

**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  $\vec{F}$

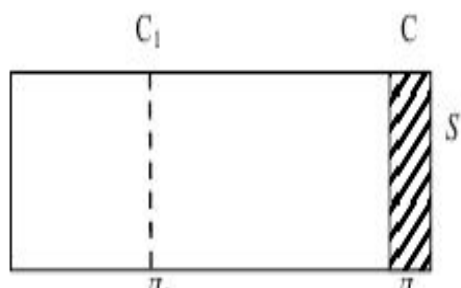
Изменение импульса молекулы равно импульсу силы

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

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

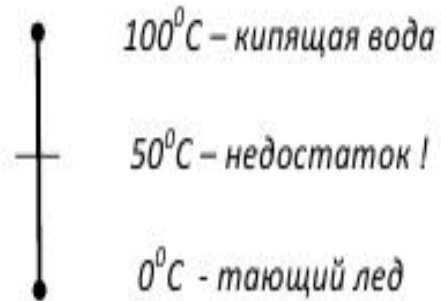
- величина, характеризующая состояние теплового равновесия.

### 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

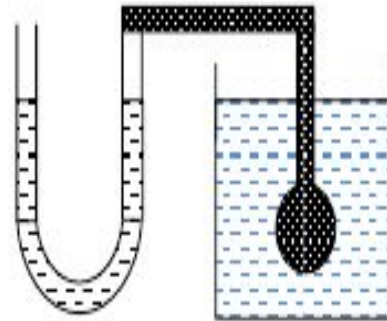
**а. жидкостный** (тепловое равновесие)



#### РАБОЧЕЕ ТЕЛО:

- ртуть от (- 38<sup>0</sup>C до 356<sup>0</sup>C)
- спирт от (- 114<sup>0</sup>C до 78<sup>0</sup>C)
- глицерин от (- 50<sup>0</sup>C до 2300<sup>0</sup>C)

**б. газовый** (изменение давления газа)



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

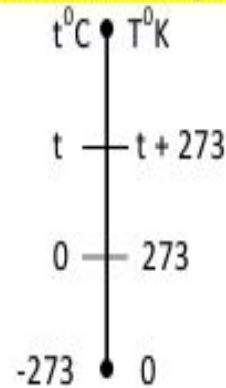
#### РАБОЧЕЕ ТЕЛО:

- 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.

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

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

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

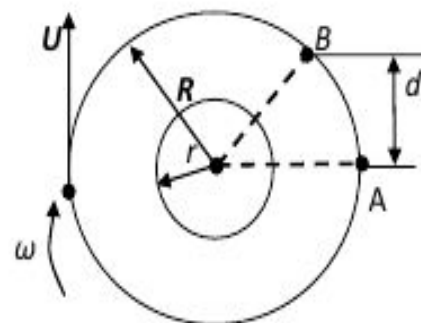
- средняя квадратичная скорость  
(«три кота на мясо»)

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

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

Физики XIX в. – ошеломлены!

### 4. Опыт Штерна (1920г.)



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

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

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

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

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