

$$F \cdot v = \frac{d}{dt} \left(\frac{m_0 v^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \right)$$

$$F \cdot v = N = \frac{dE_k}{dt} \quad E_k - \text{кин. энергия}$$

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

$$\frac{dE_k}{dt} = F \cdot v = \dots = \frac{d}{dt} \left(\frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \right) \Rightarrow E_k = mc^2 + E_0$$

$$\text{если } v=0 \Rightarrow E_k = 0 \Rightarrow 0 = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} + E_0 \Rightarrow E_0 = -m_0 c^2$$

$$\Rightarrow E_k = mc^2 - m_0 c^2 = m_0 c^2 \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - 1 \right) \quad - \text{кин. энергия}$$

$$\text{Если } \frac{v}{c} \ll 1 \Rightarrow \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - 1 = \left(1 - \frac{v^2}{c^2} \right)^{-1/2} - 1 = \int_{x \ll 1} (1-x)^{\alpha} \approx 1 - \alpha \cdot x = 1 + \frac{1}{2} \cdot \frac{v^2}{c^2} - 1 = \frac{1}{2} \frac{v^2}{c^2}$$

$$\Rightarrow E_k = m_0 c^2 \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - 1 \right) \approx m_0 c^2 \cdot \frac{v^2}{2c^2} = \frac{m_0 v^2}{2}$$

$$E_k = mc^2 - m_0 c^2$$

$E = mc^2$ - полная энергия
- энергия покоя

$$\Rightarrow E_k = E - E_0$$

полная энергия и энергия покоя

\Rightarrow Даже покоя, тело обладает энергией!

$$E_0 = m_0 c^2$$

\Rightarrow масса m_0 - мера энергосодержания тела!

§ Энергия покоя и импульса

$$E = mc^2 = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \Rightarrow m^2 c^4 \left(1 - \frac{v^2}{c^2} \right) = m_0^2 c^4$$

$$\frac{m^2 c^4}{E^2} - \frac{m^2 v^2 c^2}{p^2} = \frac{m_0^2 c^4}{E_0^2}$$

$$\Rightarrow E^2 - p^2 c^2 = E_0^2 \Rightarrow$$

$$E = \sqrt{m_0^2 c^4 + p^2 c^2} = \sqrt{E_0^2 + p^2 c^2}$$

Молек. Физика и Термодинамика

§ Введение. Физич. основы Молек.-кин. теории (МКТ)

Основы молек. физики - МКТ

Поступают МКТ

1. Все тв, ж, газ мез-ва ест-т из атомов (молекул)

размер $\sim 1 \text{ \AA}$ (Ангстрем) = $10^{-8} \text{ см} = 10^{-10} \text{ м}$

2. Все атомы (молек.) так-же в хедт. движ, с максим-р $\sim T$

Док-н \exists хаотич. движ-е \rightarrow Броун. движ-е (1826 г.)
 \Rightarrow малые ($\sim 1 \text{ мкм}$) частичк, взрелен. в жидк-е



1 моль мез-ва $\sim 10^{26}$ лит. молекул
 \Rightarrow мез-ва не-кч для опис-я не-дифференц-но
 \Rightarrow статистич. метод ...
 \Rightarrow МКТ исп-т стат. метод

+ Термодинамика - калка о гонке тепла

§ Внутрен. эн-я тела

Вн эн. тела - это ...

при $T = \text{const}$:
 E_k - суммарн. кин. эн. всех молек. тела
 E_p - сум. потен. эн.

- \Rightarrow 1) $E_k \ll E_p \Rightarrow$ тело - тв. тело
- 2) $E_k \approx E_p \Rightarrow$ тело - жидкост
- 3) $E_k \gg E_p \Rightarrow$ тело - газ

§ Работа, соверш. газом, при измен. его объема

Газ расширяет-ся \Rightarrow поднимает $m \Rightarrow$ соверш-т работу

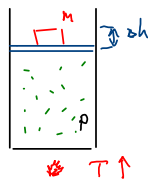
$\Delta A = F \cdot \Delta h = p \cdot S \cdot \Delta h = p \cdot \Delta V$
 или $p = \text{const}$

Если $p \neq \text{const} \Rightarrow$ гонка равн-я n гонков на малые гонки, на кот-х $p_i = \text{const}$

$\Rightarrow \Delta A = \sum \Delta A_i = \sum p_i \cdot \Delta V_i$

В пределе $\Delta V_i \rightarrow 0 \Rightarrow A \equiv \Delta A = \int_{V_1}^{V_2} p(V) \cdot dV$

$A = \int_{V_1}^{V_2} p \cdot dV$
 - работа газа



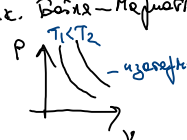
$p = \frac{F}{S}$

§ Экспериментальные законы

$n \rightarrow T, p, V$ (манометр)

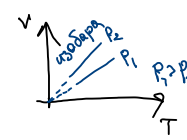
Изохорический:

1. Зак. Бойля-Мариотта ($T = \text{const}$)



$p \cdot V = \text{const}$ или $n = \text{const}$

2. Зак. Гей-Люссака ($p = \text{const}$)

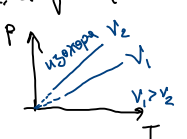


$\frac{V}{T} = \text{const}$ или $p = \text{const}$

или: $V = V_0 \cdot (1 + \alpha \cdot t)$ где t - темп. в $^{\circ}\text{C}$
 $T = 273 + t$ где T - темп. в $^{\circ}\text{K}$

V_0 - объем газа при 0°C
 α - температурный коэффициент

3. Зак. Шарля ($V = \text{const}$)



$\frac{p}{T} = \text{const}$ или $V = \text{const}$

или $p = p_0 \cdot (1 + \beta \cdot t)$ или $V = \text{const}$

4. Зак. Авогадро: "1 моль газа при тех же p, T занимает $V_m = 22,4 \text{ л}$ "

при $p_0 = 1,013 \cdot 10^5 \text{ Па}$
 $T_0 = 273,15 \text{ К}$

в 1 моль содержится $N_A = 6,02 \cdot 10^{23}$ / моль

б. зак. Клапейрона: "для $n = \text{const}$ связь p на V , p на T , если V на T const "

$\Rightarrow \frac{p \cdot V}{T} = \text{const}$ или $n = \text{const}$

запишем для p_0, T_0 и $V_m = 1 \text{ моль}$

$\Rightarrow \frac{p_0 \cdot V_m}{T_0} = \text{const} \equiv R$ - газовая константа $R = 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$

если ν - кол-во молей $\Rightarrow V_m = \frac{V}{\nu}$

$\Rightarrow \frac{p \cdot V_m}{T} = \frac{p \cdot V}{T \cdot \nu} = R \Rightarrow \frac{p \cdot V}{T} = R \cdot \nu = R \cdot \frac{m}{M}$

$\Rightarrow p \cdot V = \frac{m}{M} \cdot R \cdot T$ - ф-ла Менделеева-Клапейрона

μ - молярная масса (масса 1 моль газа)

$\nu = \frac{V}{V_m} = \frac{M}{\mu} = \frac{m}{M}$

§ Элемент. кинет. теория газа

P, T, V

Модель газа:

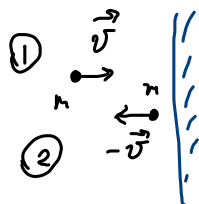
1. Газ - совокуп. точек, хаотич. движ-ся молекул
2. Молекулы - м.т. точки
3. Взаим. кол-ва не расчит-е $\rightarrow 0$
4. Молек. движ. свободное, столк-ия со стенк. абсол. упруго

Модель идеального газа



измен. имп. молек-ми:

$$\Delta \vec{p}_H = \vec{p}_2 - \vec{p}_1 = -m\vec{v} - m\vec{v} = -2m\vec{v}$$



упруг абсол. упругий

По зак. сохр. имп.:

$$\Delta \vec{p}_H + \Delta \vec{p}_{ст} = 0 \Rightarrow \Delta \vec{p}_{ст} = -\Delta \vec{p}_H = 2m\vec{v}$$

Найдем ΔN кол. упруг-ся о. площ-ку ΔS за Δt

Упрощения: 1) Все молек. движ. хаотич. \Rightarrow движ. молек. н. зам-но по 3-м осям (x, y, z)

2) Скорость молек. н. разложив на 3 комп-на v_x, v_y, v_z

$\Rightarrow \Delta N$ - число молек. в сосуде $\Rightarrow \frac{\Delta N}{3}$ - движется вдоль x (или y ; или z)

\Rightarrow в направл. стенок $\frac{\Delta N}{6}$