

Лекция

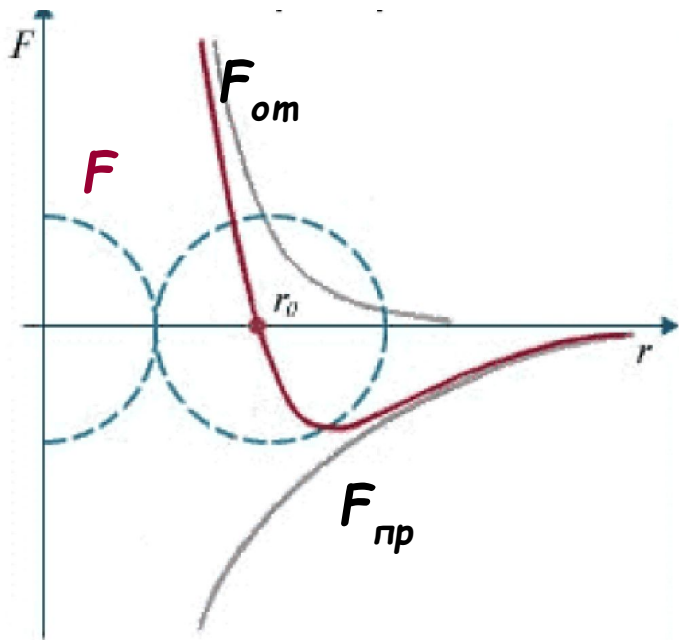
**Молекулярно-  
кинетическая теория**

**Макроскопические тела** - тела состоящие из большого числа молекул

1. **Статистический метод** - основан на том, что св-ва макроскопической сис-мы опр-ся **св-ми** частиц сис-мы и **усредненными значениями** хар-к этих частиц ( скорость, энергия и пр.)
2. **Термодинамический метод** - основан на том, что макроскопические тела могут обмениваться **энергией** как с друг другом так и с внешней средой ( давление, объем, температура)

# Молекулярно-кинетическая теория

1. Вещество состоит из мельчайших частиц (атомов или молекул)
2. Частицы в-ва находятся в непрерывном хаотическом движении, скорость которого определяет  $T$  тела
3. Между частицами существуют силы притяжения и отталкивания



## Зависимость силы взаимодействия от расстояния

$r > r_0$  - силы притяжения

$r < r_0$  - силы отталкивания

$r = r_0$  силы = 0

## Идеальный газ

1. Собственный объем молекул газа пренебрежимо мал по сравнению с объемом сосуда
2. Между молекулами газ отсутствуют силы взаимодействия
3. Столкновения молекул газа между собой и со стенками сосуда абсолютно упругие

Закон Авогадро  
Закон Дальтона  
Закон Бойля-Мариотта  
Закон Гей-Люссака  
Закон Шарля

Опытные  
законы

**Закон Авогадро** - моли любых газов при одинаковых  $T$  и  $P$  занимают одинаковый объем

При нормальных условиях  $V_m = 22,41 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$

**Постоянная Авогадро** - число молекул в одном моле в-ва  $N_A = 6,022 \cdot 10^{23}$

**Моль в-ва** - кол-во в-ва, содержащее  $N_A$  структурных элементов (атомов)

**Закон Дальтона** - давление смеси ид. газов, равно сумме парциальных давлений входящих в нее газов

$$P = P_1 + P_2 + P_3 + \dots$$

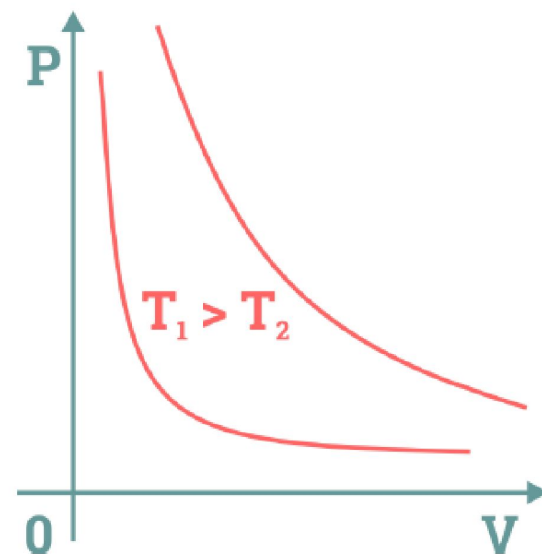
**Парциальное давл-ние** - давл-ние, которое производил бы газ, если бы один занимал весь объем смеси при той же температуре

**Закон Бойля-Мариотта** - для данной массы газа при  $T = \text{const}$  произведение давления газа на его объем есть величина постоянная

Изотермический процесс - процесс при постоянной температуре

$$PV = \text{const}$$

$$P_1 V_1 = P_2 V_2$$

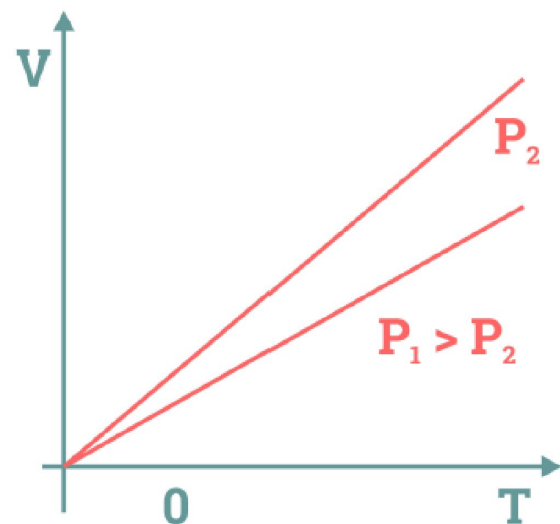


**Закон Гей-Люссака** - для данной массы газа при постоянном давлении объем изм-ся линейно с температурой

Изобарный процесс - при постоянном давлении

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

$$V = V_0 \alpha T$$

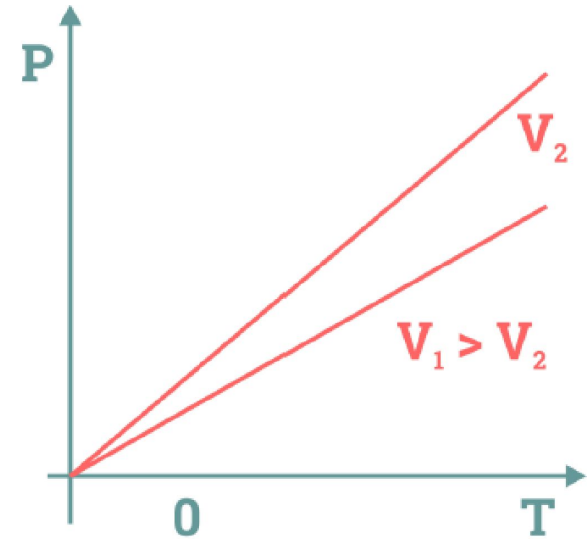


**Закон Шарля** - давление данной массы при постоянном давлении изм-ся линейно с  $T$ .

Процесс  
изохорный - при  
постоянном объеме

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

$$P = P_0 \alpha T$$



Из законов  $\implies$

$$\boxed{\frac{PV}{T} = b}$$

$b = \text{const}, \sim \text{массе}$

**Уравнение состояния идеального газа** (уравнение Клайперона) связывает между собой термодинамические (макроскопические) параметры системы

$b = ???$



При нормальных условиях

Газовая постоянная

$$\frac{P_a V_{m0}}{T_l} = \frac{1,013 \cdot 10^5 \cdot 22,4 \cdot 10^{-3}}{273,15} = 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$$

Для произвольного объема  $V$  массой  $m$

Из пропорции

$$\begin{array}{l} M - V_m \\ m - V \end{array} \Rightarrow V_m = \frac{MV}{m}$$

$$PV = \frac{m}{M} RT = \nu RT$$

$\nu$  - число молей  
газа

Уравнение Менделеева-Клайперона

$$R = kN_A$$

$$k = 1.38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К}$$

Постоянная Больцмана

**Концентрация** - число молекул в единице объема

$$n = \frac{N}{V}$$

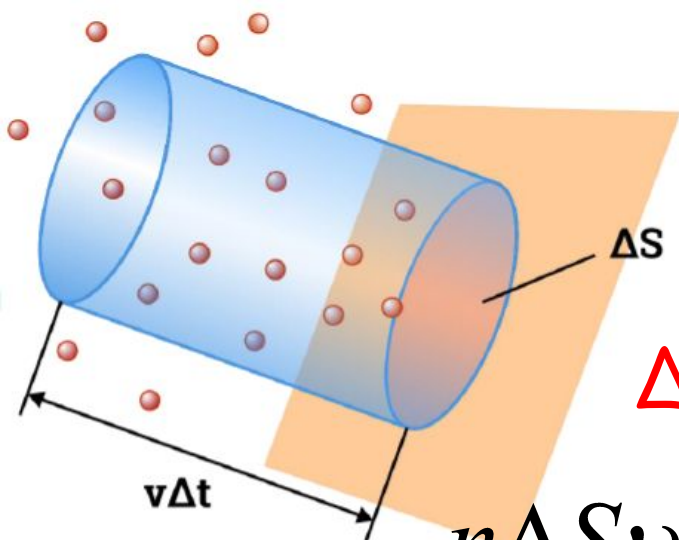


$$PV = nkT$$

**Уравнение Менделеева-Клайперона**

Давление идеального газа при данной  $t^\circ$  прямо  $\sim$   
концентрации его молекул

При одинаковых  $P$  и  $t^\circ$  все газы содержат в  
единице объема одинаковое число молекул



$$\Delta p^{\uparrow} = m_0 v^{\uparrow} - (-m_0 v^{\uparrow}) = 2m_0 v^{\uparrow}$$

Импульс передаваемый 1 молекулой

$$n\Delta S v \Delta t$$

Число молекул в цилиндре

$$\Delta p = 2nm_0\Delta S v^2 \Delta t$$

Импульс всех молекул

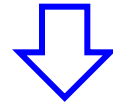
Равновероятное движение молекул по 6-ти направлениям X, Y, Z и -X, -Y, -Z

$$\langle \Delta p \rangle = \frac{1}{3} nm_0 \Delta S \Delta t \langle v^2 \rangle$$

$$\langle v^2 \rangle = \frac{1}{N} \sum v_i^2$$

$$F = \frac{\langle \Delta p \rangle}{\Delta t}$$

Сила давления на стенку сосуда



Делим на площадь

$$P = \frac{n}{3} m_0 \langle v^2 \rangle = \frac{2}{3} n \langle \varepsilon_{\text{пост}} \rangle$$

Основное  
уравнение МКТ

$$\langle \varepsilon_{\text{пост}} \rangle = \frac{1}{2} m_0 \langle v^2 \rangle$$

Среднее зн-ние кинет.  
энергии поступ. дв-ния  
молекул

Давление идеального газа опр-ся средним зн-нием  
кинет. энергии молекул

Температура явл-ся мерой средней энергии  
молекул

$$\langle \varepsilon_{\text{пост}} \rangle = \frac{1}{2} m_0 \langle v^2 \rangle = \frac{2}{3} kT \quad R = kN_A$$

$$v_{\text{КВ}} = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}}$$

Для данного газа средняя  
квад-ная скорость зависит  
только от температуры

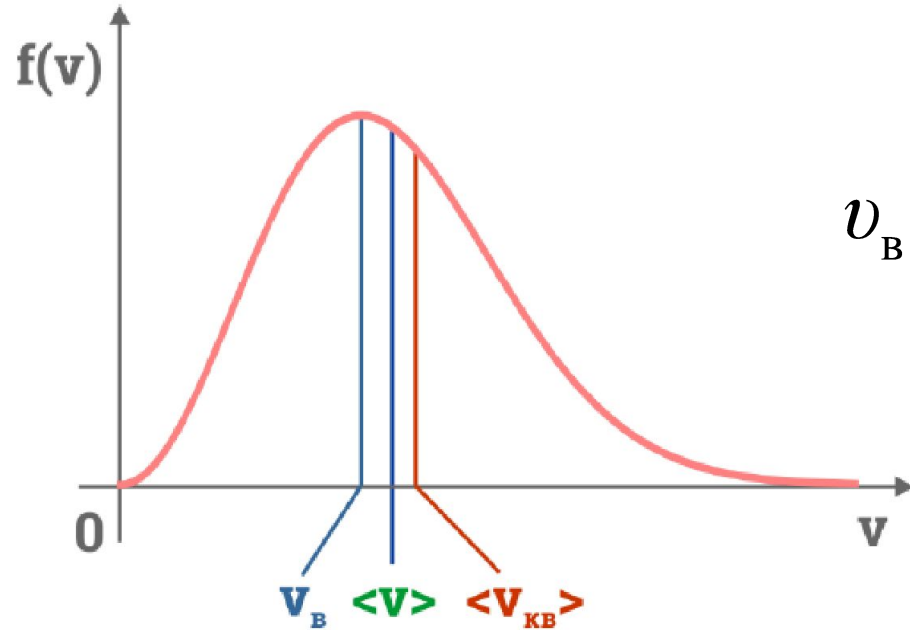
**Статистическая хар-ка!!!!**

$\Delta v \rightarrow$  В каждом интервале будет нах-ся  $\Delta N$   
молекул с этой скоростью - распределение числа  
молекул по скоростям

$$f(v) = \frac{4}{\sqrt{\pi}} \left( \frac{M}{2kT} \right)^{\frac{3}{2}} e^{-\frac{Mv^2}{2kT}} v^2$$

# Функция распределения молекул по скоростям

Максвелла- опр. относительное число мол-л скорости которых лежат в интервале от  $u$  до  $u+\Delta u$



$$v_B = \sqrt{\frac{2RT}{M}}$$

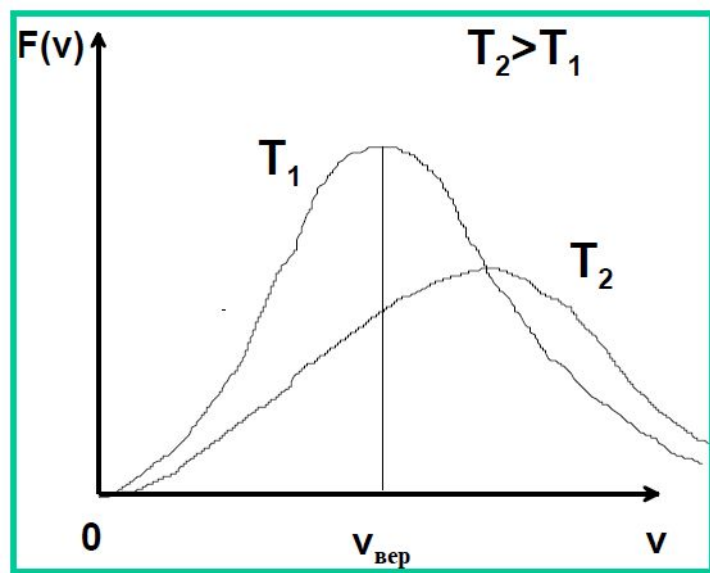
Наиболее вероятная скорость

$$v_{cp} = \sqrt{\frac{8RT}{\pi M}} \approx \sqrt{\frac{2,25RT}{M}}$$

$$v_{kv} < v_{cp} < v_B$$

Средняя арифметическая скорость

При изменении тем-ры изм-ся и скорость всех молекул газа



Кол-во молекул не зависит от тем-ры

Площадь под кривой  $f(u) = \text{const}$  и будет изменяться положение максимума кривой

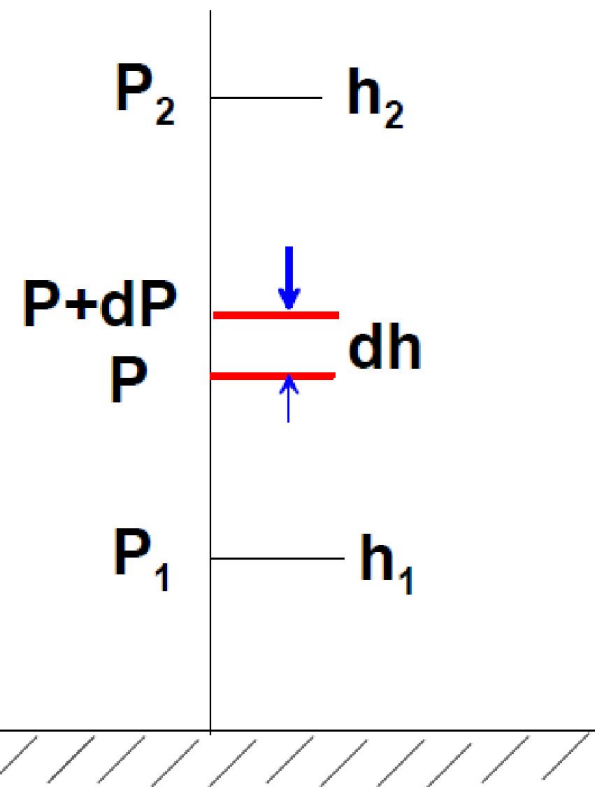
При  $\uparrow$  тем-ры мак-м  $\rightarrow$ , при  $\downarrow$  тем-ры мак-м  $\leftarrow$

Положение мак-ма зависит от природы газа.

Больше молярная масса  $\leftarrow$

При  $\downarrow$  тем-ры мак-м кривой растёт

При одинаковой тем-ре и разной массе одного газа - площадь под кривой больше, для большей массы



$$(P + dP) - P = -\rho g dh$$

$$P_2 = P_1 e^{-\frac{Mg(h_2 - h_1)}{RT}}$$

Обозначим  $P_1 = P_0$  и  $h_1 = h_0$ ,  
 где  $P_0$  и  $h_0$  давление и  
 высота на уровне моря

$$P = P_0 e^{-\frac{Mgh}{RT}}$$

барометрическая  
 формула

$P$  убывает с высотой тем быстрее, чем тяжелее газ

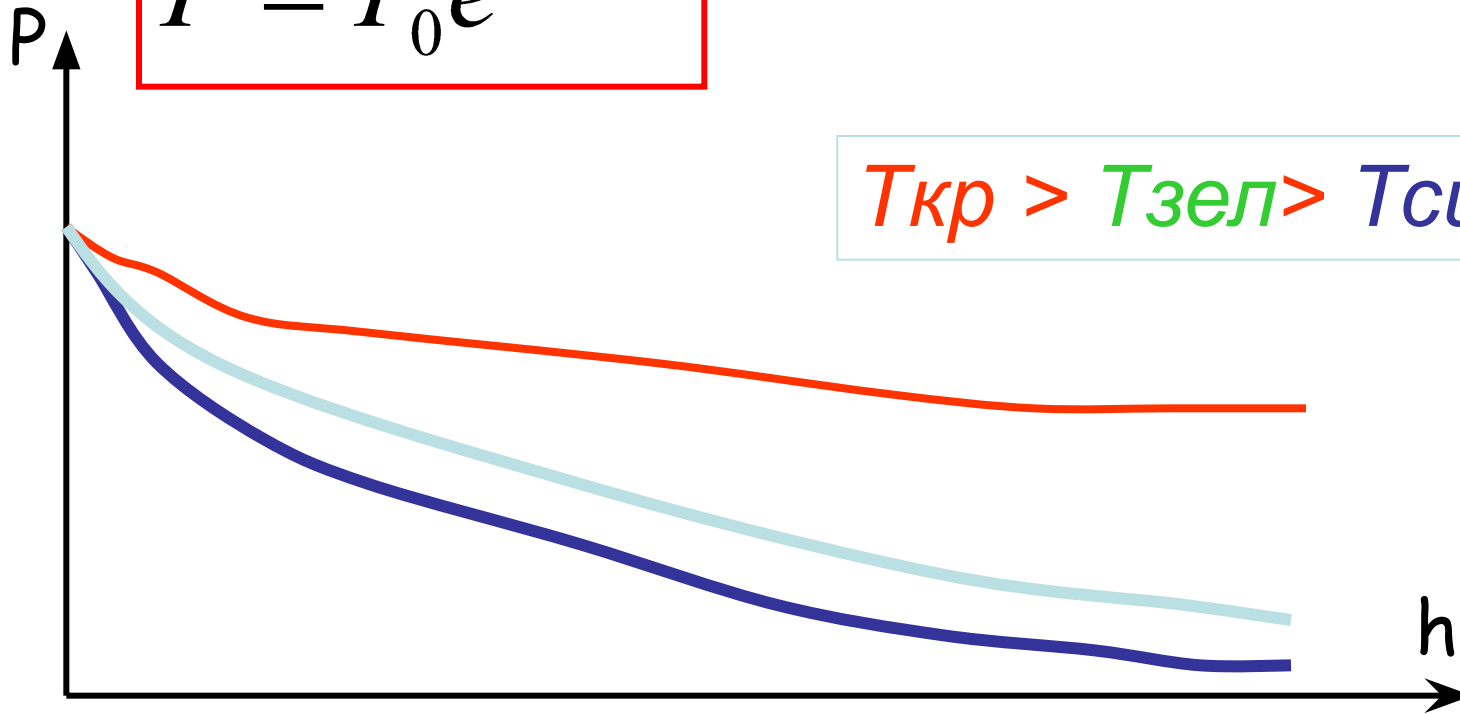


# Следствия из барометрической формулы

$$P = P_0 e^{-\frac{Mgh}{RT}}$$

$$T = \text{const}$$

$$T_{кр} > T_{зел} > T_{син}$$



$P$  убывает с высотой тем быстрее, чем ниже температура

$$PV = nkT$$

Давление  $\sim$  концентрации  
молекул

$$P = P_0 e^{-\frac{Mgh}{RT}} \Rightarrow n(x) = n_0 e^{-\frac{Mgh}{RT}}$$

