

V. Тепловые явления

1. Уравнение Менделеева-Клапейрона

Для идеального газа

Абсолютная температура $T = (t^{\circ}\text{C} + 273)\text{K}$

Давление газа (в Па)
1 атм $\approx 10^5$ Па ≈ 760 мм.рт.ст.

Объем газа (в м^3)
1 л = 10^{-3} м^3

$k = R/N_A \approx 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К
постоянная Больцмана

Универсальная газовая постоянная
 $R \approx 8,31$ Дж/(моль·К)

Количество вещества — число моль газа.
1 моль — группа из $\approx 6,02 \cdot 10^{23}$ молекул.

Число Авогадро $N_A \approx 6,02 \cdot 10^{23}$ моль $^{-1}$

$$pV = \frac{NRT}{N_A}$$

разделим обе части на V: $p = \frac{N}{V} kT$

$n = N/V$ — концентрация газа —
число молекул в 1 м^3 .

$$p = nkT$$

$$v = \frac{N}{N_A}$$

Число молекул газа

Число молекул в 1 моль

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

Масса газа

Масса 1 моль газа — молярная масса

разделим обе части на V:

$$p = \frac{mRT}{VM} \quad \rho = m/V \text{ — плотность газа.}$$

$$p = \frac{\rho}{M} RT$$

$M \approx 16 \cdot 10^{-3}$ кг/моль

8
15,9994 O
Кислород

2. Закон Дальтона

$$p_{\text{смеси}} = p_1 + p_2 + \dots$$

Давление смеси
неразлагающихся
газов.

Парциальное давление первого из газов, входящих в смесь, — т. е. давление, которое создавал бы этот газ, если бы он один занимал весь объем смеси.

$$p_1 = \frac{v_1 RT_{\text{смеси}}}{V_{\text{смеси}}}$$

3. Основное уравнение МКТ

$$\bar{E}_k^{\text{пост}} = \frac{m_0 v_{\text{кв}}^2}{2} = \frac{3}{2} kT$$

$$p = \frac{2}{3} n \bar{E}_k^{\text{пост}} = \frac{1}{3} n m_0 v_{\text{кв}}^2$$

$m_0 = \frac{M}{N_A}$ — Масса 1 моль
Число молекул в 1 моль

Масса одной молекулы

Плотность газа ρ

Средняя кинетическая энергия поступательного движения молекул

$$\bar{E}_k^{\text{пост}} = \frac{\frac{m_0 v_1^2}{2} + \frac{m_0 v_2^2}{2} + \dots + \frac{m_0 v_N^2}{2}}{N} = \frac{m_0}{2} \left(\frac{v_1^2 + v_2^2 + \dots + v_N^2}{N} \right) = \frac{m_0 \bar{v}^2}{2} = \frac{m_0 v_{\text{кв}}^2}{2}$$

$$v_{\text{кв}} = \sqrt{v^2}$$

Средняя квадратичная скорость

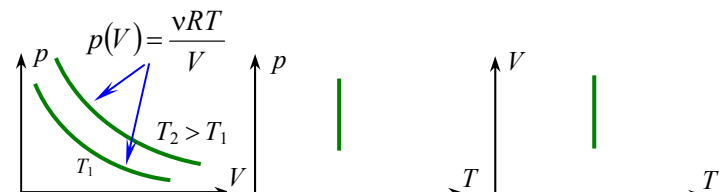
4. Газовые законы

Из $pV = \nu RT$ следует, что если $\nu = \text{const}$, то $\frac{pV}{T} = \text{const}$

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

$\nu = \text{const}$,
 $T = \text{const}$ $p_1 V_1 = p_2 V_2$

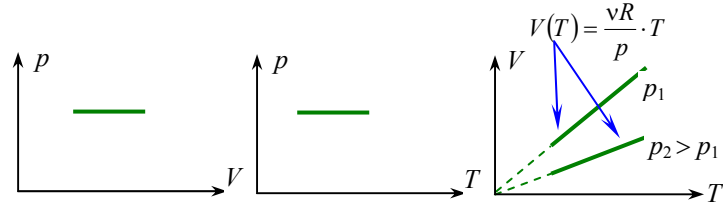
Изотермический процесс.
график - изотерма.



$\nu = \text{const}$,
газ идеальный

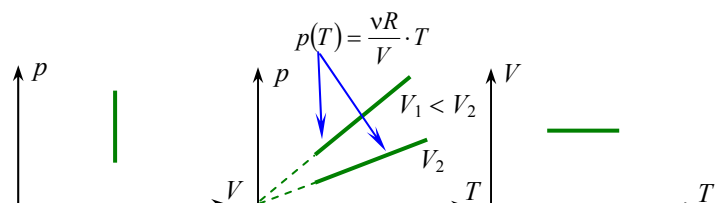
$\nu = \text{const}$,
 $p = \text{const}$ $\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$

Изобарный процесс.
график - изобара



$\nu = \text{const}$,
 $V = \text{const}$ $\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$

Изохорный процесс.
график - изохора.



5. Первый закон термодинамики

Количество теплоты, полученное ($Q > 0$) или отданное ($Q < 0$) системой.

(Энергия, полученная или отданная системой в процессе теплопередачи, т. е. при обмене энергиями между молекулами — на микроскопическом уровне.)

$$C = \frac{Q}{\Delta T} \Rightarrow Q = C\Delta T$$

Теплоемкость тела (системы)

$$c = \frac{Q}{m\Delta T} \Rightarrow Q = cm\Delta T$$

Удельная теплоемкость вещества

$$C_M = \frac{Q}{\nu\Delta T} \Rightarrow Q = C_M\nu\Delta T$$

Молярная теплоемкость вещества

При $V = \text{const}$: $C_V = \frac{\Delta U}{\Delta T}$

При $p = \text{const}$:

$$C_p = \frac{\Delta U + A}{\Delta T} > C_V$$

6. Адиабатический процесс

$$Q = 0 \Rightarrow A_{\text{газа}} = -\Delta U$$

В теплоизолированной системе или при быстрых процессах

При адиабатическом расширении ($A_{\text{газа}} > 0$) газ охлаждается ($\Delta U < 0$)

При адиабатическом сжатии ($A_{\text{газа}} < 0$) газ нагревается ($\Delta U > 0$)

Адиабата — гипербола, идущая более "круто" чем изотермы (с ростом V убывает T).



7. КПД циклического процесса (теплового двигателя)

$$\eta_{\text{цикла}} = \frac{A_{\text{газа в цикле}}}{Q_{\text{подв}}} = \frac{Q_{\text{подв}} - |Q_{\text{отв}}|}{Q_{\text{подв}}} = 1 - \frac{|Q_{\text{отв}}|}{Q_{\text{подв}}}$$

$$Q_{\text{полн. за цикл}} = Q_{\text{подв}} + Q_{\text{отв}} = \Delta U_{\text{в цикле}} + A_{\text{газа в цикле}}$$

$$Q_{\text{отв}} < 0 \Rightarrow Q_{\text{отв}} = -|Q_{\text{отв}}| \quad \Delta U_{\text{в цикле}} = U_{\text{кон}} - U_{\text{нач}} = 0$$

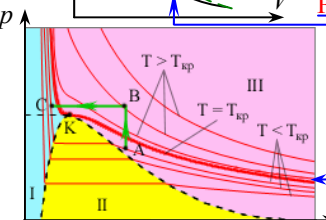
$$Q_{\text{подв}} - |Q_{\text{отв}}| = A_{\text{газа в цикле}}$$

$$A_{\text{газа в цикле}} = \pm S_{\text{внутри цикла } p(V)}$$

численно

"+" — если цикл идет "по часовой стрелке"
"-" — если цикл идет "против часовой стрелки"

6. Насыщенный пар



газ, дальнейшее изотермическое сжатие или изохорное охлаждение которого приводит к превращению части этого газа в жидкость (при наличии центров конденсации).

газ, находящийся в динамическом равновесии со своей жидкостью, т. е. в состоянии, когда число молекул, переходящих из газа в жидкость равно числу молекул, переходящих обратно за то же время.

Реальные изотермы: область I — вода

область II — вода в равновесии с насыщенным паром

область III — газ

$T_{\text{кр}}$ — критическая температура, при $T > T_{\text{кр}}$ газ никаким сжатием нельзя перевести в жидкость.

Условие кипения: $p_{\text{нас}} = p_{\text{на пузырек}} \approx p_{\text{атм.}}$

Для воды $p_{\text{нас}} (100^\circ\text{C}) \approx 10^5 \text{ Па}$

Давление насыщенного пара (а также его плотность) однозначно определяется температурой и больше ни от чего не зависит (ни от объема, ни от массы пара).

Относительная влажность воздуха

$$\varphi = \frac{p_{\text{пара в воздухе}}}{p_{\text{нас. пара при данной } T}} = \frac{\rho_{\text{пара в воздухе}}}{\rho_{\text{нас. пара при данной } T}} (\times 100 \%)$$

Работа газа

$$A_{\text{газа}} = -A_{\text{над газом}}$$

$$V = \text{const}$$

$$A_{\text{газа}} = 0$$

$$p = \text{const}$$

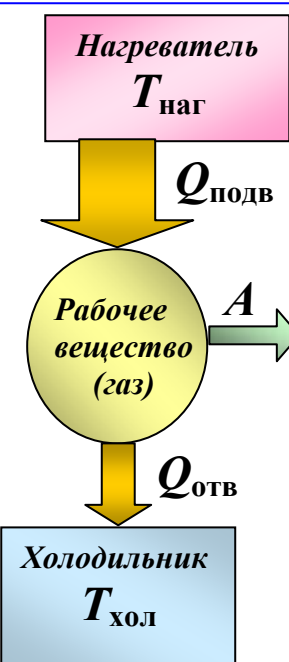
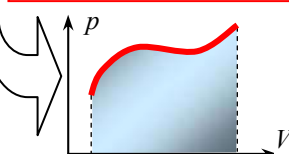
$$A_{\text{газа}} = p\Delta V = \nu R\Delta T$$

$$\nu = \text{const}$$

численно

$$A_{\text{газа}} = \pm S_{\text{под граф. } p(V)}$$

"+" — если газ расширяется
"-" — если газ сжимается



$$\eta_{\text{идеал}} = \frac{T_{\text{наг}} - T_{\text{хол}}}{T_{\text{наг}}}$$

КПД идеальной тепловой машины, работающей по циклу Карно — **максимальный** теоретически возможный КПД при данных $T_{\text{нагр}}$ и $T_{\text{хол.}}$