

Изопроеессы в идеальных газах

Вспомним уравнение состояния идеального газа (или, иначе, уравнение Менделеева-Клапейрона):

$$\frac{pV}{T} = \nu R \text{ или } \frac{pV}{T} = \frac{m}{M} R.$$

В случае, если масса вещества постоянна $m = const$ и химический состав вещества постоянный $M = const$, уравнение состояния газа приобретает вид

$$\frac{pV}{T} = const \quad (1)$$

и получило название *универсального газового закона* или уравнения Клапейрона. Запись (1) означает

$$\frac{pV}{T} = \frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2} = \dots$$

Иными словами, для данной порции данного газа или смеси газов при любых изменениях ее давления, объема и температуры величина, равная отношению pV/T , всё время остается постоянной.

Изопроеессами называются термодинамические процессы, в ходе которых количество вещества и один из термодинамических параметров – в нашем случае это давление, объем, температура – не меняет своего значения.

Первый изопроеес – *изобарический*, т.е. $p = const$. При этом универсальный газовый закон приобретает вид

$$\frac{V}{T} = const \quad (2),$$

Уравнение (2) носит название закона Гей-Люссака.

Второй изопроеес – *изохорический*, т.е. $V = const$. При этом универсальный газовый закон приобретает вид

$$\frac{p}{T} = const \quad (3),$$

Уравнение (3) носит название закона Шарля.

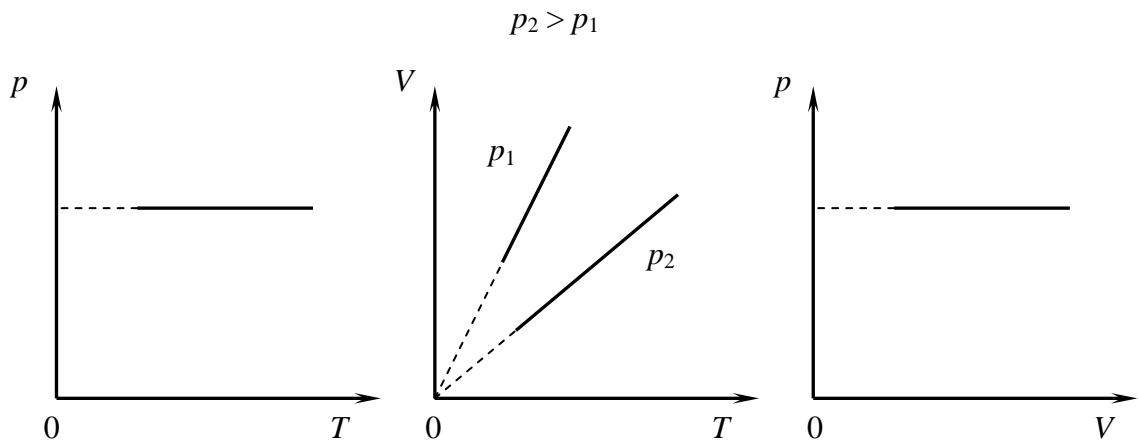
Третий изопроеес – *изотермический*, $T = const$. При этом универсальный газовый закон приобретает вид

$$pV = const \quad (4),$$

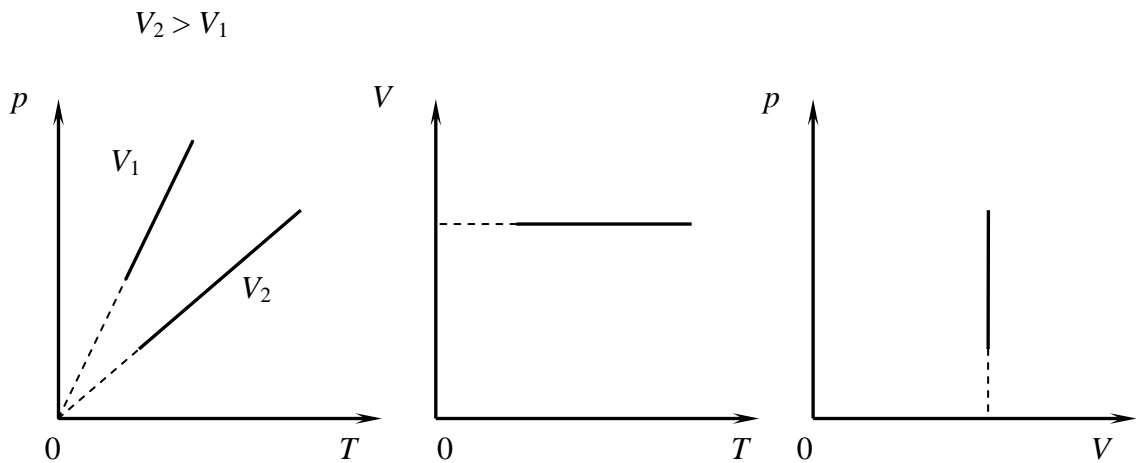
Уравнение (4) носит название закона Бойля-Мариотта.

Очень часто удобно использовать графическое представление изопроеессов. Наиболее распространены графики трёх рассмотренных процессов в системах координат pV , pT и VT .

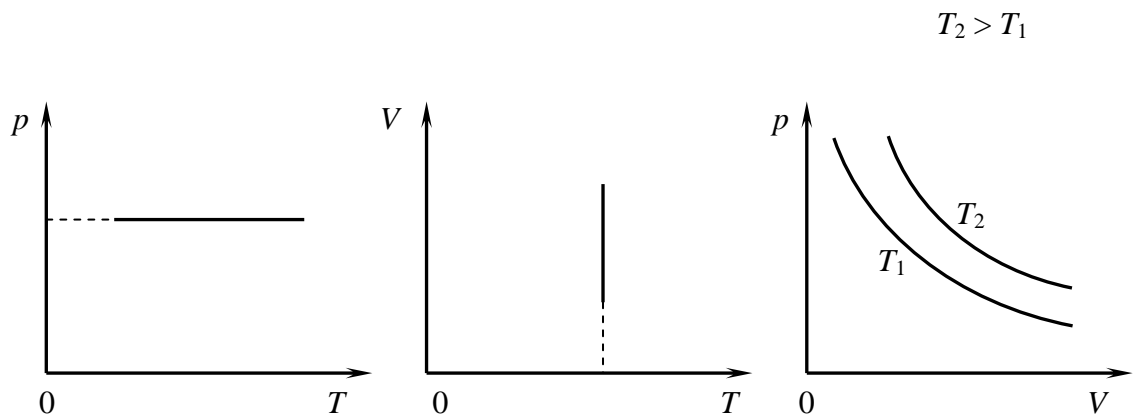
Графики изобарического процесса называются *изобарами*. Наклон изобары в координатах VT уменьшается с ростом давления для данной массы газа.



Графики изохорического процесса называются **изохорами**. Наклон изохоры в координатах pT уменьшается с ростом объема для данной массы газа:



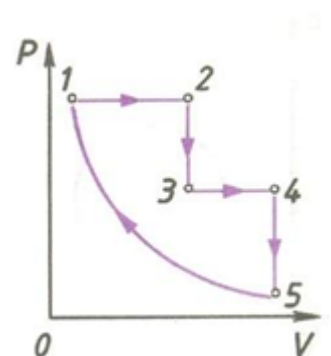
Графики изотермического процесса называются **изотермами**. Изотерма для данной массы газа в координатах pV располагается выше с ростом температуры.



Примеры решения задач

1. Графическая задача.

На рисунке изображен график замкнутого процесса. Постройте график этого процесса в других координатах.



Решение.

Изменение состояния газа представляет собой замкнутый цикл, состоящий из пяти участков, каждый из которых является изопроцессом. Распишем подробно ситуацию для каждого участка.

Процесс 1-2 изобарический, $p = const$, объём газа растёт $V \uparrow$, температура газа в ходе этого процесса также увеличивается $T \uparrow$, что следует из уравнения состояния идеального газа при условии, что масса газа постоянна: объём растёт при постоянном давлении, а значит, растёт и температура. Ниже будем рассуждать аналогично.

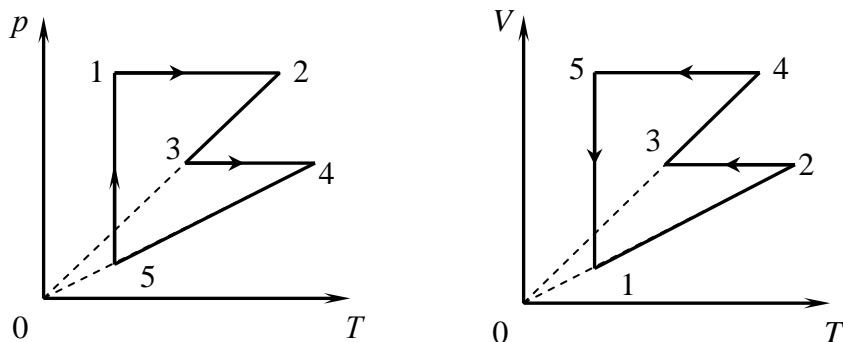
Процесс 2-3 изохорический: $V = const$, давление уменьшается $p \downarrow$, температура газа в ходе этого процесса уменьшается $T \downarrow$.

Процесс 3-4 изобарический, $p = const$, объём растёт $V \uparrow$, температура газа в ходе этого процесса растёт $T \uparrow$.

Процесс 4-5 изохорический: $V = const$, давление уменьшается $p \downarrow$, температура газа в ходе этого процесса уменьшается $T \downarrow$.

Процесс 5-1 изотермический: $T = const$, давление газа в ходе этого процесса растёт $p \uparrow$, объём уменьшается $V \downarrow$.

Теперь аккуратно изобразим каждый из процессов на pT и Vp -диаграммах:



2. Задача на изотермическое расширение.

При давлении $p = 2 \cdot 10^6$ Па идеальный газ занимает объём $V = 5$ л. В результате изотермического расширения его объём увеличился на $\Delta V = 1$ л, а концентрация молекул стала равной $n = 3,62 \cdot 10^{26} \text{ м}^{-3}$. Найдите температуру, при которой протекал этот процесс

Решение.

Согласно закону Бойля- Мариотта,

$$pV = const, \text{ то есть}$$

$$p_1 V_1 = p_2 V_2.$$

Зная, что объём газа в ходе изотермического процесса увеличивается, найдём V_2 и подставим это выражение в формулу для p_2 :

$$V_2 = V_1 + \Delta V,$$

$$p_2 = \frac{p_1 V_1}{V_1 + \Delta V}.$$

Используя основное уравнение МКТ

$$p_1 = nkT,$$

получаем итоговое значение для температуры:

$$T = \frac{p_1 V_1}{(V_1 + \Delta V)nk}.$$

Подстановка данных из условия даёт значение $T = 333,6$ К или в шкале по Цельсию $t = 60,6^\circ\text{C}$.

Ответ: $T = \frac{p_1 V_1}{(V_1 + \Delta V)nk}$, 333,6K или 60,6° C.