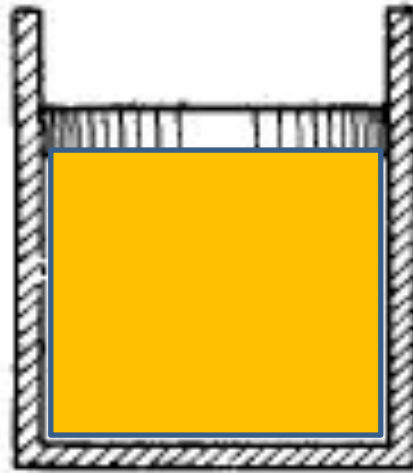
 *Молекулярная физика и термодинамика*
Макросистема (термодинамическая система):
большое колич. ч-ц (молекул, атомов, ионов, ...):
Твердое тело, жидкость, газ, плазма.

$$m\vec{a} = \vec{F}$$

Движение отдельных молекул описывают законы Ньютона. Но найти $\vec{r}(t)$ нельзя, если $N \sim 10^{23}$. Вычисляют *термодинамические параметры* системы: $T, P, V \dots$

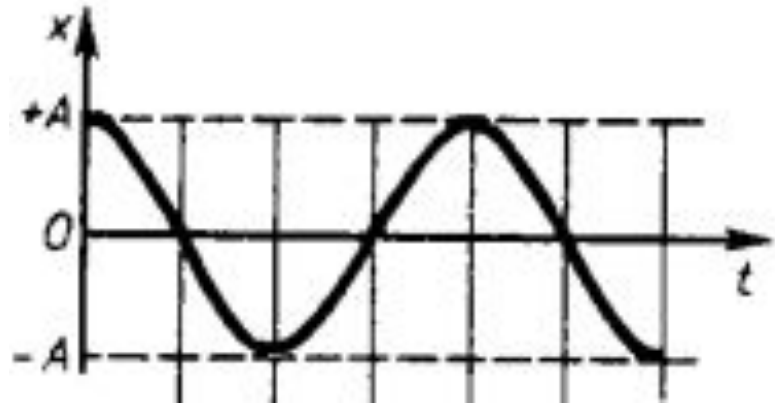


$T, P, V \dots$

Они связаны между собой.

Как? и Почему?

Как?



$$x(t) = x_0 \cos \omega_0 t + \frac{v_0}{\omega_0} \sin \omega_0 t,$$

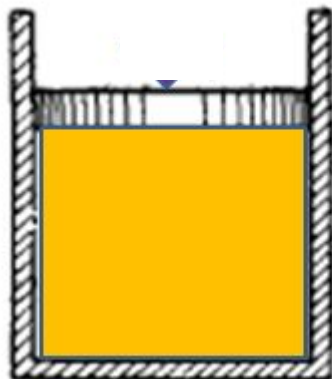
$$\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}} - \text{частота собственных колебаний}$$

$$T = \frac{2\pi}{\omega_0} \text{ период колебаний}$$

Почему?

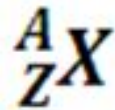
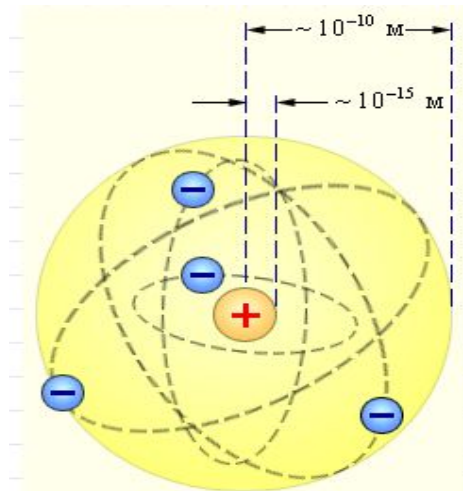
$$m \frac{d^2 x(t)}{dt^2} = -kx(t)$$

● Уравнение Менделеева - Клапейрона



Как? для P, V, T дает уравнение Менделеева - Клапейрона

$$PV = \nu RT$$



Z - число протонов в ядре (порядковый номер элемента в таблице Менделеева)

A - число *нуклонов* (протонов и нейтронов в ядре)

Количество вещества измеряют в кг,
кубометрах, *молях*.

1 моль вещества $\frac{A}{Z}X$ - это A граммов этого
вещества, $\mu = A$ г - *масса моля*

(2 г водорода H_2 , 56 г Fe^{56} , 238 г U^{238})

$$\mu (= A \text{ г}) = A m_{\text{нукл}} N_A$$

$$N_A = \frac{1}{m_{\text{нукл}}} = 6.022 \cdot 10^{23} - \text{число Авогадро}$$

$$PV = \nu RT$$

$$\nu = \frac{N_V}{N_A} = \frac{M}{\mu}. \quad M \text{ и } N_V \text{ можно получить из}$$

$$\rho = \frac{M}{V} \text{ -плотность, или } n = \frac{N_V}{V} \text{ -концентрация.}$$

$$R = 8.31 \frac{\text{Дж}}{\text{град} \cdot \text{моль}} = 1.99 \frac{\text{кал}}{\text{град} \cdot \text{моль}}.$$

● Давление газа и молекулярно-кинетическая теория (МКТ)

Ур-ие $PV = \nu RT$, получено из
эксп. (*как?*)

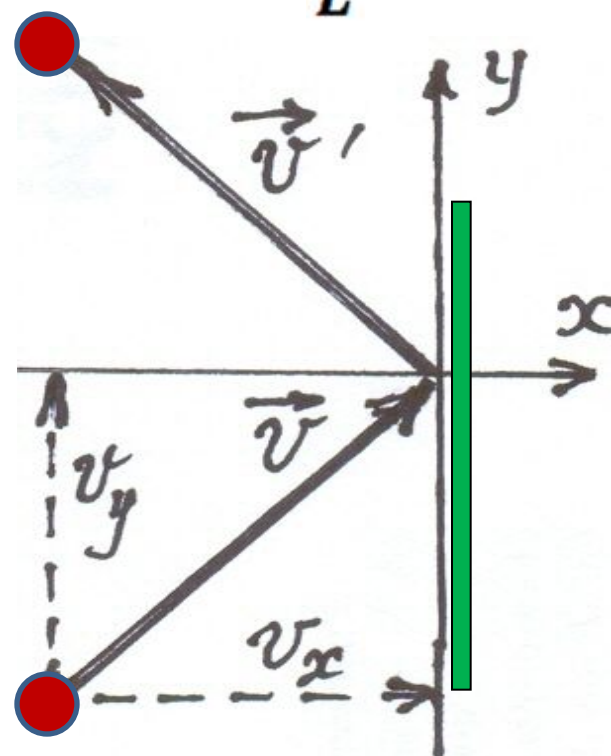
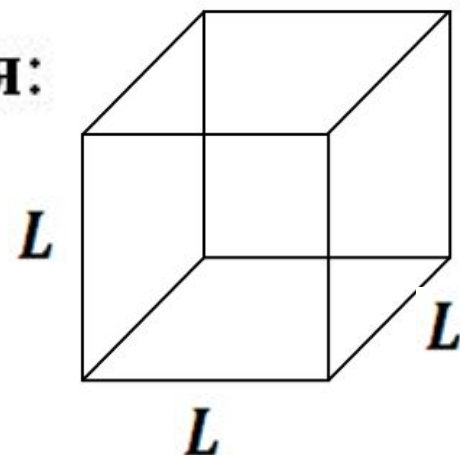
Почему?

По МКТ: Пусть в объеме L^3 летает молекула. При упругом столкн.

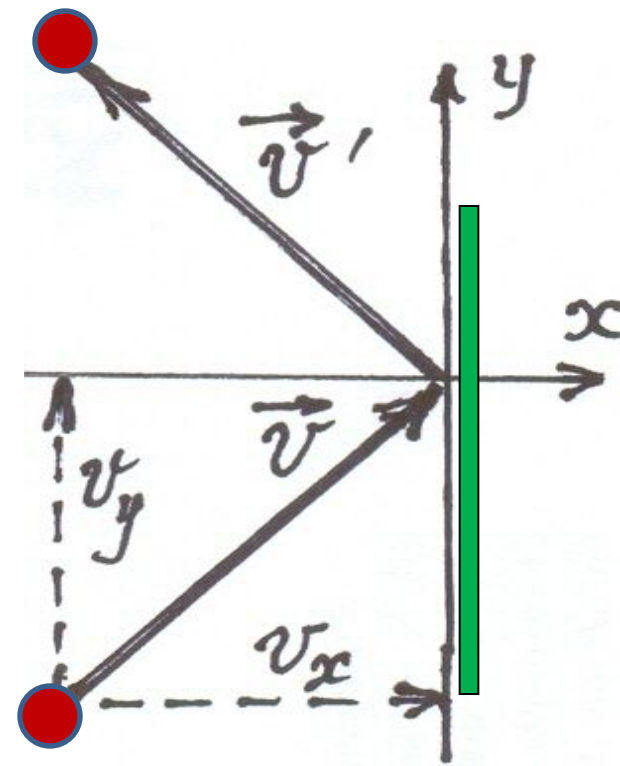
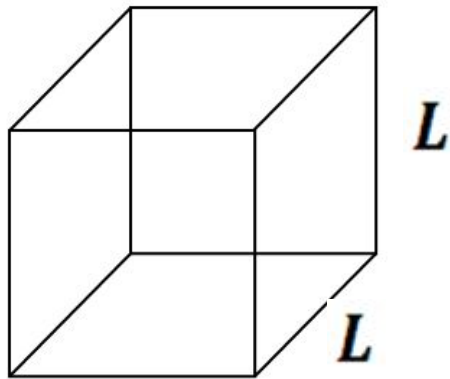
со стенками ее скорость меняется:

$$\vec{v} = \{v_x, v_y, v_z\},$$

$$\vec{v}' = \{-v_x, v_y, v_z\}.$$



По 2-3.Н $\vec{F} = \frac{m\Delta\vec{v}}{\Delta t}$.



$$\Delta v_x = 2v_x, \quad \Delta t = \frac{2L}{v_x} \cdot F_x = \frac{mv_x^2}{L}$$

3-й закон Ньютона:

$$F_x(i) = \frac{mv_x^2(i)}{L}$$

По 3-з.Н удары отдельных ч-ц создают давление:

$$P = \frac{1}{S} \sum_i F_x(i) \quad i - \text{номер молекулы}$$

$$P = \frac{1}{S} \sum_i \frac{mv_x^2(i)}{L} = \frac{m}{V} \sum_i v_x^2(i) = \frac{mN_V}{V} \frac{1}{N_V} \sum_i v_x^2(i) = \frac{mN_v}{V} \langle v_x^2 \rangle$$

$$\langle v_x^2 \rangle + \langle v_x^2 \rangle + \langle v_x^2 \rangle = \langle v^2 \rangle$$

$$P = \frac{mN_V}{V} \frac{1}{3} \langle v^2 \rangle = \nu N_A \frac{m}{3V} \langle v^2 \rangle$$

$$\nu = \frac{N_V}{N_A}$$

$$PV = \nu N_A \frac{m}{3} \langle v^2 \rangle \quad \text{основное ур-ие МКТ.}$$

$$\bar{\varepsilon} = \frac{1}{2} m \langle v^2 \rangle \quad \text{- средняя кин. эн.}$$

$$PV = \nu N_A \frac{2}{3} \bar{\varepsilon} \quad \text{основное ур-ие МКТ.}$$

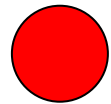
$$PV = \nu RT$$

$$\bar{\varepsilon} = \frac{3}{2} k T$$

$$R = k N_A$$

$$\langle v_{\text{КВ}} \rangle = \sqrt{\langle v^2 \rangle} \quad \text{- среднеквадратичная}$$

скорость $= \sqrt{\frac{3kT}{m}}$



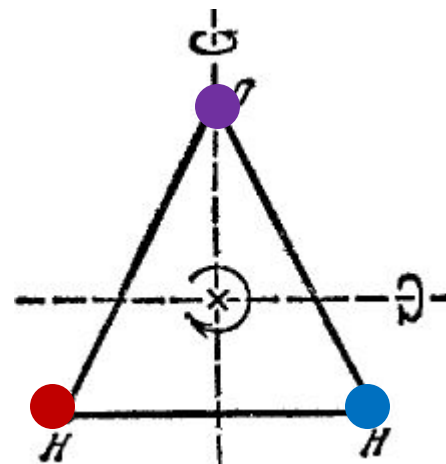
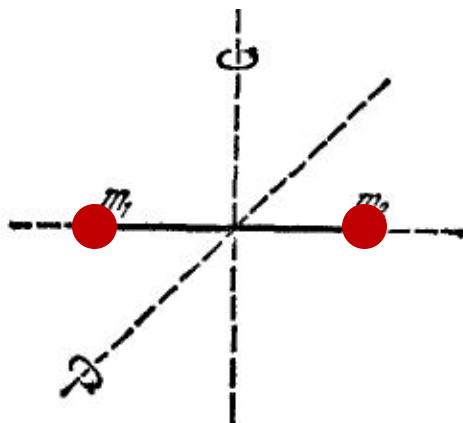
Внутренняя энергия ТД системы.

Внутр. эн. ТДС: **U** = кин. эн. молекул + эн. их
взаим.

Для идеального одноатом. газа $\bar{\epsilon} = \frac{3}{2} kT$

(3: координаты - *степени свободы*).

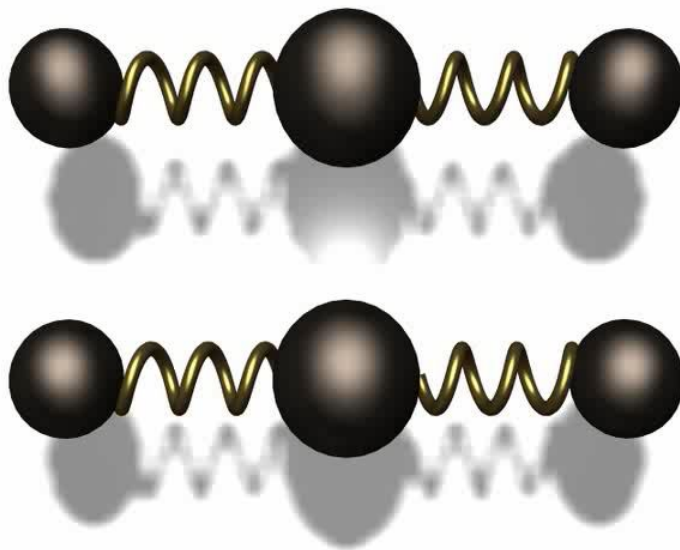
У сложной молекулы еще 3 *вращательных степени свободы*.





Больцман доказал: на каждую степень свободы приходится эн. $\frac{1}{2}kT$: *равномерное распределение энергии по степеням свободы.*

Если атомы в молекуле могут колебаться, то *собственные частоты = колебательные степени свободы.*



Для осциллятора <кин.> и <потенц. энергии>
равны $\frac{1}{2}kT$, т.е. на колеб. степень свободы
приходится энергия kT .



В итоге средняя эн. молекулы $\bar{\varepsilon} = \frac{i}{2}kT$,

$$i = i_{\text{пост}} + i_{\text{вращ}} + 2i_{\text{колеб}}.$$

3 2 или 3

$i_{\text{колеб}}$ - количество собственных частот

Для N молекул газа

$$U = N \frac{i}{2} kT = \frac{N}{N_A} \frac{i}{2} N_A kT = \nu \frac{i}{2} RT.$$