



**ИДЕАЛЬНЫЙ ГАЗ.
ТЕМПЕРАТУРА.
УРАВНЕНИЕ
МЕНДЕЛЕЕВА-КЛАПЕЙРОНА**

В природе идеального газа не существует.

В 1857г. немецкий физик Р.Клаузиус, используя модель идеального газа, впервые систематически изложил кинетическую теорию газов. Он ввел понятие о средних величинах, длине свободного пробега молекул, вычислил давление газа на стенке сосуда и среднюю длину пути между двумя столкновениями молекул.

Идеальным Клаузиус назвал газ, удовлетворяющий следующим условиям:

- 1. Объемом всех молекул газа можно пренебречь по сравнению с объемом сосуда, в котором этот газ находится.*
- 2. Время столкновения молекул друг с другом пренебрежимо мало по сравнению со временем между двумя столкновениями (т.е. времени свободного пробега молекул).*
- 3. Молекулы взаимодействуют между собой только при непосредственном соприкосновении, при этом они отталкиваются.*
- 4. Силы притяжения между молекулами идеального газа малы и ими можно пренебречь.*

Исходя из этих положений, Клаузиус смог вывести все свойства идеального газа и установить соотношения между его микроскопическими и макроскопическими параметрами.

Микроскопические параметры это индивидуальные характеристики газа.

К ним относятся:

- масса молекулы*
- ее скорость*
- импульс*
- кинетическая энергия поступательного движения.*

Макроскопические параметры это параметры газа как физического тела. К

ним относятся:

- температура газа*
- объем газа*
- давление газа.*

Основное уравнение МКТ газов

Рассмотрим газ в сосуде, одна из стенок которого представляет собой поршень, способный перемещаться без трения. Вычислим давление газа на поршень, имеющий площадь S . Поверхность поршня расположена перпендикулярно оси Ox . Давление газа возникает в результате столкновений молекул с поршнем.

1. при столкновении молекулы со стенкой сосуда проекция V_x изменяет свой знак, но считается постоянной по модулю, поэтому изменяется и импульс молекулы

$$\text{от } m_0 V_{1x} = -m_0 V_x$$

$$\text{до } m_0 V_{2x} = m_0 V_x$$

Изменение импульса молекулы показывает, что на нее действует сила \vec{F}

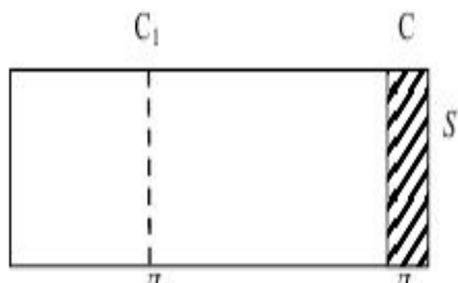
Изменение импульса молекулы равно импульсу силы

$$F \Delta t = m_0 V_{2x} - m_0 V_{1x} = m_0 V_x - (-m_0 V_x) = 2m_0 V_x$$

2. За время t все молекулы Z изменят свое направление, т.е.

$$F \Delta t = Z 2 m_0 V_x$$

3. Рассчитаем это число молекул



$l = C_1 C = V_x \Delta t$ - путь молекулы

$V = C_1 C D_1 D = V_x \Delta t S$ - объем

$N = n V_x \Delta t S$ - число молекул в объеме

$(n = \frac{N}{V}$ - концентрация)

Из этого числа молекул к стенке движется только половина, т.к. по любому направлению движутся в среднем равные количества, значит, за время t со стенкой взаимодействуют

$$Z = \frac{1}{2} n V_x \Delta t S$$

тогда

$$F \Delta t = \frac{1}{2} n V_x \Delta t S 2 m_0 V_x$$

отсюда

$$F = n m_0 V_x^2 S$$

4. Рассчитаем давление на стенки сосуда

$$p = \frac{F}{S} = \frac{n m_0 V_x^2 S}{S} = n m_0 V_x^2$$

Скорости всех молекул различны, для учета этого нужно взять среднее по всем направлениям значение квадрата скорости \bar{V}_x^2 вместо V_x^2 , тогда

$p = n m_0 V_x^2$, но $\bar{V}_x^2 = \frac{1}{3} \bar{V}^2$, тогда

$$p = \frac{1}{3} n m_0 \bar{V}^2$$

Эта формула носит название **основного уравнения МКТ**.

ТЕМПЕРАТУРА

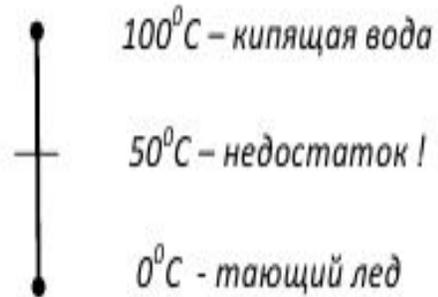
- величина, характеризующая состояние теплового равновесия.

1. Измерение температуры

- необходимо привести тело в тепловой контакт с термометром;
- термометр должен иметь массу значительно меньше массы тела;
- показания термометра следует отсчитывать после наступления теплового равновесия.

2. Термометры

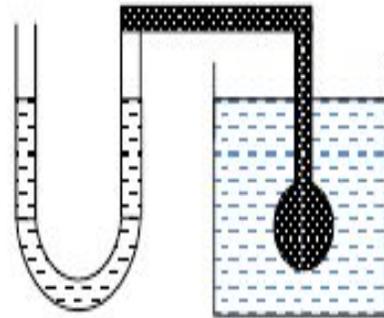
а. жидкостный (тепловое равновесие)



РАБОЧЕЕ ТЕЛО:

- ртуть от (- 38⁰C до 356⁰C)
- спирт от (- 114⁰C до 78⁰C)
- глицерин от (- 50⁰C до 2300⁰C)

б. газовый (изменение давления газа)



$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{T_1}{T_2}$$

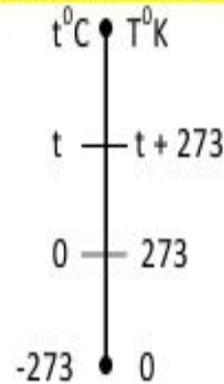
РАБОЧЕЕ ТЕЛО:

- водород → расширяются
- гелий →
- кислород → одинаково

3. Абсолютная шкала температур (в Международной системе единиц)

При $T = 0$ - E_k поступательного движения молекул равна нулю

Абсолютный нуль – достичь невозможно! T – [K] – Кельвин (Томсон); $\Delta T = \Delta t$



$$\frac{T_K}{T_{пл}} = \frac{P_K}{P_{пл}}$$

$$\frac{T_{пл} + 100}{T_{пл}} = 1,3661 - \text{экспериментально}$$

$$T_{пл.} = 273^{\circ}\text{K}$$

ТЕМПЕРАТУРА

1. Физический смысл температуры

$$p \sim n; p \sim T; p \sim nT; p = knT; \quad p = \frac{2}{3} n\bar{E}; \Rightarrow knT = \frac{2}{3} n\bar{E}$$

$$T = \frac{2}{3} \frac{1}{k} \bar{E}$$

Температурой называют скалярную величину, характеризующую интенсивность теплового движения молекул изолированной системы в условиях теплового равновесия, пропорциональную средней кинетической энергии поступательного движения молекул.

2. Постоянная Больцмана (экспериментально)

$$p = knT = k \frac{N}{V} T; \quad k = \frac{pV/N}{T}; \quad \frac{pV}{N} = kT = \text{const}$$

$$\frac{p_2 V_2}{N_2} = 5,14 \cdot 10^{-21} \text{ Дж} - \text{при } 100^\circ\text{C}; \quad \frac{p_1 V_1}{N_1} = 3,76 \cdot 10^{-21} \text{ Дж} - \text{при } 0^\circ\text{C};$$

Разность равна $1,36 \cdot 10^{-21}$ Дж

$$k = \frac{1,36 \cdot 10^{-21} \text{ Дж}}{100\text{К}} = 1,36 \cdot 10^{-23} \frac{\text{Дж}}{\text{К}}$$

3. Скорость молекул газа.

$$\bar{E} = \frac{3}{2} kT;$$

$$\bar{E} = \frac{m_0 \bar{V}^2}{2};$$

$$\bar{V} = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}}$$

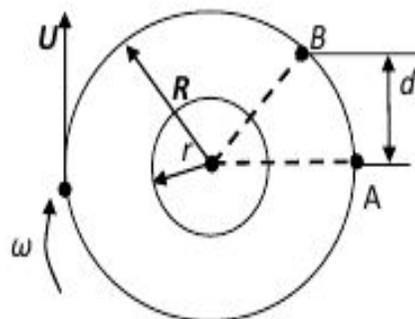
- средняя квадратичная скорость
(«три кота на мясо»)

$$V_{\text{водорода}} = 1800 \text{ м/с}$$

$$V_{\text{азота}} = 500 \text{ м/с}$$

Физики XIX в. – ошеломлены!

4. Опыт Штерна (1920г.)



$$d = U \cdot t = \omega \cdot R \cdot t$$

$$t = \frac{d}{\omega R}; \quad V = (R - r)t$$

$$V = \frac{\omega R(R - r)}{d}$$

$$V_{\text{серебра}} \approx 650 \text{ м/с}$$

Слой серебра в т.В размытый, т.к. скорости молекул различны

УРАВНЕНИЕ СОСТОЯНИЯ ИДЕАЛЬНОГО ГАЗА

- уравнение, связывающее P, V, T и характеризующее состояние данной системы газа.

$$P = nkT = \frac{N}{V}kT; \quad \frac{PV}{T} = Nk = \text{const};$$

$$\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2}$$

- **уравнение Клапейрона** (1834г.)
(для $m = \text{const}$)

$$N = \frac{m}{M}N_A; \quad \frac{PV}{T} = \frac{m}{M}kN_A;$$

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

- универсальная газовая постоянная

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

- **уравнение Клапейрона-Менделеева** (1874г.)
(для произвольной массы газа)

Нормальные условия

$$p_{\text{н.у.}} = 10^5 \text{ Па}$$

$$T_{\text{н.у.}} = 273 \text{ К}$$

$$V_0 = 22,4 \times 10^{-3} \text{ м}^3 - 1 \text{ моль}$$

Закон Авогадро. Из формулы $p = nkT$ следует, что при одинаковых давлениях и температурах концентрация молекул у всех газов одинакова и та же.

$$p = p_1 + p_2 \dots + p_n - \text{закон Дальтона}$$

давление смеси газов равно сумме давлений, производимых каждым газом в отдельности, если бы он один занимал весь сосуд