http://vk.com/ege100ballov

V. Тепловые явления

1. Уравнение Менделеева-Клапейрона

Для идеального газа

$$pV = \nu RT$$

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

Объем газа (в $м^3$)
1 л = 10^{-3} $м^3$

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

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

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

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

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

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

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

N — Число молекул газа
N_A — Число молекул в 1 моль

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

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

$$p = nkT$$

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

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

m — Масса газа
M — Масса 1 моль газа — молярная масса

разделим обе части на V:

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

$\rho = m/V$ — плотность газа.

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

$M \approx 16 \cdot 10^{-3}$ кг/моль

8
15,9994 O
Кислород

2. Закон Дальтона

$$p_{смеси} = p_1 + p_2 + \ldots$$

Давление смеси нереагирующих 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.

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

3. Основное уравнение МКТ

Для идеального газа

$$p = \frac{2}{3} n \overline{E}_k^{пост} = \frac{1}{3} n m_0 \upsilon_{кв}^2$$

$$\overline{E}_k^{пост} = \frac{m_0 \upsilon_{кв}^2}{2} = \frac{3}{2} kT$$

Средняя кинетическая энергия поступательного движения молекул

$$m_0 = \frac{M}{N_A}$$

M — Масса 1 моль
N_A — Число молекул в 1 моль
m_0 — Масса одной молекулы

ρ — Плотность газа

$$\upsilon_{кв} = \sqrt{\overline{\upsilon^2}}$$

Средняя квадратичная скорость

$$\overline{E}_k^{пост} = \frac{\frac{m_0 \upsilon_1^2}{2} + \frac{m_0 \upsilon_2^2}{2} + \ldots + \frac{m_0 \upsilon_N^2}{2}}{N} = \frac{m_0}{2} \left(\frac{\upsilon_1^2 + \upsilon_2^2 + \ldots + \upsilon_N^2}{N} \right) = \frac{m_0 \overline{\upsilon^2}}{2} = \frac{m_0 \upsilon_{кв}^2}{2},$$

4. Газовые законы

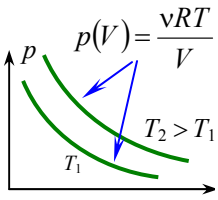
Из $pV = \nu RT$ следует, что если ν = const, то $\frac{pV}{T} = \text{const}$

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

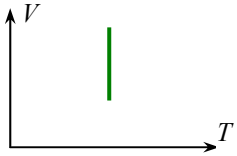
ν = const , газ идеальный

ν = const, T = const $\quad p_1 V_1 = p_2 V_2$

Изотермический процесс, график - изотерма.

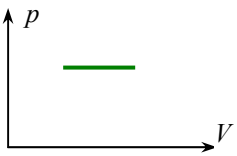




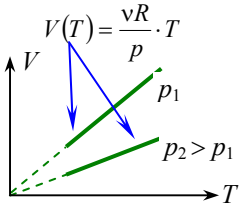


ν = const, p = const $\quad \frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$

Изобарный процесс, график - изобара

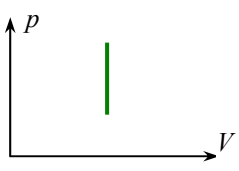


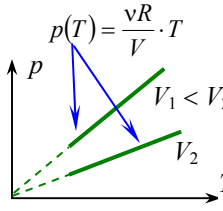


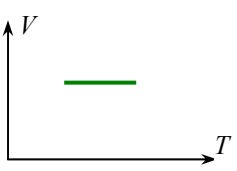


ν = const, V = const $\quad \frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$

Изохорный процесс, график - изохора.







http://vk.com/ege100ballov

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.)

$$Q = \Delta U + A_{\text{газа}}$$

Работа газа

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

Изменение внутренней энергии системы

$$U = E_{\text{k тепл}} + E_{\text{p взаим}}$$

Внутренняя энергия

Кинетическая энергия хаотического (теплового) движения молекул.

Потенциальная энергия взаимодействия молекул друг с другом.

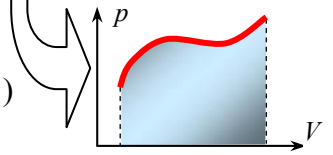
$V = \text{const}$: $A_{\text{газа}} = 0$

$p = \text{const}$: $A_{\text{газа}} = p\Delta V = \nu R\Delta T$ ($\nu = \text{const}$)

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

"+" — если газ расширяется

"–" — если газ сжимается



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

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

При $p = \text{const}$: $C_p = \dfrac{\Delta U + A}{\Delta T} > C_V$

В идеальном газе $E_{\text{k тепл}} >> E_{\text{p взаим}}$, поэтому

$$U = E_{\text{k тепл}} = \frac{i}{2}pV = \frac{i}{2}\nu RT$$

$i = 3$ для одноатомных газов (He, Ne, Ar, …)
$i = 5$ для двухатомных газов (H_2, N_2, O_2, воздух,)
$i = 6$ для многоатомных газов (пары H_2O, …)

$$\Delta U = \frac{i}{2}(p_2V_2 - p_1V_1) = \frac{i}{2}\nu R\Delta T$$

Для идеального газа

$$\Delta U = C_V\Delta T = c_V m\Delta T = C_{M\,V}\nu\Delta T$$

Для идеального газа в любом процессе

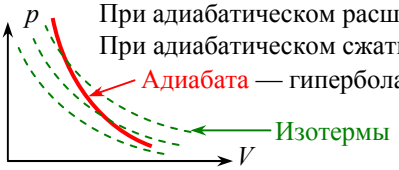
6. Адиабатический процесс

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

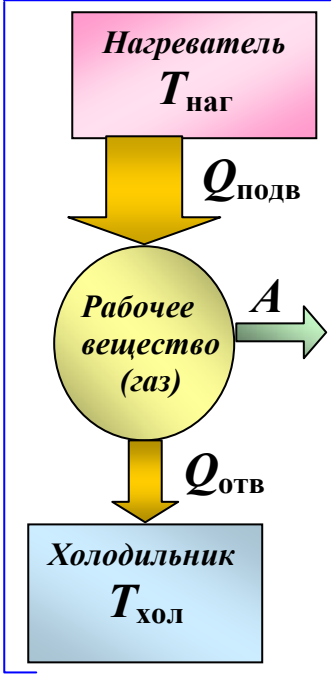
В теплоизолированной системе или при быстрых процессах

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

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

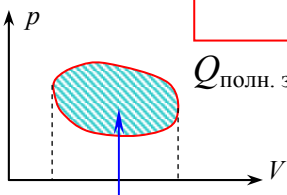


Адиабата — гипербола, идущая более "круто" чем изотермы (с ростом V убывает T).



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"

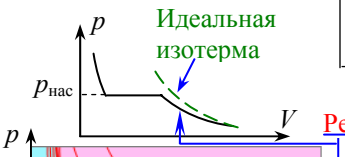
$$\eta_{\text{идеал}} = \frac{T_{\text{наг}} - T_{\text{хол}}}{T_{\text{наг}}}$$

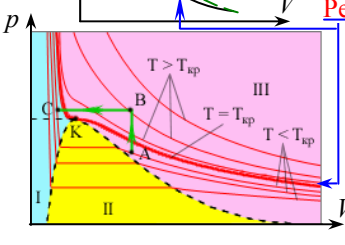
КПД идеальной тепловой машины, работающей по циклу Карно — максимальный теоретически возможный КПД при данных $T_{\text{нагр}}$ и $T_{\text{хол}}$.

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 °C) $\approx 10^5$ 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

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