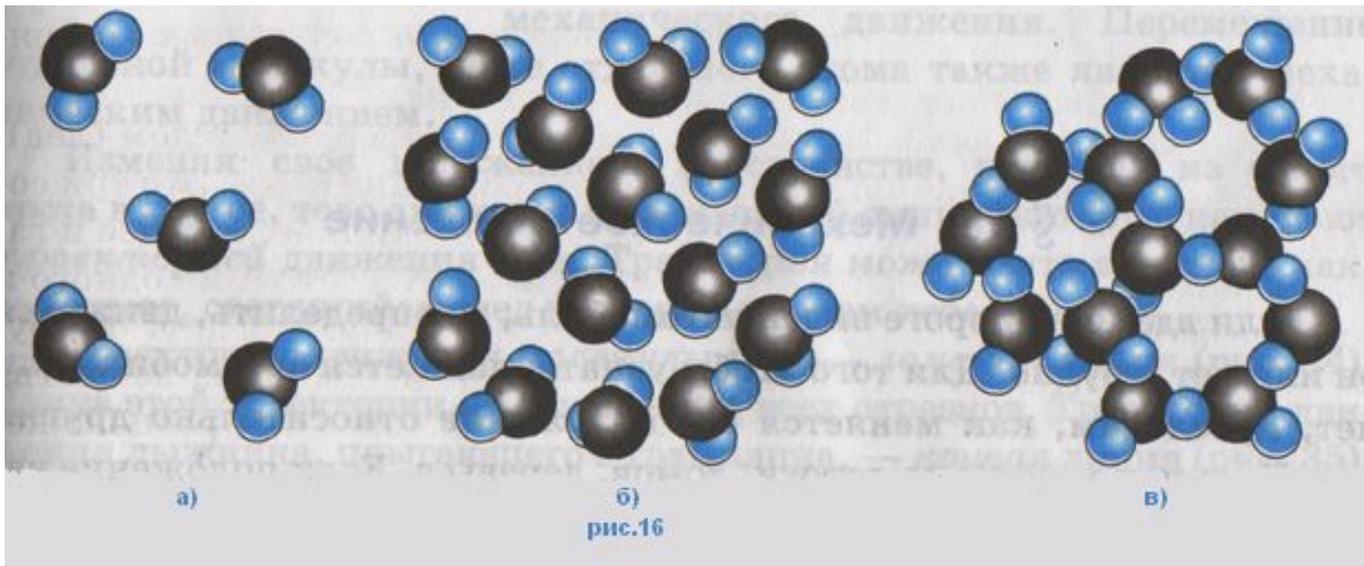


МОЛЕКУЛЯРНО- КИНЕТИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ ИДЕАЛЬНЫХ ГАЗОВ

- **Основные положения МКТ**
- **Уравнение состояния идеального газа**
- **Изопроцессы в газах**
- **Давление газа**
- **Молекулярно-кинетический смысл температуры**
- **Равномерное распределение кинетической энергии по степеням свободы молекулы**

АГРЕГАТНЫЕ СОСТОЯНИЯ

- 1) $E_{\text{к}} \gg E_{\text{п}} \rightarrow$ газообразное состояние
- 2) $E_{\text{к}} \approx E_{\text{п}} \rightarrow$ жидкое состояние
- 3) $E_{\text{к}} \ll E_{\text{п}} \rightarrow$ твердое состояние

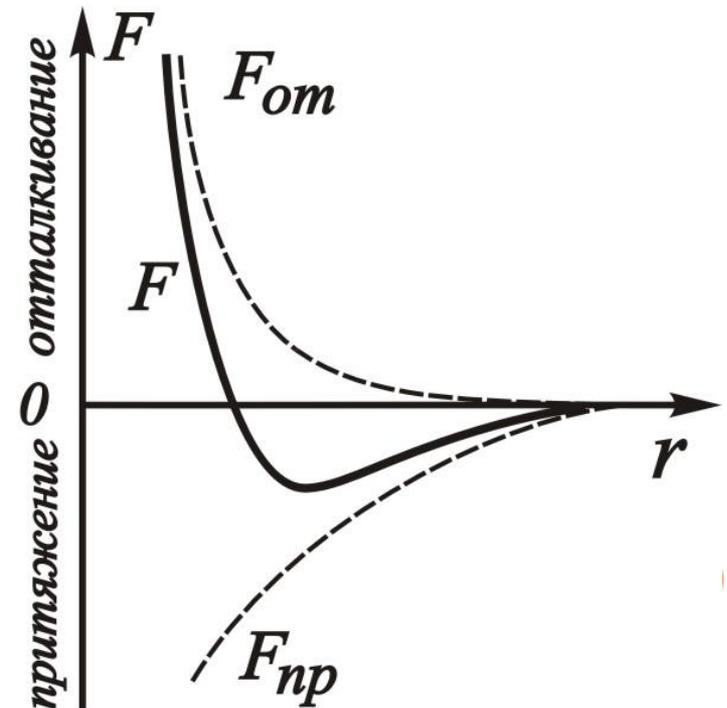


Вода в различных состояниях

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ МОЛЕКУЛЯРНО-КИНЕТИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ

- Все тела состоят молекул и атомов.
- Атомы и молекулы участвуют в непрерывном тепловом хаотическом движении.
- Между атомами и молекулами действуют силы притяжения и отталкивания

Вид зависимости силы F взаимодействия между двумя молекулами в зависимости от расстояния между их центрами r .



ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ МОЛЕКУЛЯРНО-КИНЕТИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ

Масса легких атомов и молекул $\sim 10^{-27}$ кг.

Относительная атомная масса:

$$A_r = \frac{m_{at}}{1/12 m_{C^{12}}} \quad [1]$$

Относительная молекулярная масса:

$$M_r = \frac{m_{mol}}{1/12 m_{C^{12}}} \quad [2]$$

$m_{C^{12}}$ - масса изотопа углерода 12

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ МОЛЕКУЛЯРНО-КИНЕТИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ

1 моль – это такое количество вещества, в котором содержится число частиц, равное числу атомов в 12 г углерода C^{12} .

Число частиц, содержащихся в одном моле любого вещества называется **числом Авогадро**:

$$N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$$

ν (моль) - количество вещества

N – число частиц вещества

μ - молярная масса

$$\nu = \frac{m}{\mu} = \frac{N}{N_A} \quad [3]$$

$$\mu = M_r \text{ (г/моль)}$$

ИЗОПРОЦЕССЫ В ИДЕАЛЬНЫХ ГАЗАХ

Изотермический

процесс:

$T = \text{const.}$

$$PV = \text{const}$$

Изобарный

процесс:

$P = \text{const.}$

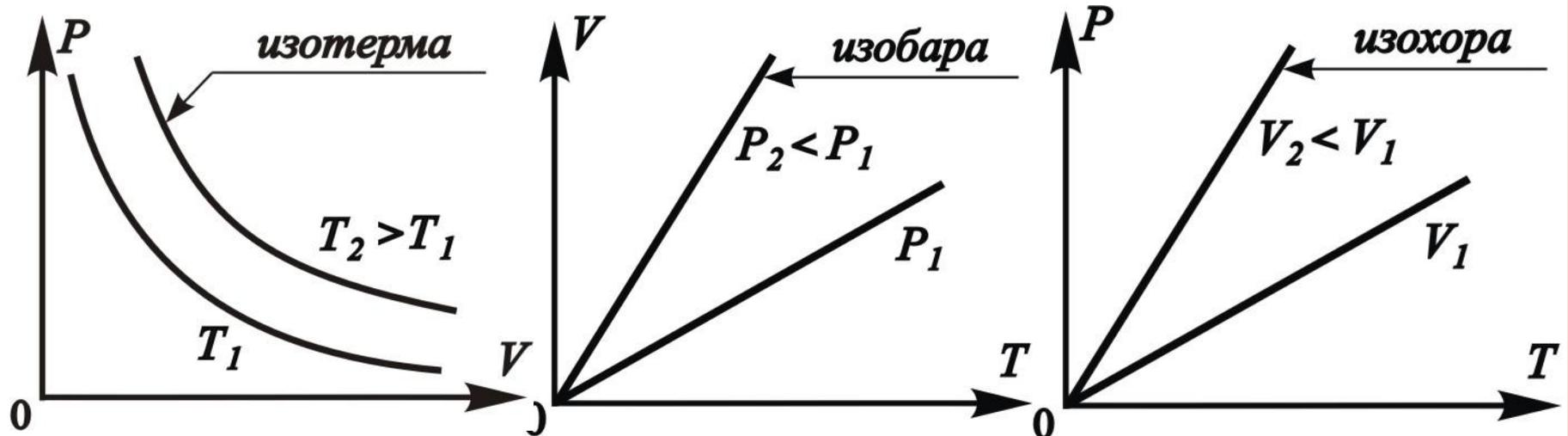
$$\frac{V}{T} = \text{const}$$

Изохорный

процесс:

$V = \text{const.}$

$$\frac{P}{T} = \text{const}$$



УРАВНЕНИЕ СОСТОЯНИЯ ИДЕАЛЬНОГО ГАЗА

Уравнение состояния – уравнение, связывающее параметры состояния термодинамической системы.

Идеальный газ – это газ, молекулы которого можно считать материальными точками, т. е. расстояния между ними намного превосходят их размеры и взаимодействием между молекулами можно пренебречь.

$$PV = \nu RT \quad [4]$$

$R = 8,31$ Дж/моль · К – универсальная газовая постоянная

УРАВНЕНИЕ СОСТОЯНИЯ ИДЕАЛЬНОГО ГАЗА

Уравнение (4) можно записать в виде:

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

[5] или

$$PV = \frac{N}{N_A} RT$$

[6]

Концентрация вещества: $n = \frac{N}{V}$ [1/м³] 

$$P = nkT$$

[7]

Рассмотрим смесь идеальных газов.

Парциальное давление – это давление, оказываемое на стенки сосуда только молекулами данного сорта

СМЕСЬ ИДЕАЛЬНЫХ ГАЗОВ

Закон Дальтона: давление смеси идеальных газов равно сумме парциальных давлений этих газов

$$P = \sum_i P_i \quad [8]$$

Уравнение состояния смеси идеальных газов:

$$PV = \frac{m}{\mu_{эфф}} RT \quad [9]$$

Эффективная молярная масса газовой смеси:

$$\mu_{эфф} = \frac{\sum_i m_i}{\sum_i \nu_i} = \frac{\sum_i m_i}{\sum_i \frac{m_i}{\mu_i}}$$

ОСНОВНОЕ УРАВНЕНИЕ МОЛЕКУЛЯРНО-КИНЕТИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ

Давление газа возникает вследствие ударов молекул о стенки сосуда и определяется средним по времени импульсом передаваемым стенке.

Найдем связь между давлением идеального газа и средней скоростью движения молекул.

Рассмотрим идеальный газ в кубическом сосуде со стороной L . Положим:

- скорость молекул одинакова и равна средней v ;
- все направления движений молекул равновероятны;
- молекулы не сталкиваются друг с другом, а только со стенками сосуда.

ОСНОВНОЕ УРАВНЕНИЕ МОЛЕКУЛЯРНО-КИНЕТИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ

Пусть i -ая молекула ударяется о стенку в плоскости yz .

$$\Delta p_{xi} = 2m_0 v_{xi}$$

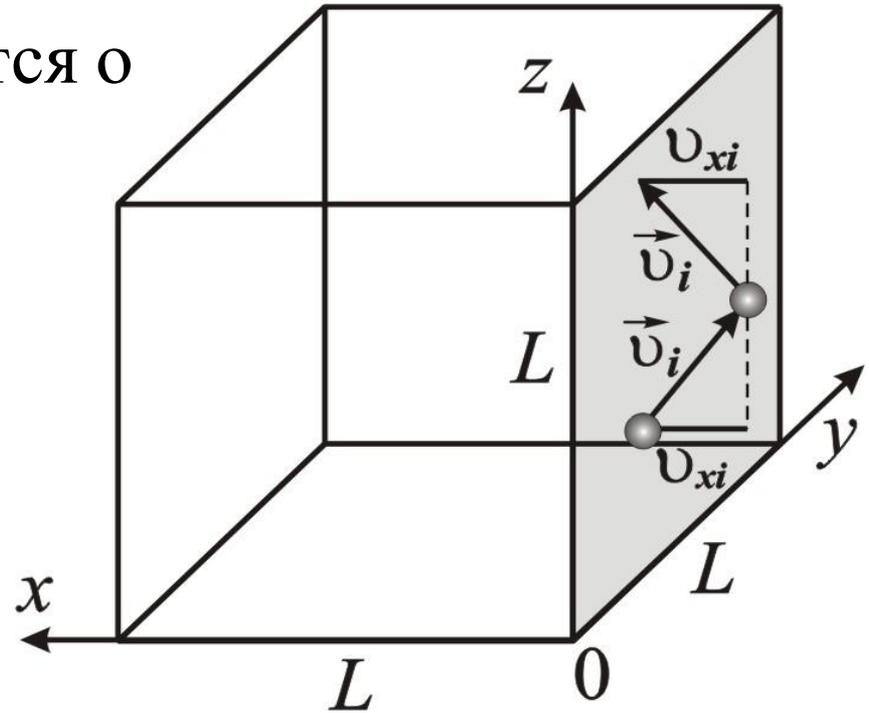
$$\Delta \tau_{xi} = \frac{2L}{v_{xi}}$$

m_0 – масса молекулы;

Δp_{xi} – изменение импульса в проекции на ось x ;

v_x – проекция скорости молекулы на ось x ;

$\Delta \tau_{xi}$ – среднее время между двумя последовательными соударениями об yz .



ОСНОВНОЕ УРАВНЕНИЕ МОЛЕКУЛЯРНО-КИНЕТИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ

Средняя сила с которой молекула действует на стенку уз (согласно 2-му закону Ньютона):

$$F_{xi} = \frac{\Delta p_{xi}}{\Delta \tau_{xi}} = \frac{m_0 v_{xi}^2}{L}$$

Найдем давление как отношение силы к площади стенки $S = L^2$:

$$P_x = \frac{F_x}{L^2} = \frac{m_0 v_{xi}^2}{V} \quad (V = L^3)$$

Аналогичные уравнения запишем для давления вдоль осей y и z :

$$P_y = \frac{m_0 v_{yi}^2}{V}; \quad P_z = \frac{m_0 v_{zi}^2}{V}$$

ОСНОВНОЕ УРАВНЕНИЕ МОЛЕКУЛЯРНО-КИНЕТИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ

Все направления движений молекул равновероятны

$$\rightarrow P_{xi} = P_{yi} = P_{zi} = P_i$$

Просуммируем давления P_{xi} , P_{yi} , P_{zi} :

$$3P_i = \frac{m_0 (v_{xi}^2 + v_{yi}^2 + v_{zi}^2)}{V} = \frac{m_0 v_i^2}{V} \rightarrow$$

$$P = \frac{1}{3} \frac{m_0 \sum_{i=1}^N v_i^2}{V} = \frac{1}{3} m_0 \frac{N}{V} \langle v^2 \rangle \quad [10]$$

$\langle v^2 \rangle$ – среднее значение квадрата скорости молекул

ОСНОВНОЕ УРАВНЕНИЕ МОЛЕКУЛЯРНО-КИНЕТИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ

Среднеквадратичная скорость молекулы:

$$v_{кв} = \sqrt{\frac{\sum_i v_i^2}{N}} = \sqrt{\langle v^2 \rangle} \longrightarrow [10] \longrightarrow$$

$$P = \frac{1}{3} m_0 n v_{кв}^2$$

[11]

– формула Клаузиуса –
основное уравнение МКТ
идеальных газов.

МОЛЕКУЛЯРНО-КИНЕТИЧЕСКИЙ СМЫСЛ ТЕМПЕРАТУРЫ

В физике применяется абсолютная термодинамическая шкала температур:

$$T = t^{\circ}C + 273,15 \quad [\text{K}] \quad - \text{термодинамическая температура}$$

- $1^{\circ}\text{C} = 1 \text{ K}$
- $T = 0 \text{ K}$ – абсолютный ноль
- Современные методы охлаждения позволяют получать $T \sim 6 \cdot 10^{-12} \text{ K}$.

МОЛЕКУЛЯРНО-КИНЕТИЧЕСКИЙ СМЫСЛ ТЕМПЕРАТУРЫ

Найдем связь между среднеквадратичной скоростью и температурой.

$$[7] \quad P = nkT$$

$$[11] \quad P = \frac{1}{3} m_0 n v_{кв}^2$$

$$m_0 = \frac{\mu}{N_a}; \quad k = \frac{R}{N_a}$$

$$v_{кв} = \sqrt{\frac{3RT}{\mu}} \quad [12]$$

$$v_{кв} = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}}$$

Кинетическая энергия поступательного движения молекулы:

$$\tilde{\varepsilon}_{пост} = \frac{m_0 \langle v^2 \rangle}{2} \quad \Rightarrow [11] \quad \Rightarrow P = \frac{2}{3} \tilde{n} \tilde{\varepsilon}_{пост} \quad [13]$$

МОЛЕКУЛЯРНО-КИНЕТИЧЕСКИЙ СМЫСЛ ТЕМПЕРАТУРЫ

Найдем связь между $\tilde{\varepsilon}_{\text{пост}}$ и температурой.

$$[13] \quad P = \frac{2}{3} \tilde{n} \tilde{\varepsilon}_{\text{пост}}$$

$$[7] \quad P = nkT$$



$$\tilde{\varepsilon}_{\text{пост}} = \frac{3}{2} kT \quad [14]$$

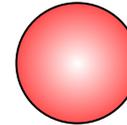
[14] 

Абсолютная температура есть мера кинетической энергии поступательного движения молекул.

СТЕПЕНИ СВОБОДЫ МОЛЕКУЛЫ

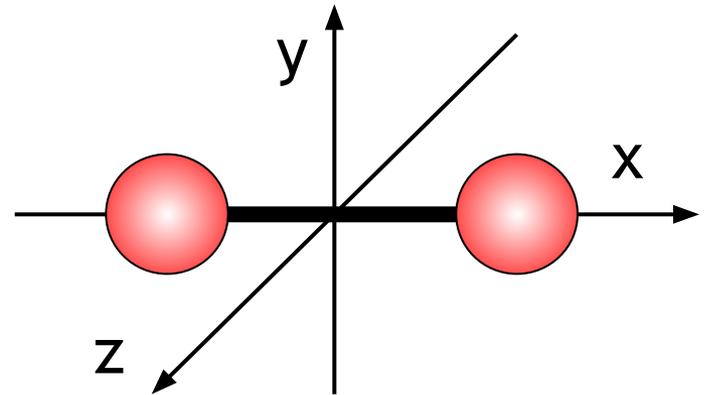
1) одноатомная молекула:

$$i = i_{\text{пост}} = 3$$



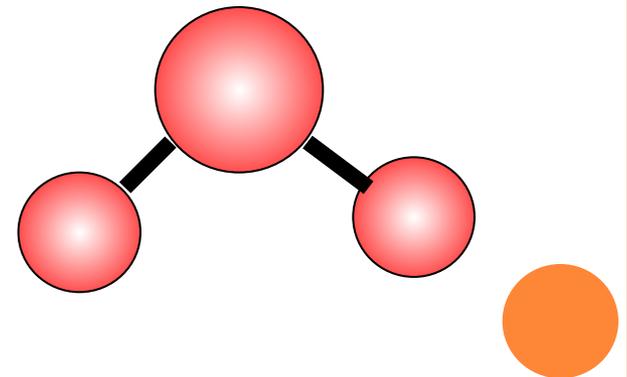
2) двухатомная молекула:

$$i = i_{\text{пост}} + i_{\text{вр}} = 3 + 2 = 5$$



3) многоатомная (нелинейная)
молекула:

$$i = i_{\text{пост}} + i_{\text{вр}} = 3 + 3 = 6$$



РАВНОМЕРНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ КИНЕТИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ПО СТЕПЕНЯМ СВОБОДЫ МОЛЕКУЛЫ

$$\bar{\varepsilon}_{\text{пост}} = \frac{3}{2} kT \quad [12]$$

Все направления движения
равновероятны

На каждую степень свободы поступательного движения молекулы одноатомного газа приходится в среднем кинетическая энергия, равная $\frac{1}{2}kT$.

Средняя кинетическая энергия, приходящаяся при тепловом равновесии на одну любую степень свободы молекулы, равна $\frac{1}{2} \cdot kT$.

Средняя кинетическая энергия одной молекулы:

$$\bar{\varepsilon} = \frac{i}{2} kT \quad [14]$$