

***Молекулярно-кинетическая  
теория идеальных газов***

## Статистический и термодинамический методы исследования.

*Молекулярная физика и термодинамика* — разделы физики, в которых изучаются зависимости свойств тел от их строения, взаимодействия между частицами, из которых состоят тела, и характера движения частиц.

Для исследования физических свойств макроскопических систем, связанных с огромным числом содержащихся в них атомов и молекул, применяют два качественно различных и взаимно дополняющих друг друга метода: *статистический* (или *молекулярно-кинетический*) и *термодинамический*.

Статистический метод — это метод исследования систем из большого числа частиц, оперирующий *статистическими* закономерностями и *средними* (усредненными) значениями физических величин, характеризующих всю систему.

Этот метод лежит в основе *молекулярной физики* — раздела физики, изучающего строение и свойства вещества исходя из *молекулярно-кинетических* представлений, основывающихся на том, что все тела состоят из атомов, молекул или ионов находящихся в непрерывном хаотическом движении.

В дальнейшем мы будем использовать термин "молекула" имея ввиду мельчайшую структурную единицу (элемент) данного вещества.

Термодинамический метод — это метод исследования систем из большого числа частиц, оперирующий величинами, характеризующими систему в целом (*например, давление, объем, температура*) при различных превращениях энергии, происходящих в системе, не учитывая при этом внутреннего строения изучаемых тел и характера движения отдельных частиц.

Этот метод лежит в основе *термодинамики* — раздела физики, изучающего общие свойства макроскопических систем, находящихся в состоянии термодинамического равновесия, и процессы перехода между этими состояниями.

## Температура.

Температура — одно из основных понятий, играющих важнейшую роль в физике в целом.

*Температура* — физическая величина, характеризующая состояние термодинамического равновесия макроскопической системы и определяющая направление теплообмена между телами.

В настоящее время используют две температурные шкалы.

Международная практическая шкала (шкала Цельсия) градуированная в градусах Цельсия ( $^{\circ}\text{C}$ ) по двум *реперным точкам* — температурам замерзания и кипения воды при давлении  $1,013 \cdot 10^5$  Па, которые принимаются соответственно  $0^{\circ}\text{C}$  и  $100^{\circ}\text{C}$ .

Термодинамическая температурная шкала (шкала Кельвина), градуированная в градусах Кельвина (К) определяется по одной реперной точке — *тройной точке воды* — температуре, при которой лед, вода и насыщенный пар при давлении 609 Па находятся в термодинамическом равновесии. Температура этой точки по данной шкале равна 273,16 К. Температура  $T = 0$  К называется *нулем Кельвина*.

Термодинамическая температура ( $T$ ) и температура ( $t$ ) по Международной практической шкале связаны соотношением

$$T = 273,15 + t$$

*Нормальные условия:*  $T_0 = 273,15$  К =  $0^{\circ}\text{C}$ ,  $p_0 = 101325$  Па .

## Идеальный газ.

Физическая модель, согласно которой:

- 1) собственный объем молекул газа пренебрежимо мал по сравнению с объемом сосуда;
- 2) между молекулами газа отсутствуют силы взаимодействия;
- 3) столкновения молекул газа между собой и со стенками сосуда абсолютно упругие.

Исходя из этого идеальный газ можно рассматривать как совокупность беспорядочно движущихся молекул-шариков, имеющих пренебрежимо малый собственный объем и не взаимодействующих друг с другом на расстоянии.

*Законы, описывающие поведение идеальных газов* — законы Бойля-Мариотта, Авогадро, Дальтона, Гей-Люссака.

## Закон Авогадро.

Количество вещества  $\nu$  — физическая величина, определяемая числом специфических структурных элементов — молекул, атомов или ионов, из которых состоит вещество.

**Единица количества вещества — моль** — количество вещества системы, содержащей столько же структурных элементов, сколько содержится в 0,012 кг изотопа углерода  $^{12}\text{C}$ .

В одном моле различных веществ содержится одно и то же число молекул  $N_A$ , называемое числом

$$N_A = 6,022 \cdot 10^{23} \frac{1}{\text{моль}}$$

Авогадро.

**Закон Авогадро: моли любых газов при одинаковой температуре и давлении занимают одинаковые объемы.**

При нормальных условиях ( $T = T_0, p = p_0$ ) этот объем  $V_\mu$  (молярный объем) равен:

$$V_\mu = 22,41 \cdot 10^{-3} \frac{\text{м}^3}{\text{моль}}$$

**Молярная масса**  $\mu = \frac{m}{\nu}$  — это масса одного моля вещества. Отсюда:  $\nu = \frac{m}{\mu}$

**Единица молярной массы — килограмм на моль (кг/моль).**

### Уравнение состояния идеального газа.

**Уравнением состояния** термодинамической системы называется уравнение, которое связывает давление  $p$ , объем  $V$  и температуру  $T$  термодинамической системы, находящейся в состоянии термодинамического равновесия:

$$f(p, V, T) = 0$$

где каждая из переменных является функцией двух других.

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2} \quad \text{или} \quad \frac{pV}{T} = \text{const}$$

**Уравнение Менделеева-Клапейрона** — уравнение состояния для массы  $m$  идеального газа:

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

Если использовать **постоянную Больцмана**:  $k = \frac{R}{N_A} = 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{Дж}}{\text{К}}$ ,

то **уравнение состояния** примет вид:

$$p = \frac{RT}{V_\mu} = \frac{kN_A T}{V_\mu} = nkT$$

где  $n = \frac{N}{V} = \frac{N_A}{V_\mu}$  — **концентрация молекул** — число молекул в единице объема.

## Основное уравнение молекулярно-кинетической теории идеальных газов.

Пусть в сосуде объемом  $V$  находится идеальный газ массой  $m$ , состоящий из  $N$  молекул массой  $m_0$ , движущихся с одинаковыми скоростями  $v$ . Концентрация молекул в газе по определению  $n = N/V$ .

Если газ в объеме  $V$  содержит  $N$  молекул, движущихся со скоростями  $v_1, v_2, \dots, v_N$ , то целесообразно рассматривать *среднюю квадратичную скорость*, которая определяется как

$$\langle v_{кв} \rangle^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N v_i^2 = \frac{1}{N} \int_0^{v_{\max}} v^2 dN_v$$

*Основное уравнение молекулярно-кинетической теории идеальных газов:*

$$p = \frac{1}{3} n m_0 \langle v_{кв} \rangle^2 \quad \left| \quad pV = \frac{1}{3} N m_0 \langle v_{кв} \rangle^2$$