (U_2 - U_1) + (U_1 - U_3) = (U_2 - U_1) + |A_{31}|$ .

2. Модель одноатомного идеального газа:

$$\begin{cases} pV = \nu RT; \\ U = \frac{3}{2} \nu RT. \end{cases}$$

3. Судя по рисунку в условии,  $\frac{p_2}{p_1} = \frac{V_2}{V_1}$ , откуда  $p_2 = p_1 \frac{V_2}{V_1} = 2p_0$ .

Поэтому

$$U_2 - U_1 = \frac{3}{2} p_2 V_2 - \frac{3}{2} p_1 V_1 = \frac{3}{2} (2p_0 \cdot 2V_0 - p_0 V_0) = \frac{9}{2} p_0 V_0,$$

$$A_{12} = \frac{1}{2} p_2 V_2 - \frac{1}{2} p_1 V_1 = \frac{1}{2} (2p_0 \cdot 2V_0 - p_0 V_0) = \frac{3}{2} p_0 V_0,$$

откуда получаем:  $U_2 - U_1 = 3A_{12}$ .

4. В результате  $|Q_{\text{хол}}| = (U_2 - U_1) + |A_{31}| = 3A_{12} + |A_{31}| = 3370$  Дж.

Ответ:  $|Q_{\text{хол}}| = 3A_{12} + |A_{31}| = 3370$  Дж