

# **Лекция -5**

## **Молекулярно- кинетическая теория газов.**

**Молекулярная физика** — раздел физики, изучающий строение и свойства вещества исходя из молекулярно-кинетических представлений, основывающихся на том, что все тела состоят из взаимодействующих между собой молекул, находящихся в непрерывном хаотическом движении.

- **Термодинамическая система** — совокупностью макроскопических тел, которые взаимодействуют и обмениваются энергией как между собой, так и с другими телами (внешней средой). Состояние системы задается **термодинамическими параметрами (параметрами состояния)** — совокупностью физических величин, характеризующих свойства термодинамической системы. Обычно в качестве параметров состояния выбирают температуру, давление и удельный объем.
- Параметры состояния системы могут изменяться. Любое изменение в термодинамической системе, связанное с изменением хотя бы одного из ее термодинамических параметров, называется **термодинамическим процессом**. Макроскопическая система находится в **термодинамическом равновесии**, если ее состояние с течением времени не меняется (предполагается, что внешние условия рассматриваемой системы при этом не изменяются).

- **Температура** — физическая величина, характеризующая состояние термодинамического равновесия макроскопической системы.
- В соответствии с решением XI Генеральной конференции по мерам и весам (1960) в настоящее время можно применять только две температурные шкалы — **термодинамическую** и **Международную практическую**, градуированные соответственно в кельвинах (К) и в градусах Цельсия (°С).
- В **Международной практической шкале** температура замерзания и кипения воды при давлении  $1,013 \cdot 10^5$  Па соответственно 0 и 100°С (**реперные точки**).
- **Термодинамическая температурная шкала** определяется по одной реперной точке, в качестве которой взята **тройная точка воды** (температура, при которой лед, вода и насыщенный пар при давлении 609 Па находятся в термодинамическом равновесии). Температура этой точки по термодинамической шкале равна 273,16 К .
- Градус Цельсия равен кельвину. В термодинамической шкале температура замерзания воды равна 273,15 К (при том же давлении, что и в Международной практической шкале), поэтому

$$T = 273,15 + t$$

- Температура  $T = 0$  К называется **нулем кельвин**. Анализ различных процессов показывает, что 0 К недостижим, хотя приближение к нему сколь угодно близко возможно.
- **Удельный объем  $v$**  — это объем единицы массы. Когда тело однородно, т. е. его плотность  $\rho = \text{const}$ , то  $v = V/m = 1/\rho$ . Так как при постоянной массе удельный объем пропорционален общему объему, то макроскопические свойства однородного тела можно характеризовать объемом тела.

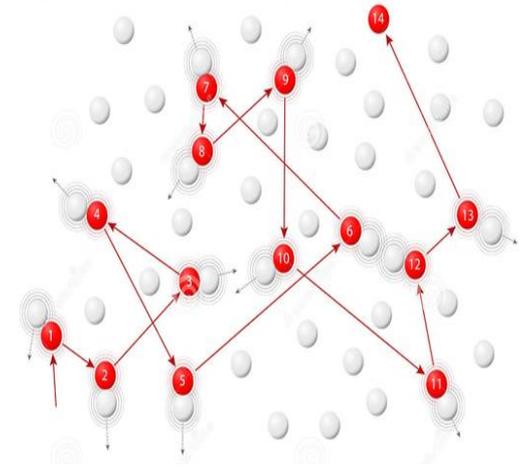
# Основные положения молекулярно-кинетической теории

- Все тела в природе состоят из молекул
- Молекулы находятся в непрерывном хаотическом (беспорядочном) движении
- Молекулы взаимодействуют между собой

# Опытные обоснования молекулярно-кинетической теории

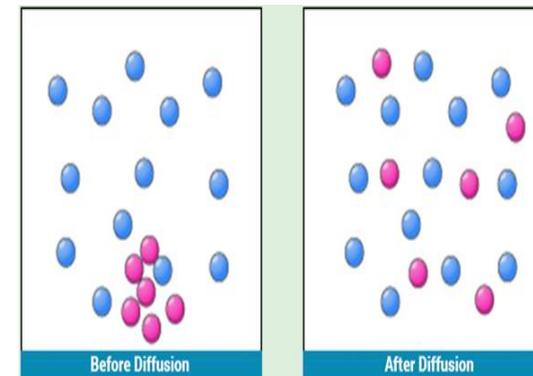
## Броуновское движение

Хаотическое движение взвешенных в жидкости или газе частиц под действием ударов молекул жидкости или газа («танец» пылинок в солнечном луче)



## Диффузия

Явление проникновения молекул одного вещества в межмолекулярные промежутки другого (подтверждает хаотическое движение молекул)



# Тепловое равновесие

Процесс продолжается  
достаточно долго

Два тела находятся в контакте друг с другом и изолированы от других тел

Более нагретое тело остывает, а более холодное-нагревается

Устанавливается тепловое равновесие

Дальнейшего остывания и нагревания тел не происходит

## Температура

Физическая величина, характеризующая степень нагретости тела

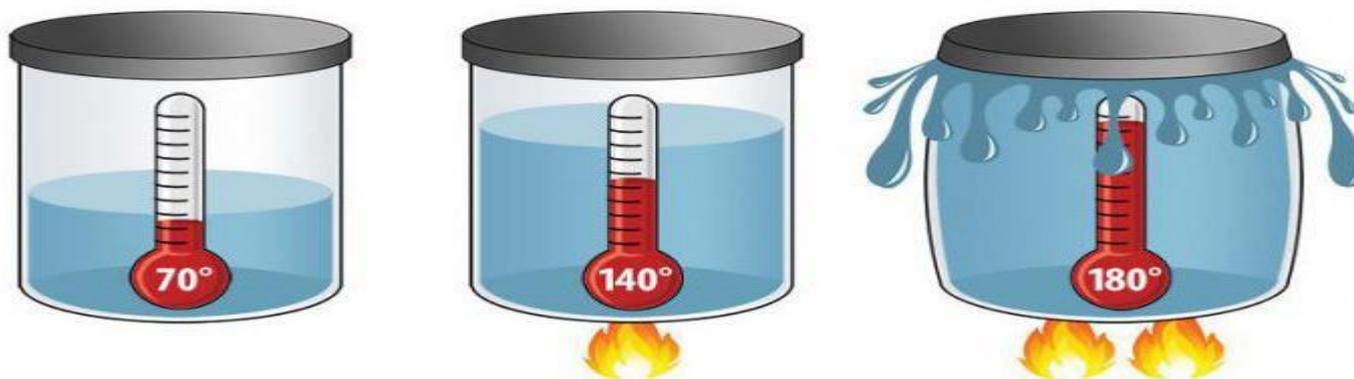
---

Температура одинакова во всех частях системы тел, находящихся в состоянии теплового равновесия

---

Температуру измеряют термометрами. Действие жидкостных (ртутных, спиртовых) термометров основано на тепловом расширении жидкости при нагревании

---



# Идеальный газ - идеализированная модель, согласно которой

Размеры молекул газа пренебрежимо малы по сравнению с расстоянием между ними

Между молекулами газа отсутствуют силы взаимодействия

Столкновения молекул газа между собой и со стенками сосуда абсолютно упругие

# Основное уравнение молекулярно-кинетической теории идеального газа

- Позволяет вычислить давление газа  $P$ , если известны масса  $m_0$  молекулы газа, среднее значение квадрата скорости молекул  $\overline{v^2}$  и концентрация  $n$  молекул

$$P = \frac{1}{3} n m_0 \overline{v^2}$$

$$P = \frac{2}{3} n \frac{m_0 \overline{v^2}}{2} = \frac{2}{3} n \bar{E}$$

$$\bar{E} = \frac{m_0 \overline{v^2}}{2} - \text{среднее значение кинетической энергии}$$

поступательного движения молекул идеального газа

## Температура – мера средней кинетической энергии молекул

- Опытный факт: для любых газов, находящихся в состоянии теплового равновесия  $\frac{PV}{N} = \text{const}$

$$\boxed{P = \frac{2}{3} n \bar{E}} \xrightarrow{n = \frac{N}{V}} P = \frac{2}{3} \frac{N}{V} \bar{E} \longrightarrow \frac{PV}{N} = \frac{2}{3} \bar{E}$$

Средняя кинетическая энергия молекул любых газов, находящихся в тепловом равновесии, одинаковы



Температура (Т)-это величина, пропорциональная средней кинетической энергии хаотического движения молекул, которую определяют по формуле

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

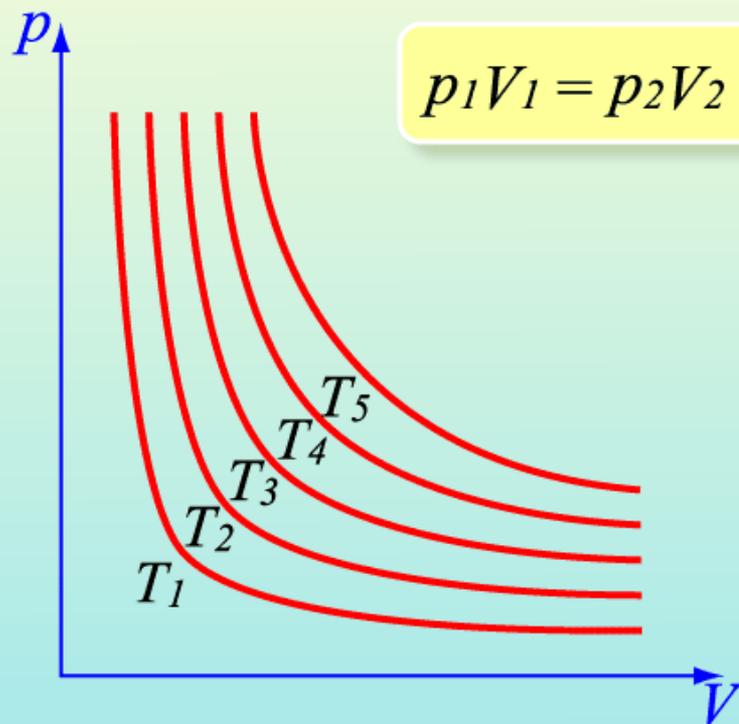
$k = 1,38 \cdot 10^{-23}$  Дж/К – постоянная Больцмана

# Соотношение между давлением, концентрацией молекул и абсолютной температурой

$$P = \frac{2}{3}n\bar{E} \quad \bar{E} = \frac{2}{3}kT \quad \longrightarrow \quad P = nkT$$

# Закон Бойля-Мариотта (изотермический процесс)

- Для данной массы газа при постоянной температуре произведение давления газа на его объем есть величина постоянная.



$$p_1V_1 = p_2V_2 = p_3V_3$$

$$pV = \text{const},$$
$$\text{при } T = \text{const},$$
$$m = \text{const}$$

$$T_5 > T_4 > T_3 > T_2 > T_1$$

- Кривая, изображающая зависимость между величинами  $p$  и  $V$ , характеризующими свойства вещества при постоянной температуре, называется **изотермой**. Изотермы представляют собой гиперболы, расположенные на графике тем выше, чем выше температура, при которой происходит процесс.

# Закон Гей-Люссака (изобарный процесс)

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} = \frac{V_3}{T_3}$$

$$m = \text{const}$$

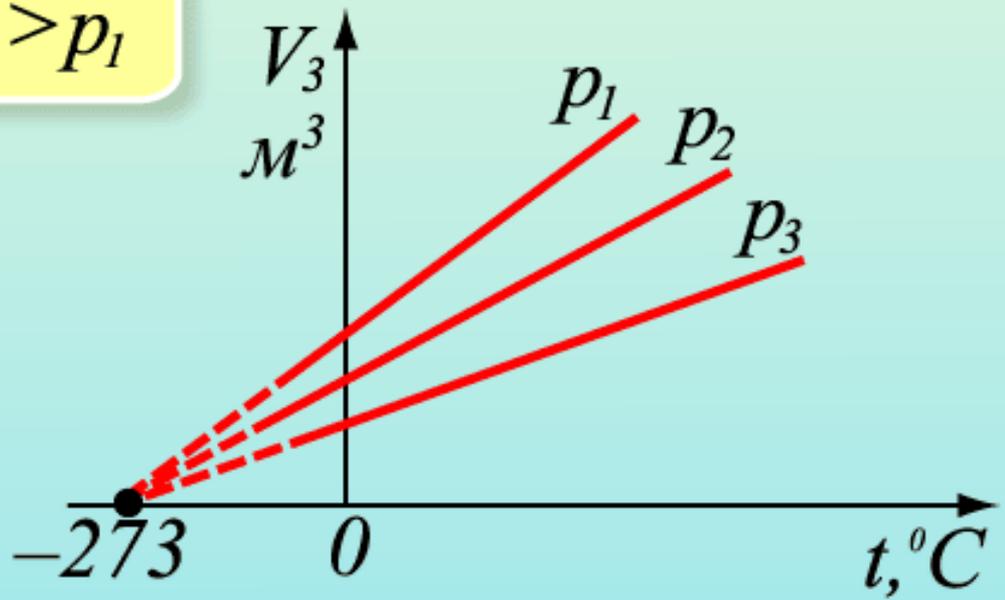
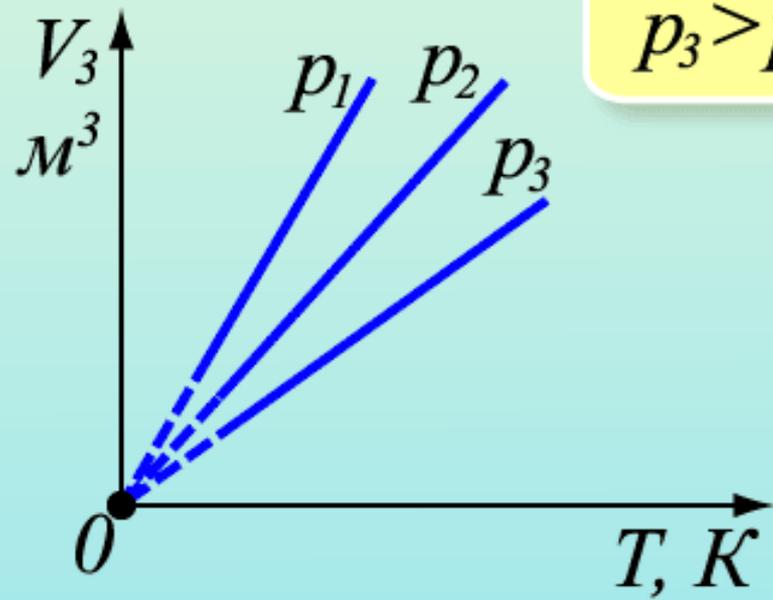
$$V = V_0(1 + \alpha t)$$

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

$$\alpha \approx \frac{1}{273} \text{ K}^{-1}$$

$V_0$  – объем газа при  $0^\circ\text{C}$

$$p_3 > p_2 > p_1$$



# Закон Шарля (изохорный процесс)

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2} = \frac{p_3}{T_3}$$

$$m = \text{const}$$

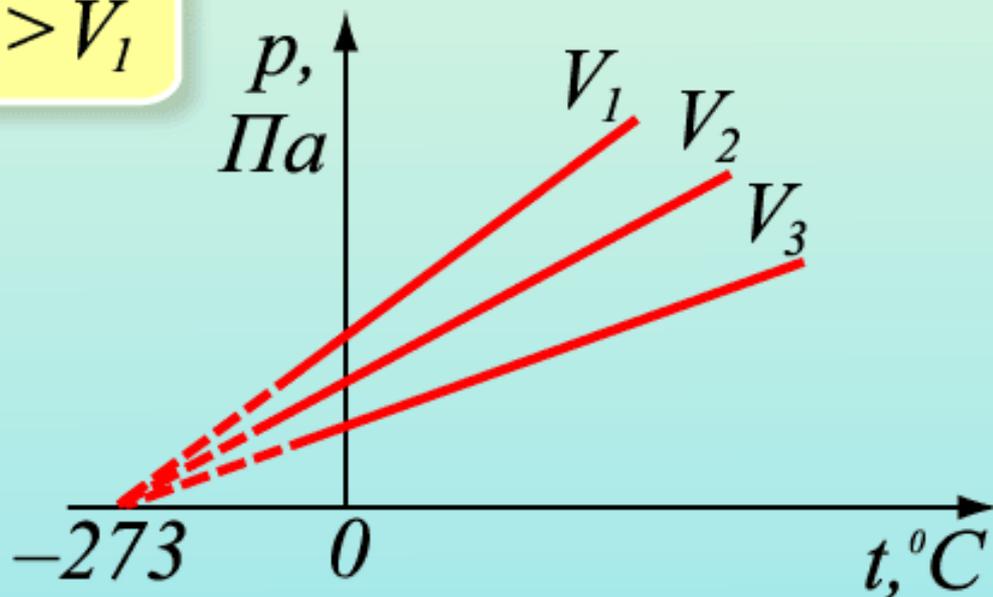
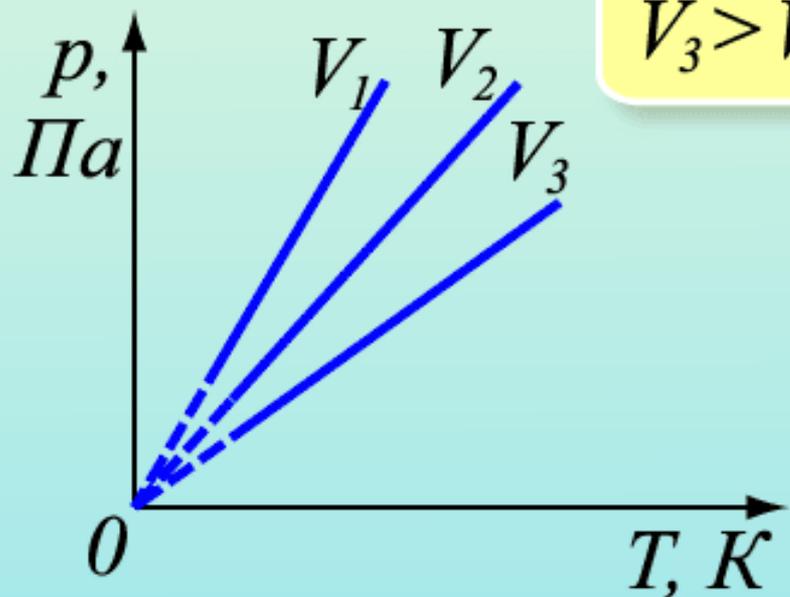
$$p = p_0(1 + \alpha t)$$

$$\alpha \approx \frac{1}{273} \text{ K}^{-1}$$

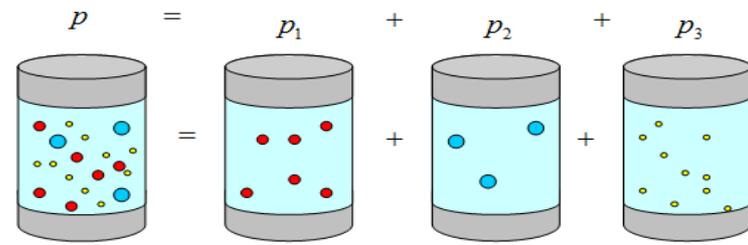
$$\frac{p}{T} = \text{const} \text{ при } V = \text{const}$$

$p_0$  – давление газа  $0^\circ\text{C}$

$$V_3 > V_2 > V_1$$



# Закон Дальтона



*Давление смеси идеальных газов равно сумме парциальных давлений  $P$ , входящих в неё газов*

$$P_{\text{см}} = P_1 + P_2 + \dots + P_n$$

( $P_1$  – давление, которое оказывал бы определённый газ из смеси, если бы он занимал весь объём).

# Уравнение

## Менделеева - Клапейрона

- Состояние некоторой массы газа определяется тремя термодинамическими параметрами: давлением  $p$ , объемом  $V$  и температурой  $T$ . Между этими параметрами существует определенная связь, называемая **уравнением состояния**, которое в общем виде дается выражением

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

где  
фу

$$\frac{pV}{T} = kN$$

$$N = \frac{m N_A}{M}$$

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

$$\frac{pV}{T} = \frac{m}{M} N_A k$$

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

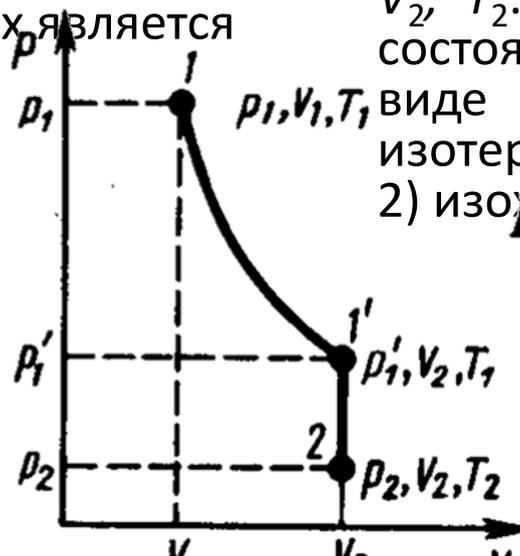
$R$  – универсальная газовая постоянная

$$\frac{pV}{T} = \frac{m}{M} R$$

Уравнение состояния идеального газа – уравнение Менделеева-Клапейрона.

- Французский физик и инженер Б. Клапейрон (1799—1864) вывел уравнение состояния идеального газа, объединив законы Бойля — Мариотта и Гей-Люссака. Пусть некоторая масса газа занимает объем  $V_1$ , имеет давление  $p_1$  и находится при температуре  $T_1$ . Эта же масса газа в другом произвольном состоянии характеризуется параметрами  $p_2$ ,  $V_2$ ,  $T_2$ . Переход из состояния 1 в состояние 2 осуществляется в виде двух процессов: 1) изотермического (изотерма 1–1'), 2) изохорного (изохора 1'–2).

ных является



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

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

$$pV/T = B = \text{const.}$$