

ЕГЭ. ФИЗИКА  
РЕПЕТИЦИЯ ПО ФИЗИКЕ  
*Владимир Петрович Сафронов* 2015  
г. Ростов-на-Дону  
звоните т. 8 928 111 7884  
пишите [safron-47@mail.ru](mailto:safron-47@mail.ru)

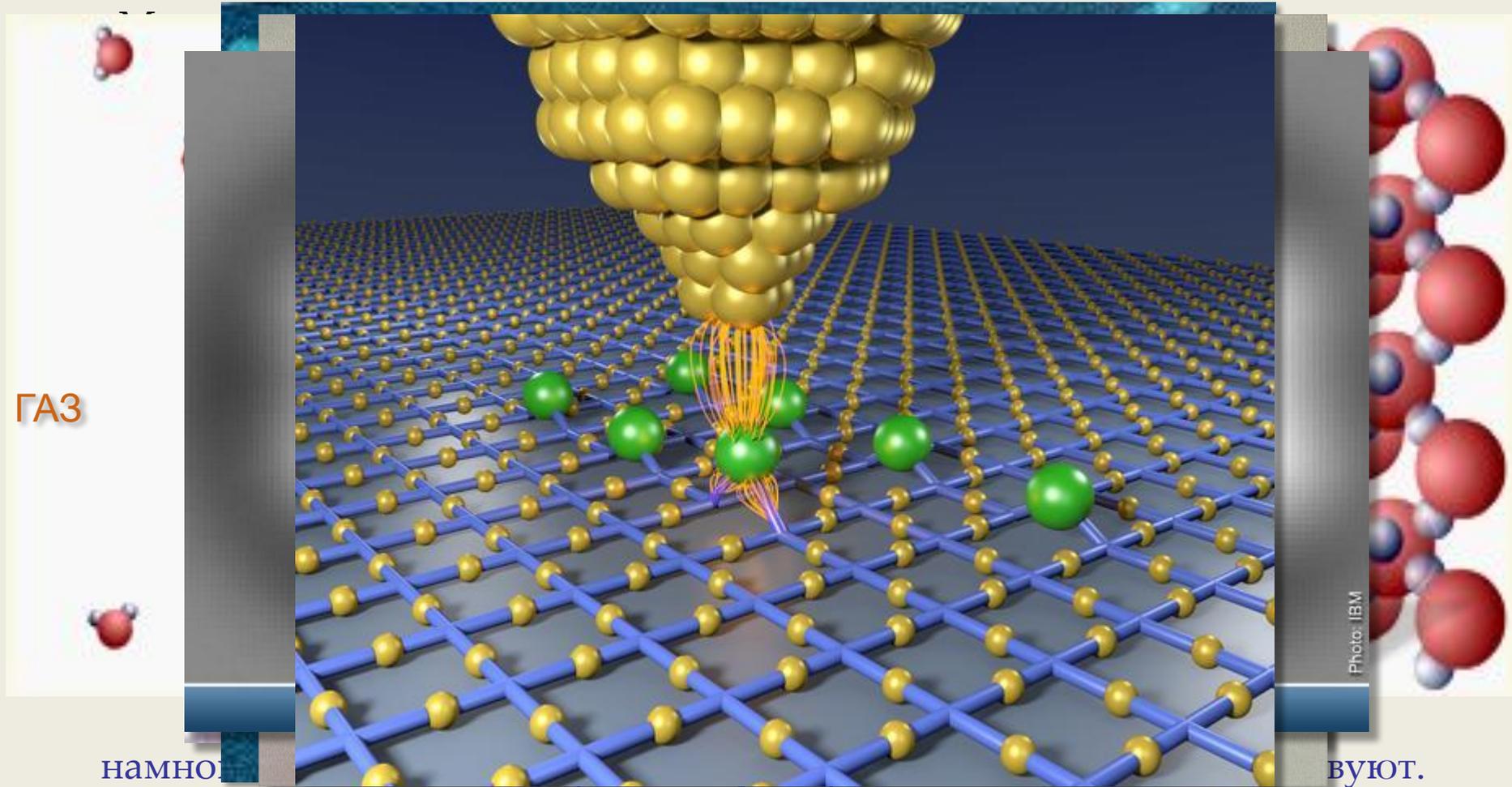
# МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА И ОСНОВЫ ТЕРМОДИНАМИКИ

---

# ОСНОВЫ МОЛЕКУЛЯРНО-КИНЕТИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ

Основные понятия и определения

Опытное обоснование основных положений молекулярно-кинетической теории (МКТ).



Подтверждается упругими свойствами твердых тел, жидкостей и газов.



# Идеальный газ

Считается, что молекулы такого газа состоят из материальных точек, и не взаимодействуют друг с другом на расстоянии.

Соударения таких молекул являются абсолютно упругими.

## Понятия и обозначения

$m_0$ — масса атома, молекулы	$\square$ , моль — мера количества вещества
$N$ — число атомов, молекул	$N_A = 6 \cdot 10^{23}$ моль <sup>-1</sup> — число Авогадро
$m = m_0 N$ — масса вещества	$\mu$ , кг/моль — молярная масса (табл. М.)
$\rho = m / V$ — плотность вещества	$\mu = m_0 N_A$ — масса одного моля вещества
$n = N / V$ — концентрация молекул	$\square = N / N_A = m / \mu$
$\rho = m_0 n$	$m = \square \mu$
$R = 8,31$ Дж/(мольК) — универсальная газовая постоянная	$k = R / N_A = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К — постоянная Больцмана
$P = F_n / S$ , Па — давление	$V$ , м <sup>3</sup> — объем
$T$ , К (кельвин) — абсолютная температура	$T, \text{К} = 273 \text{ К} + t \text{ } ^\circ\text{C}$

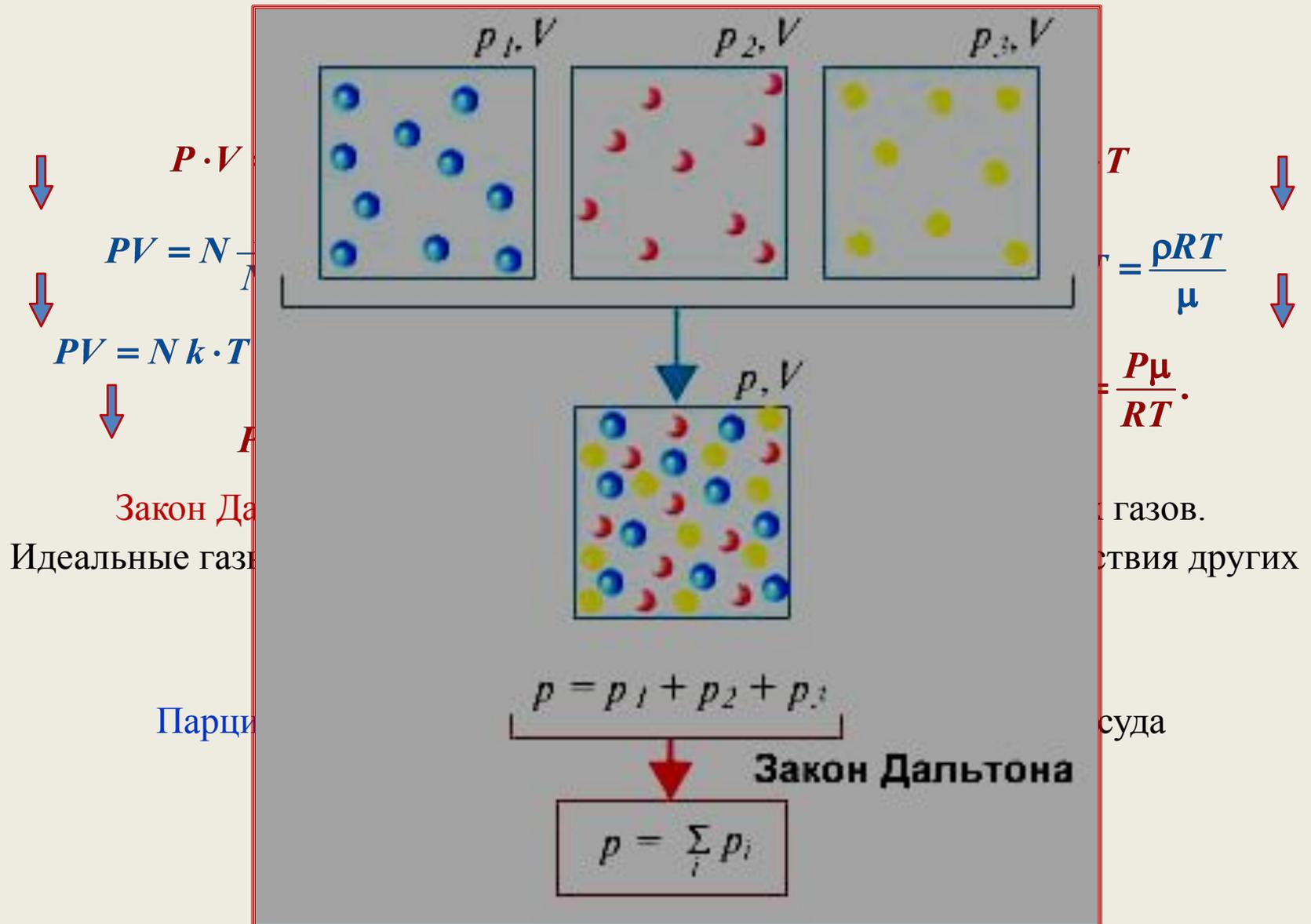
Термодинамические параметры  $P, V, T$  — определяют состояние газа, жидкости, твердого тела.

Абсолютная температура  $T$  является мерой средней кинетической энергии молекул.

Термодинамическое равновесие — состояние системы, при котором температура и давление в любой точке системы одинаковы.

# Уравнение состояния идеального газа ( Менделеева – Клаперона )

связывает термодинамические параметры для любого  
равновесного состояния идеального газа:



# ИЗОПРОЦЕССЫ

происходят при постоянном количестве вещества  $\nu = \text{const}$ .

Уравнение Клаперона: 
$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} = \text{const} = \nu R = \frac{N}{N_A} R = \frac{m}{\mu} R$$

Простейшие процессы в идеальных газах

## Изохорный процесс (Шарль)

происходит без изменения объема :  $V = \text{const}$ .

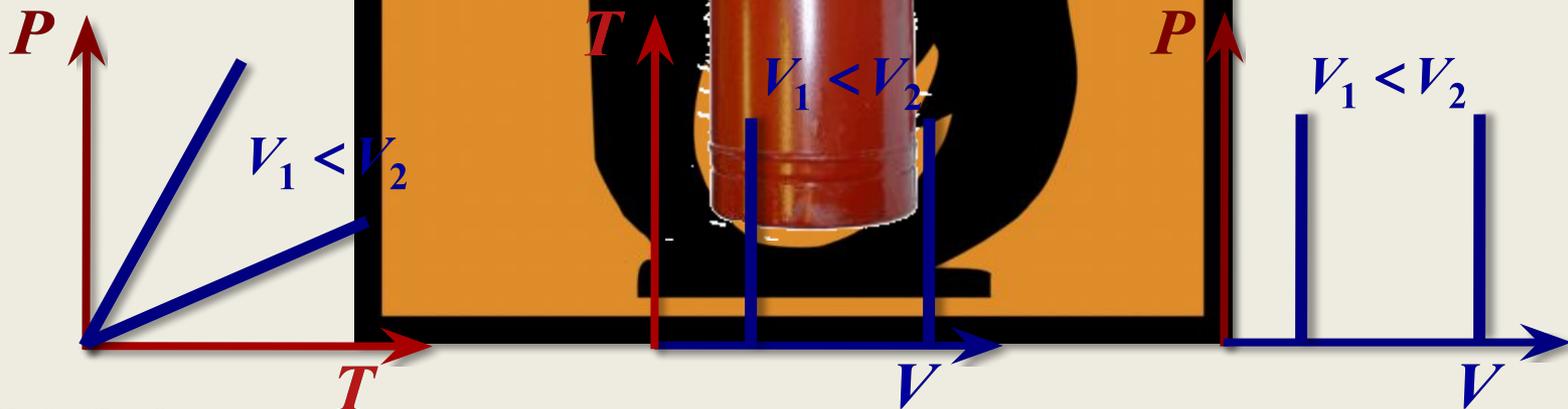
*а) Уравнение состояния.*

$$PV = \nu RT \Rightarrow P = \frac{mR}{\mu V} T \Rightarrow a = \frac{mR}{\mu V} = \text{const}$$

$$P = a \cdot T \Rightarrow \frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$$

Давление растет прямо пропорционально росту температуры.

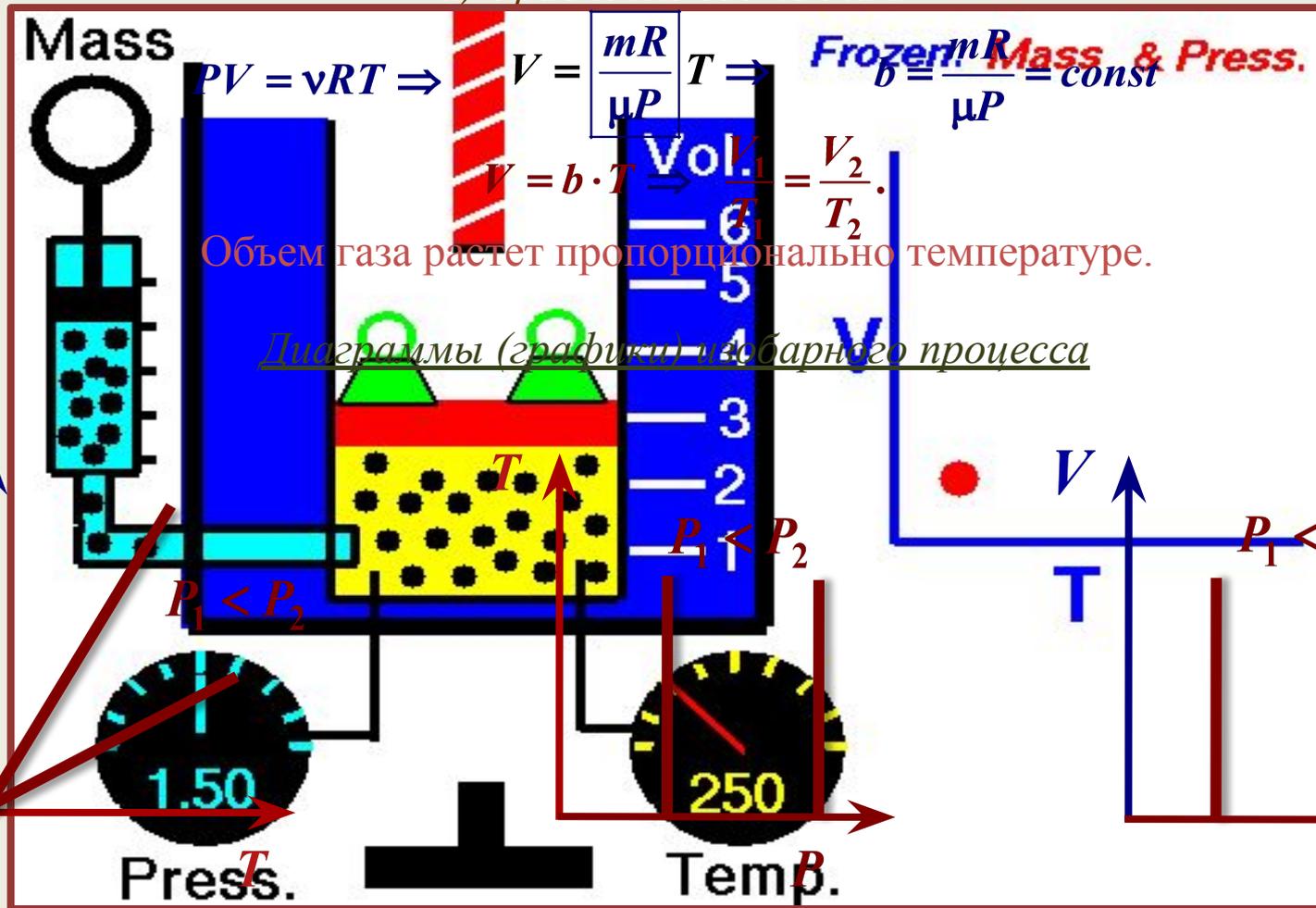
Диаграммы (графики) изохорного процесса.



# Изобарный процесс (Гей-Люссак)

происходит при постоянном давлении  $P = const.$

а) Уравнение состояния.



# Изотермический процесс (Бойль, Мариотт)

происходит при постоянной температуре  
в контакте с *термостатом*.

Термостат — устройство для поддержания  
постоянной температуры.

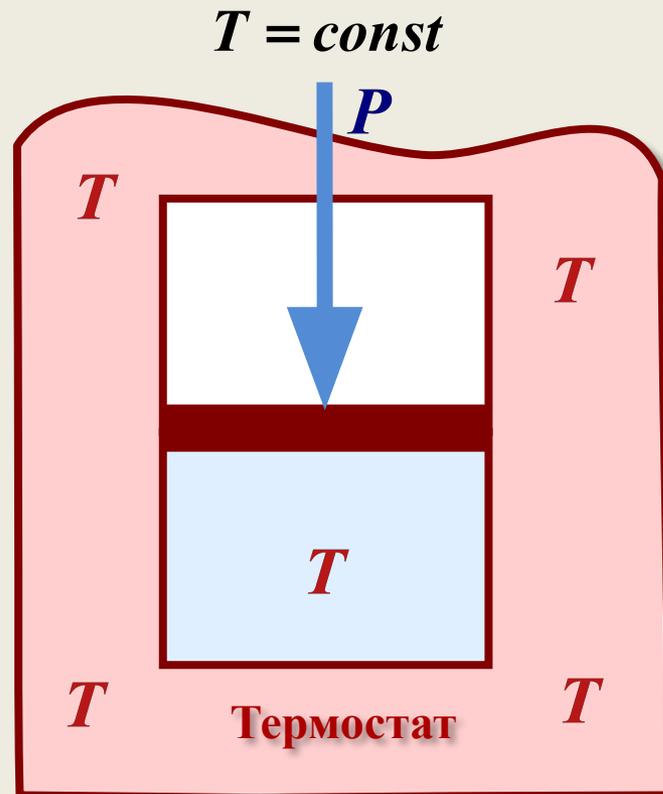
Например, организм теплокровного животного  
(человека), атмосфера и океаны Земли.

*а) Уравнение состояния.*

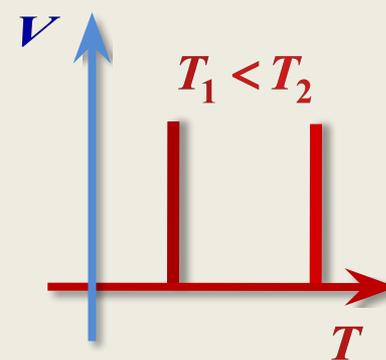
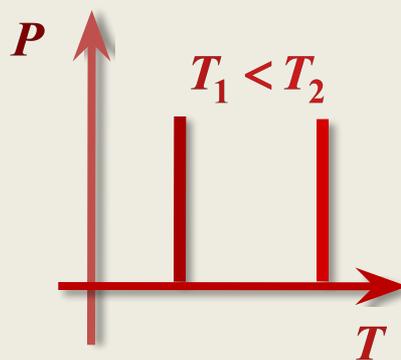
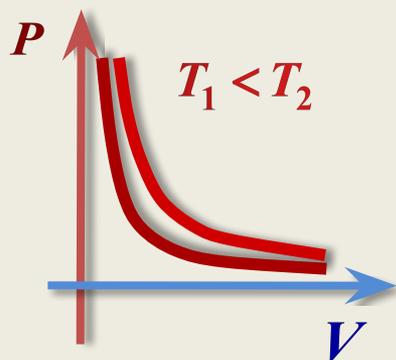
$$PV = \boxed{\nu RT} \Rightarrow d = \nu RT = const$$

$$P = \frac{d}{V} \Rightarrow P_1 V_1 = P_2 V_2.$$

Давление уменьшается с ростом объема.



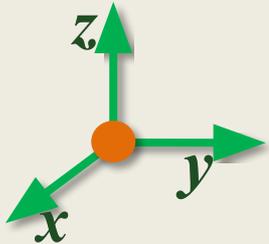
## Диаграммы (графики) изотермического процесса



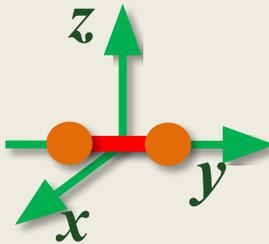
# Основное уравнение молекулярно–кинетической теории идеального газа (основное уравнение МКТ)

## Число степеней свободы молекулы

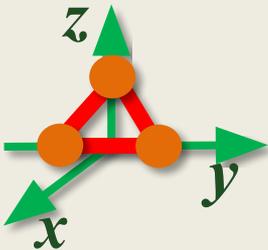
$i$  — это количество независимых координат, необходимое для определения положения молекулы в пространстве.



Одноатомный газ имеет молекулы, состоящие из одной материальной точки. Материальная точка обладает тремя степенями свободы ( $i = 3$ ), так как может двигаться вдоль осей  $X, Y, Z$ .



Двухатомный газ имеет молекулы, состоящие из двух жестко связанных материальных точек и обладает пятью степенями свободы ( $i = 5$ ): может двигаться вдоль осей  $X, Y, Z$  и вращаться вокруг осей  $X, Z$ .  
(Относительно оси  $Y$  момент инерции молекулы равен нулю).



Многоатомный газ имеет молекулы, состоящие из трех и более жестко связанных между собой материальных точек. Такая молекула, как любое абсолютно твердое тело, обладает шестью степенями свободы ( $i = 6$ ) — тремя поступательными и тремя вращательными.

## Средняя квадратичная скорость молекулы

$$u = v_{\text{ср}}, \text{ м/с.}$$

За счет хаотичности движений и столкновений кинетические энергии молекул газа близки по значениям.

Будем считать, что любая молекула идеального одноатомного газа обладает средней кинетической энергией:

$$E_{\text{ср}} = \frac{m_0 v_{\text{ср}}^2}{2} = \frac{m_0 u^2}{2} = \frac{1}{N} \sum \frac{m_0 v_i^2}{2},$$

$\frac{m_0 v_i^2}{2}$  — кинетическая энергия  $i$ -ой молекулы, тогда  
средняя квадратичная скорость молекулы

$$v_{\text{ср}} = u = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N v_i^2}.$$

Так как,  $E_{\text{ср}} = \frac{m_0 v_{\text{ср}}^2}{2} = \frac{3}{2} kT \Rightarrow v_{\text{ср}}^2 = \frac{3kT}{m_0} \Rightarrow v_{\text{ср}} = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}}$

$$v_{\text{ср}} = \sqrt{\frac{3kN_A T}{N_A m_0}} \Rightarrow v_{\text{ср}} = \sqrt{\frac{3RT}{\mu}}; \quad v_{\text{ср}} = \sqrt{\frac{3PV}{m}} \Rightarrow v_{\text{ср}} = \sqrt{\frac{3P}{\rho}};$$

Таким образом,  $v_{\text{ср}} = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}} = \sqrt{\frac{3RT}{\mu}} = \sqrt{\frac{3PV}{m}} = \sqrt{\frac{3P}{\rho}}.$

# Вывод основного уравнения МКТ

## Вывод основного уравнения молекулярно-кинетической теории идеального газа

1) идеального  
бесконечном сосуде

кул газа.

стенками

ю  $u$ ;

и

упругий.

ом

г

2) вследствие

Как возникает давление газа на стенки сосуда?

# Основное уравнение МКТ.

4) За одну секунду молекула совершает  $u/2$  таких передач, а переданный импульс станет равным по величине  $m_0 u^2$ .

5) Вдоль каждой оси координат движется  $n/3$  молекул, которые за одну секунду передадут  $1 \text{ м}^2$  поверхности грани куба импульс  $\frac{1}{3} n m_0 u^2$ .

6) По второму закону Ньютона изменение импульса грани куба в единицу времени равно средней силе давления частиц.

Так как площадь грани  $y = 0,5$  равна  $1 \text{ м}^2$ , эта сила численно равна давлению газа.

7) Поэтому, основное уравнение МКТ

$$P = \frac{1}{3} n m_0 u^2 = \frac{1}{3} n m_0 v_{cp}^2$$

$n = N/V$  — концентрация молекул газа,

$m_0, u = v_{cp}$  — масса и средняя квадратичная скорость молекулы.

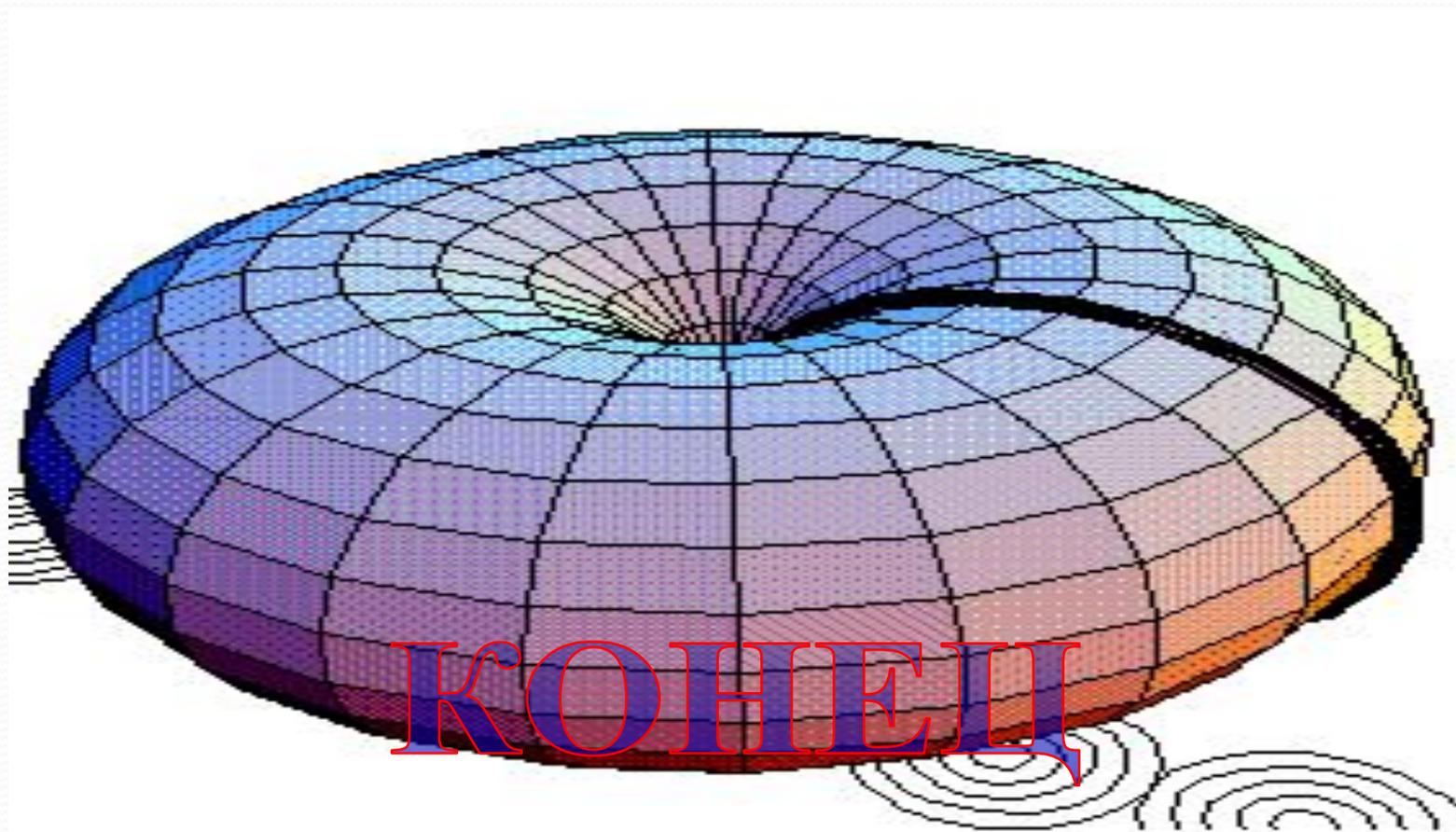
## Другие формы основного уравнения МКТ

$$P = \frac{1}{3} \rho v_{cp}^2; \quad P = \frac{2}{3} n \frac{m_0 v_{cp}^2}{2} \Rightarrow P = \frac{2}{3} n E_{cp}; \quad P = \frac{2}{3} \frac{N}{V} E_{cp} \Rightarrow PV = \frac{2}{3} U; \quad U = \frac{3}{2} PV.$$

$U = N E_{cp} = \frac{3}{2} PV = \frac{3}{2} \nu RT$  — внутренняя энергия одноатомного идеального газа.

$E_{cp} = \frac{m_0 v_{cp}^2}{2} = \frac{3}{2} kT$  — средняя кинетическая энергия молекулы,

Абсолютная температура является мерой средней кинетической энергии молекул.



КОНЕЦ

"МКТ"