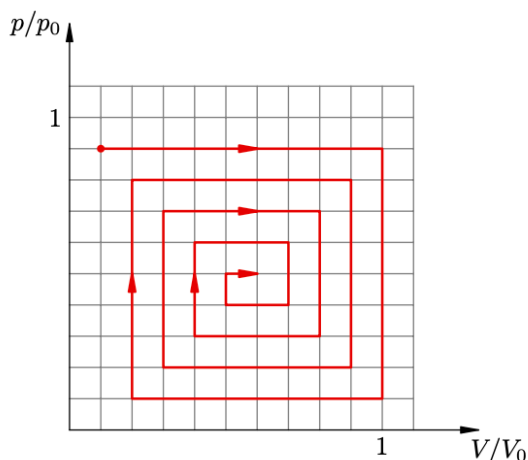


ЗАДАЧА 10. (Всеросс., 2010, РЭ, 11) Над одним молем метана ( $\text{CH}_4$ ) совершается процесс, график которого изображён на рисунке. Перенесите график процесса в тетрадь и выделите на нём участки, на которых к газу подводится теплота. Какое количество теплоты было подведено к газу в этом процессе? Величины  $p_0$  и  $V_0$  считать известными.



### Задача 5. Термодинамический «лабиринт»

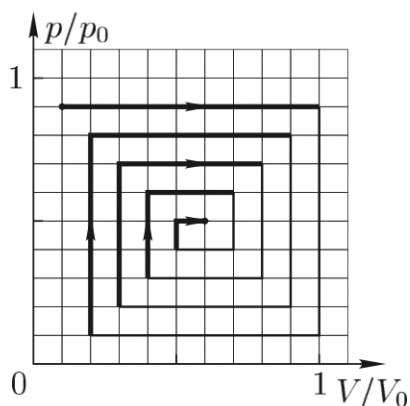


Рис. 25

Теплота подводится к газу на тех изохорах и изобарах, на которых температура возрастает. Обозначим эти участки жирными линиями (рис. 25). Вычислим суммарную работу, совершённую на этих участках, как сумму площадей под выделенными горизонтальными прямыми:

$$\frac{A}{p_0 V_0} = \frac{9 \cdot 9 + 8 \cdot 7 + 7 \cdot 5 + 6 \cdot 3 + 5 \cdot 1}{100},$$

откуда  $A = 1,95 p_0 V_0$ .

Так как метан — многоатомный газ, то его молярная теплоёмкость при постоянном объёме равна  $C_V = 3R$ . Вычислим изменение внутренней энергии на тех участках, где тепло подводится к газу:

$$\begin{aligned} \frac{\Delta U}{3p_0 V_0} = \frac{1}{100} & \left( (10 \cdot 9 - 1 \cdot 9) + (9 \cdot 8 - 2 \cdot 1) + (8 \cdot 7 - 3 \cdot 2) + \right. \\ & \left. + (7 \cdot 6 - 4 \cdot 3) + (6 \cdot 5 - 5 \cdot 4) \right) = 2,41, \end{aligned}$$

откуда  $\Delta U = 7,23 p_0 V_0$ . Тогда подведённое тепло:

$$Q = \Delta U + A = 9,18 p_0 V_0.$$

ЗАДАЧА 13. (Всеросс., 2002, ОЭ, 10) Вещества  $X$ ,  $Y$  и  $Z$  могут участвовать в следующей химической реакции:



Температуры плавления и кипения этих веществ таковы, что  $T_x^{\text{пл}} < T_y^{\text{пл}} < T_z^{\text{пл}} = 10^\circ\text{C}$ ,  $T_x^{\text{кип}} > T_y^{\text{кип}} > T_z^{\text{кип}} = 190^\circ\text{C}$ . В первом опыте вещества  $X$  и  $Y$ , взятые при температуре  $T_z^{\text{пл}}$ , поместили в герметичный теплоизолированный сосуд. Через некоторое время в сосуде осталось только вещество  $Z$ , причем половина его была в твёрдом состоянии, а половина — в жидком. Во втором опыте вещества  $X$  и  $Y$  снова поместили в герметичный теплоизолированный сосуд, но на этот раз при температуре  $T_z^{\text{кип}}$ . Через некоторое время в сосуде осталось только вещество  $Z$ , причём одна половина его была в жидком состоянии, а другая — в газообразном. Найдите молярную теплоёмкость вещества  $Z$  в жидком состоянии. Молярные теплоёмкости веществ  $X$  и  $Y$  в жидком состоянии  $C_x = 55$  кДж/(кмоль  $\cdot$  К),  $C_y = 80$  кДж/(кмоль  $\cdot$  К); для вещества  $Z$  молярная теплота плавления  $\lambda_z = 5$  МДж/кмоль, теплота парообразования  $r_z = 40$  МДж/кмоль.

*Примечание.* Считать, что теплоёмкости веществ не зависят от температуры. Давление в сосуде в обоих опытах поддерживалось постоянным и одинаковым.

$$C_z = 3C_x + 2C_y - \frac{(\lambda_z + r_z)(T_z^{\text{кип}} - T_z^{\text{пл}})}{2(T_z^{\text{кип}} - T_z^{\text{пл}})} = 200 \text{ кДж/(кмоль} \cdot \text{К)}$$

#### Задача 4. Химическая реакция

Пусть вещества  $X$  и  $Y$  в количестве  $3\nu$  и  $2\nu$  соответственно находятся при температуре  $T_z^{\text{пл}}$ . И пусть мы хотим получить из них вещество  $Z$  при температуре  $T_z^{\text{кип}}$ , причем так, чтобы половина его была в жидком состоянии, а половина — в газообразном. В соответствии с данными в условии результатами двух опытов это можно сделать, например, следующими двумя способами. Можно сначала провести химическую реакцию, а затем, нагревая полученное вещество  $Z$ , довести его до конечного состояния. А можно первоначально нагреть вещества  $X$  и  $Y$  до температуры  $T_z^{\text{кип}}$ , а потом провести химическую реакцию. Оба процесса имеют одинаковые начальные и конечные состояния и идут при постоянном давлении, поэтому подводимое тепло в них одинаково:

$$\frac{\nu}{2}\lambda_z + \nu C_z(T_z^{\text{кип}} - T_z^{\text{пл}}) + \frac{\nu}{2}r_z = (3\nu C_x + 2\nu C_y)(T_z^{\text{кип}} - T_z^{\text{пл}}),$$

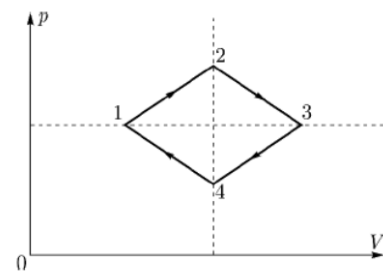
откуда

$$C_z = 3C_x + 2C_y - \frac{\lambda_z + r_z}{2(T_z^{\text{кип}} - T_z^{\text{пл}})} = 200 \text{ кДж/(кмоль} \cdot \text{К)}.$$

*Примечание.* Температура вещества  $Z$  после реакций, указанных в условии, окажется  $T_z^{\text{пл}}$  и  $T_z^{\text{кип}}$ , так как в сосуде будут находиться в равновесии два агрегатных состояния вещества  $Z$ . Заметим, что из неравенств для температур плавления и кипения следует, что вещества  $X$  и  $Y$  не претерпевают фазовых переходов, а находятся все время в жидком состоянии. При парообразовании объем увеличивается, а значит, совершается работа против сил внешнего давления, но эта работа учтена в значении  $r_z$ .

ЗАДАЧА 9. (Всеросс., 2016, РЭ, 11) Циклический процесс, совершаемый 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  $Q_{12}$ , подведённое к газу на участке 1–2, от количества теплоты  $|Q_{34}|$ , отведённой от газа на участке 3–4?



2/11 2011

### Возможное решение.

Слободянин В.

Количество теплоты, подведённое к газу на участке 1-2 равно  $Q_{1,2} = U_{1,2} + A_{1,2}$ .

Количество теплоты, отведённое от газа на участке 3-4 равно  $|Q_{3,4}| = U_{4,3} + A_{4,3}$ .

Сравним изменения величин внутренних энергий.

Пусть давление в точках 1 и 3 равно  $p_0$ , а объём в точках 2 и 4 равен  $V_0$ . Пусть далее, при переходе из состояния 1 в 2 давление изменяется на  $\Delta p$ , а объём на  $\Delta V$ . Тогда изменение температуры найдём из следующих соображений:

$$\nu R T_2 = p_0 V_0 + V_0 \Delta p;$$

$$\nu R T_1 = p_0 V_0 - p_0 \Delta V;$$

$$\nu R (T_2 - T_1) = V_0 \Delta p + p_0 \Delta V.$$

При переходе из состояния 3 в состояние 4 изменение температуры найдём из следующих соображений:

$$\nu R T_3 = p_0 V_0 + p_0 \Delta V;$$

$$\nu R T_4 = p_0 V_0 - V_0 \Delta p;$$

$$\nu R (T_3 - T_4) = p_0 \Delta V + V_0 \Delta p.$$

Поскольку  $T_3 - T_4$  равно  $T_2 - T_1$ , то равны между собой и изменения величин внутренней энергии:  $U_{1,2} = U_{4,3}$ .

Работа  $A_{1,2}$  больше работы  $A_{4,3}$  на величину  $A/2$ .

Следовательно, и количество теплоты, подведённой к газу на участке 1-2, больше количества теплоты, отведённой от газа на участке 3-4, на  $A/2$ .