

Уравнение состояния идеального газа

Уравнение Клапейрона

1834 г. Французский физик Б. Клапейрон, работавший длительное время в Петербурге, вывел уравнение состояния идеального газа для постоянной массы газа ($m = \text{const}$).

$$\left. \begin{array}{l} \text{Из уравнения } \frac{m_0 \bar{v}^2}{2} = \frac{3}{2} kT \text{ и основного} \\ \text{уравнения МКТ } p = \frac{2}{3} n \frac{m_0 \bar{v}^2}{2} \end{array} \right\} p = nkT.$$

Зная, что $n = \frac{N}{V}$, $N = \text{const}$, получим $p = \frac{NkT}{V}$,

Это уравнение связывает давление, объем и температуру, которые определяют состояние идеального газа, и называется уравнением состояния идеального газа.

Для постоянной массы идеального газа отношение произведения давления на объем к данной температуре есть величина постоянная:

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2} = \text{const},$$

т. е. уравнение Клапейрона.

Уравнение Менделеева – Клапейрона

Для одного моля газа при нормальных условиях:

$$\frac{p_0 V_0}{T_0} = \frac{10^5 \text{ Па} \cdot 0,024 \text{ м}^3/\text{моль}}{273 \text{ К}} = 8,31 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^3}{\text{м}^2 \cdot \text{моль} \cdot \text{К}} = 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}.$$

$R = 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$

— универсальная газовая постоянная.

$$\frac{p_0 V_0}{T_0} = R.$$

1874 г. Д. И. Менделеев вывел уравнение для произвольного числа молекул:

$$N = \frac{m}{m_0} \rightarrow N = \frac{m}{M} N_A \rightarrow \frac{pV}{T} = \frac{m}{M} N_A k \rightarrow \frac{pV}{T} = \frac{m}{M} R.$$

Уравнение Менделеева — Клапейрона:

$$pV = \frac{m}{M} RT.$$

Изотермический процесс

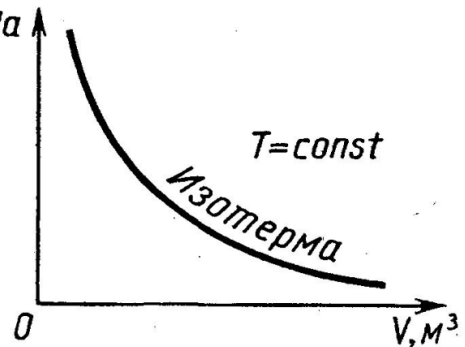
Р. Бойль (1662), Э. Мариотт (1676) $p, \text{Па}$

$$pV = \text{const при } T = \text{const.}$$

Для данной массы газа произведение давления газа на его объем постоянно, если температура газа не меняется:

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2} \text{ при } T = \text{const};$$

$$p_1 V_1 = p_2 V_2 \rightarrow \frac{p_1}{p_2} = \frac{V_2}{V_1}.$$



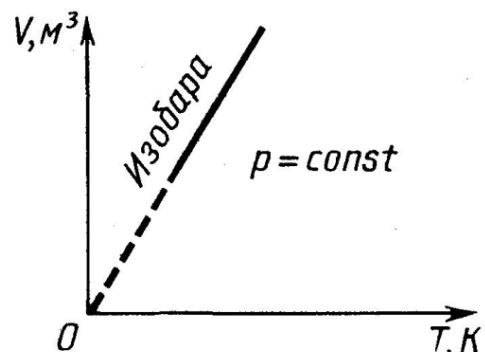
Изобарный процесс

Ж. Гей-Люссак (1802)

$$\frac{V}{T} = \text{const при } p = \text{const.}$$

Для данной массы газа отношение объема к температуре постоянно, если давление газа не меняется:

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2} \text{ при } p = \text{const}; \quad \frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \rightarrow \frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2}.$$



Отношение объемов прямо пропорционально отношению абсолютных температур.

Объем данной массы газа при постоянном давлении зависит от температуры по линейному закону:

$$V = V_0 (1 + \alpha_V \Delta t),$$

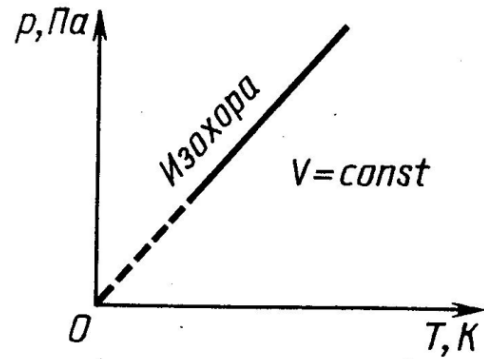
где α_V — коэффициент объемного расширения:

$$\alpha_V = \frac{V - V_0}{V_0 (t - t_0)} = \frac{1}{273,15} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}.$$

Изохорный процесс

Ж. Шарль (1787)

$$\frac{p}{T} = \text{const при } V = \text{const.}$$



Для данной массы газа отношение давления к температуре постоянно, если объем газа не меняется:

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2} \text{ при } V = \text{const};$$

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2} \rightarrow \frac{p_1}{p_2} = \frac{T_1}{T_2}.$$

Давление данной массы газа при постоянном объеме зависит от температуры по линейному закону:

$$p = p_0 (1 + \beta \Delta t),$$

где β — температурный коэффициент давления:

$$\beta = \frac{p - p_0}{p_0 (t - t_0)} = \frac{1}{273,15} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}.$$

Свойства газов

1. Управление давлением газа.
2. Большая сжимаемость.
3. Зависимость p и V от T .

Использование свойств газов в технике

Амортизатор (в шинах), рабочее тело в двигателях (тепловых, на сжатом газе), двигателях внутреннего сгорания, в огнестрельном оружии для выталкивания пули из ствола...