

V. Тепловые явления.

1. Уравнение Менделеева-Клапейрона.

Для идеального газа

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

$$pV = \nu RT$$

Универсальная газовая постоянная $R \approx 8,31 \text{ Дж/(моль}\cdot\text{K)}$

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

Объем газа (в м^3)
1 л = 10^{-3} м^3

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

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

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

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

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

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

$$p = nkT$$

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

Число молекул газа

Число молекул в 1 моль

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

Масса газа

Масса 1 моль газа — молярная масса

разделим обе части на V:

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

$$p = \frac{mRT}{VM}$$

$\rho = m/V$ — плотность газа.

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

$M \approx 16 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$

8

15,9994 **O**

Кислород

2. Закон Дальтона.

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

Давление смеси
неразрушающих
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.

$$p_1 = \frac{\nu_1 RT_{\text{смеси}}}{V_{\text{смеси}}}$$

3. Основное уравнение МКТ.

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

Для идеального газа

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

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

Плотность газа ρ

$$v_{\text{КВ}} = \sqrt{v^2}$$

Средняя квадратичная скорость

Средняя кинетическая энергия поступательного движения молекул

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

4. Газовые законы.

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

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

$\nu = \text{const}$,
газ идеальный

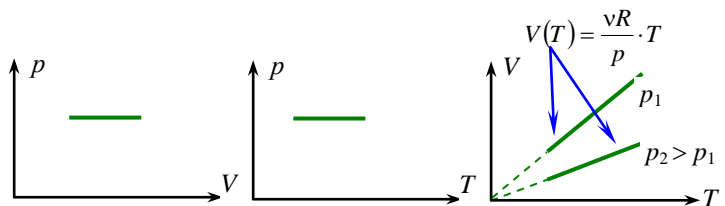
$\nu = \text{const}$,
 $T = \text{const}$ $p_1 V_1 = p_2 V_2$

Изотермический процесс.
график - изотерма.



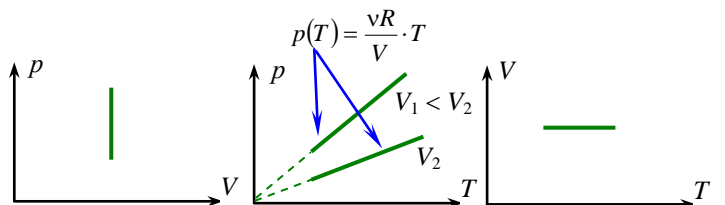
$\nu = \text{const}$,
 $p = \text{const}$ $\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$

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.

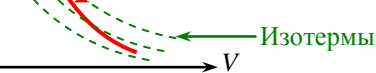
$$Q = 0 \Rightarrow A_{\text{газа}} = -\Delta U$$

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).

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



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

численно

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

8. Насыщенный пар

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

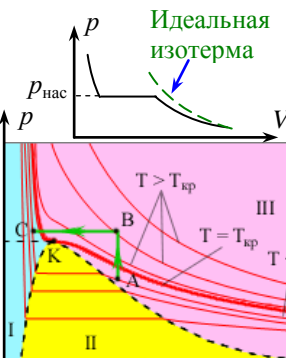
— газ, находящийся в динамическом равновесии со своей жидкостью, т. е. в состоянии, когда число молекул, переходящих из газа в жидкость, равно числу молекул, переходящих обратно за то же время.

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



Работа газа

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

$$V = \text{const}$$

$$A_{\text{газа}} = 0$$

$$p = \text{const}$$

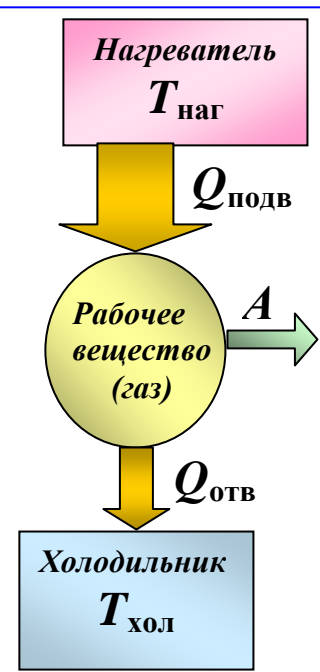
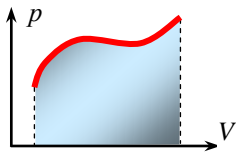
$$A_{\text{газа}} = p\Delta V = \nu R\Delta T$$

$$v = \text{const}$$

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 $T_{\text{наг}}$ и $T_{\text{хол}}$.

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

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