

# ① ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ МОЛЕКУЛЯРНО-КИНЕТИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ (МКТ)

## I положение

Все тела (вещества) состоят из частиц (молекул, атомов, ионов...), между которыми есть промежутки.

### Опытные обоснования:

- крошение вещества
- испарение жидкостей
- смешивание веществ; диффузия
- фотографии туннельного микроскопа

## II положение

Частицы находятся в постоянном, беспорядочном (хаотичном) движении (тепловое движение)

### Опытные обоснования:

1) испарение (вылет частиц с поверхности вещества)

2) Диффузия

самопроизвольное проникновение частиц одного вещества в промежутки между частицами другого вещества (чем больше температура, тем быстрее проходит диффузия)

#### в газах

проходит быстро (мин.)  
[распространение запаха]

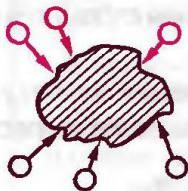
#### в жидкостях

проходит медленно  
(мин. — часы)  
[растворение краски  
в воде]

#### в твердых телах

проходит очень  
медленно (годы)  
[слипание отшлифованных  
пластин металла]

3) Броуновское  
движение



1905 г.  
**Эйнштейн**  
(физик)  
(объяснил явление)

хаотическое движение взвешанных в жидкости или газе частиц под действием нескомпенсированных ударов молекул жидкости или газа



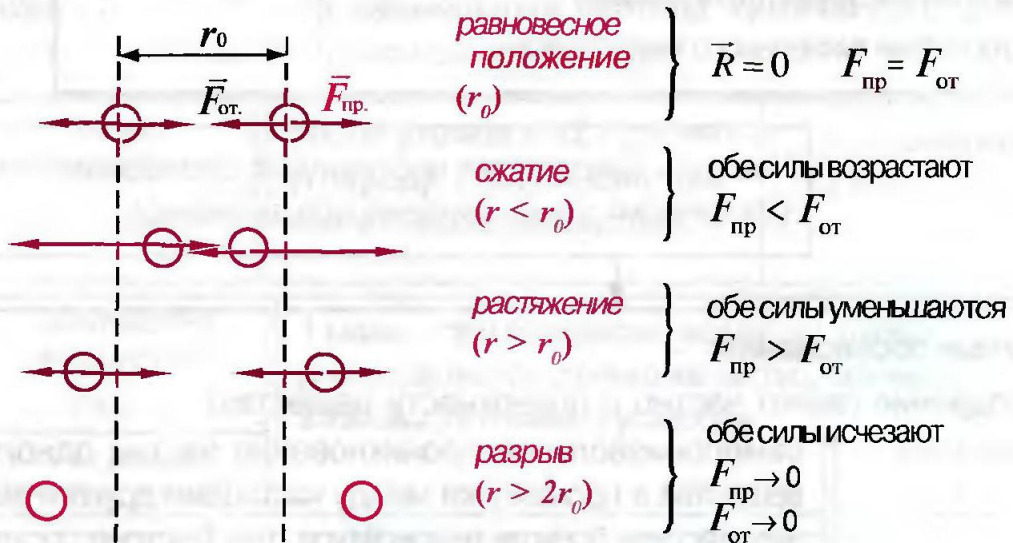
1827 г.  
**Броун** (ботаник)  
(открыл явление)

### III положение

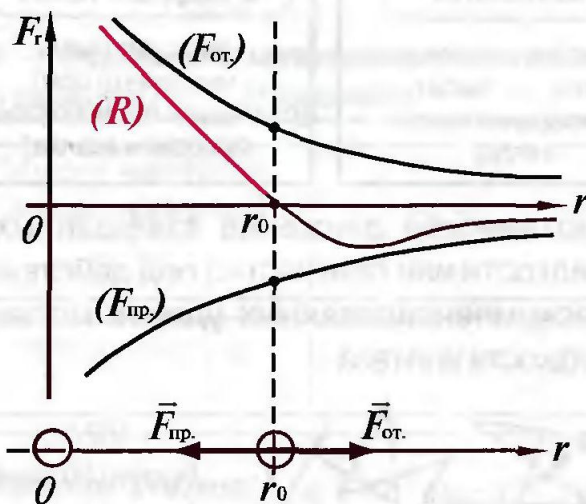
Между частицами существует межмолекулярное взаимодействие (притяжение и отталкивание)

#### Опытные обоснования:

- сохранение формы твердых тел ( $F_{\text{пр}}$ )
- наличие промежутков между частицами ( $F_{\text{от}}$ )
- упругость тел ( $F_{\text{пр}}$  и  $F_{\text{от}}$ )
- слипание тел с отшлифованными поверхностями



В разных веществах разные  $r_0$  и  $F_{\text{пр}}$ ,  $F_{\text{от}}$



#### Зависимость молекулярных сил от расстояния между молекулами

силы являются

#### короткодействующими

- при расстояниях, превышающих 2-3 диаметра молекулы сила отталкивания равна нулю; сила притяжения стремится к нулю

- при сближении молекул ( $r < r_0$ ) обе силы резко возрастают, но  $F_{\text{от}} > F_{\text{пр}}$

## ② ИДЕАЛЬНЫЙ ГАЗ. ОСНОВНОЕ УРАВНЕНИЕ МКТ

1) **Идеальный газ** || физическая модель реального газа, в которой не учитываются взаимодействия между молекулами ( $F_{пр} = 0; F_{от} = 0$ )

### 2) Основные положения МКТ идеального газа

- 1) молекулы — материальные точки (абсолютно упругие шарики);
- 2) движение молекул подчиняется законам Ньютона;
- 3) нет взаимодействия между молекулами ( $E_p = 0; E_k \neq 0$ );
- 4) молекулы двигаются хаотично;
- 5) даже в самом маленьком рассматриваемом объеме содержится большое количество частиц (молекул), сравнимое с числом Авогадро

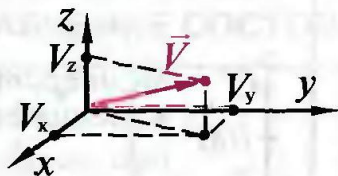
### 3) Следствия из хаотичного движения молекул

1) все молекулы двигаются с разными скоростями, поэтому вводим понятие средняя скорость  $\bar{V}(\bar{V}_x; \bar{V}_y; \bar{V}_z)$

2) все направления равноправны  $\bar{V}_x = \bar{V}_y = \bar{V}_z$

3) молекулы распределяются по объему равномерно

4) среднее значение квадрата скорости

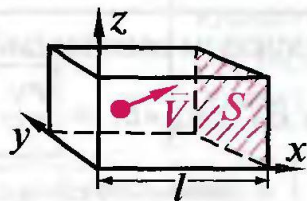


$$\bar{V}^2 = \bar{V}_x^2 + \bar{V}_y^2 + \bar{V}_z^2$$

$$\bar{V}_x^2 = \frac{1}{3} \bar{V}^2$$

$$\bar{V}^2 = 3\bar{V}_x^2 = 3\bar{V}_y^2 = 3\bar{V}_z^2$$

### 4) Основное уравнение МКТ



**давление газа:** — сумма сил ударов молекул на единицу площади

$$P = \frac{N \cdot F_1}{S} \quad (N - \text{число ударивших молекул}; F_1 - \text{сила удара одной молекулы})$$

$$N = \frac{1}{2} n \bar{V}_x \Delta t \cdot S \quad (N = n \cdot V = n \cdot l \cdot S)$$

$$F_1 = \frac{2m_0 \bar{V}_x}{\Delta t} \quad (\text{II з-н Ньютона (импульс)})$$

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

(связь между макроскопическими и микроскопическими мирами)

$$P = \frac{1}{3} \rho \bar{V}^2$$

$\rho$  — плотность газа

$$P = \frac{2}{3} n \bar{E}_k$$

$\bar{E}_k$  — средняя кинетическая энергия молекулы

### ③ ТЕМПЕРАТУРА. ЭНЕРГИЯ ТЕПЛОВОГО ДВИЖЕНИЯ МОЛЕКУЛ

1) **Макроскопические параметры** || параметры, характеризующие состояние тела (газа) без учета молекулярного трения

- давление  $P$  [Па]
- объем  $V$  [м<sup>3</sup>]
- температура  $T$  [К]

**Теплообмен** || передача тепла (энергии) от одного тела (менее нагретого) к другому (более нагретому)

**Тепловое равновесие** || это такое состояние системы тел, при котором макроскопические параметры остаются постоянными сколь угодно долго, причем температура одинакова у всех тел системы

2) **Температура** || физическая величина, характеризующая отклонение тела от теплового равновесия с другим телом, температура которого принята за ноль (степень нагретости)

$$t [^{\circ}\text{C}]; T [\text{K}]$$



3) **Опытный факт** для газов, находящихся в тепловом равновесии:

$$\text{при } t = 0^{\circ}\text{C}: \frac{PV}{N} = \text{const} = \theta_1 = 3,76 \cdot 10^{-21} \text{ Дж}$$

$$\text{при } t = 100^{\circ}\text{C}: \frac{PV}{N} = \text{const} = \theta_2 = 5,14 \cdot 10^{-21} \text{ Дж}$$

$$\text{так как } P = \frac{2}{3} n \bar{E}_k \Rightarrow \frac{PV}{N} = \frac{2}{3} \bar{E}_k$$

то доказано, что температура является мерой средней кинетической энергии молекул

$$\frac{PV}{N} \sim \bar{E}_k \sim T \Rightarrow \frac{PV}{N} = kT$$

$$kT_2 - kT_1 = \theta_2 - \theta_1 \Rightarrow k = \frac{\theta_2 - \theta_1}{T_2 - T_1}$$

постоянная Больцмана

$$k = 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{Дж}}{\text{К}}$$

#### 4) Абсолютная температура. Шкала Кельвина

<b>Абсолютная температура</b> $T$ [К]	температура, измеренная по шкале Кельвина (отражает физический смысл температуры)
<b>Абсолютный ноль</b> $T = 0$ [К]	температура, при которой прекращается движение молекул (недостижим, так как материя не существует без движения)

<p>при <math>t = 0^\circ\text{C}</math></p> <p><math>\theta_1 = kT_1 = 3,76 \cdot 10^{-21}</math> Дж</p> <p><math>T_1 = \frac{3,76 \cdot 10^{-21}}{1,38 \cdot 10^{-23}} \approx 273,15\text{К}</math></p>	<p><u>Шкала Кельвина</u></p> <p><math>1\text{ К} = 1^\circ\text{C}</math></p> <p><math>T = t^\circ + 273</math></p>	
---	---	--

5)  $\frac{PV}{N} = kT \Rightarrow P = \frac{N}{V}kT \Rightarrow P = nkT$      $\frac{PV}{N} = \frac{2}{3}\bar{E}_k = kT \Rightarrow \bar{E}_k = \frac{3}{2}kT$

#### ④ УРАВНЕНИЕ СОСТОЯНИЯ ИДЕАЛЬНОГО ГАЗА

$\left. \begin{aligned} P &= nkT \\ n &= \frac{N}{V} \\ N &= \frac{m}{\mu} \cdot N_a \end{aligned} \right\} P = \frac{m \cdot N_a}{\mu \cdot V} \cdot kT$	$PV = \frac{m}{\mu} RT$	<p><u>Уравнение Менделеева-Клапейрона (состояние газа)</u></p>
<p>уравнение состояния идеального газа (Менделеева-Клапейрона) связывает между собой основные параметры, характеризующие состояние газа: давление (<math>P</math>), объем (<math>V</math>) и температуру (<math>T</math>)</p>		
<p><u>Универсальная газовая постоянная</u></p>	$R = 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{К} \cdot \text{моль}}$	$R = N_a \cdot k$

#### Изменение состояния газа

<p><math>P_1, V_1, T_1</math> — первоначальное состояние</p> <p><math>P_2, V_2, T_2</math> — конечное состояние</p> <p><math>m = \text{const}</math></p>	$\frac{P_1 V_1}{P_2 V_2} = \frac{T_1}{T_2}$
--	---

**Изопроцессы** — процессы, происходящие при постоянном значении одного из макропараметров ( $P, V, T$ )

## ⑤ ГАЗОВЫЕ ЗАКОНЫ (ИЗОПРОЦЕССЫ)

<b>Изотермический процесс</b>	$T = \text{const}$ $m = \text{const}$ $\frac{P_1}{P_2} = \frac{V_2}{V_1}$ $PV = \text{const}$ $P = \frac{\text{const}}{V}$ $P \sim \frac{1}{V}$	<p>1667 г. Бойль (англ.)                      Мариотт (фр.)  <u>Закон Бойля-Мариотта</u></p> <p>Для данной массы газа при постоянной температуре произведение давления на объем есть величина постоянная</p> $PV = \text{const}$	
<b>Изобарный процесс</b>	$P = \text{const}$ $m = \text{const}$ $\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2}$ $V = \text{const} \cdot T$ $V \sim T$	<p>1802 г.                      Гей-Люссак (фр.)  <u>Закон Гей-Люссака</u></p> <p>Объем данной массы газа при постоянном давлении зависит от температуры по линейному закону</p> $\frac{V}{T} = \text{const}$ $V = V_0 (1 + \alpha \cdot t^\circ)$	
<b>Изохорный процесс</b>	$V = \text{const}$ $m = \text{const}$ $\frac{P_1}{P_2} = \frac{T_1}{T_2}$ $P = \text{const} \cdot T$ $P \sim T$	<p>1787 г. Шарль (фр.)  <u>Закон Шарля</u></p> <p>Для газа данной массы при постоянном объеме отношение давления к температуре постоянно</p> $\frac{P}{T} = \text{const}$ $P = P_0 (1 + \alpha \cdot t^\circ)$	