

Идеальный газ.

Давление газа.

Основное уравнение МКТ.



# Понятия и величины:

- *Идеальный газ*
- *Давление газа*
- *Средняя кинетическая энергия поступательного движения молекул*
- *Концентрация молекул*

# ЗАКОНЫ:

- *Основное уравнение молекулярно-кинетической теории*

*(уравнение Клаузиуса)*

- *Уравнение Менделеева - Клапейрона*

# Основные положения современной МКТ вещества

- 1. Все тела состоят из мельчайших частиц – атомов и молекул.**
- 2. Атомы и молекулы находятся в состоянии непрерывного движения.**  
Движение это является вечным и не прекращается ни при каких условиях.
- 3. Молекулы различных веществ по-разному взаимодействуют между собой.**  
*Взаимодействие это существенно зависит от типа молекул и от расстояний между ними. В частности, зависимость молекулярных сил от межмолекулярных расстояний объясняется качественное различие разных агрегатных состояний тел.*

# Дополнительно для МКТ газа

1. В любом, даже очень малом, объеме газа число молекул очень велико. (При н.у. в  $1 \text{ мм}^3$  воздуха или какого-либо другого газа содержится  $3 \cdot 10^{16}$  молекул).
2. Размеры молекул малы по сравнению с расстояниями между ними. Диаметры молекул большинства газов заключены в пределах от  $2 \cdot 10^{-8}$  до  $3 \cdot 10^{-8}$  см, в то же время при н.у. расстояние между молекулами в газе составляет  $3 \cdot 10^{-7}$  см, т.е. в 10 раз превосходит молекулярный диаметр.
3. Взаимодействие молекул со своими соседями существенно только в момент соударения, в остальное же время силами взаимодействия между ними можно пренебречь.
4. Соударения молекул со стенками сосуда, так же как и между собой, являются абсолютно упругими, т.е. при соударениях кинетическая энергия не превращается в другие виды энергии.

# Дополнительно для МКТ газа

- При отсутствии внешних сил молекулы газа распределяются **равномерно по всему объему, занятому газом.**
- **Направления скоростей молекул распределены хаотично**, т.е. в газе отсутствуют какие-либо избирательные направления движения молекул, все направления движения равновероятны.
- по абсолютной величине **скорости движения молекул могут быть любыми.**

# Тепловое движение

Хаотическое движение молекул тела называется ***тепловым движением***.

1. Тепловое движение будем характеризовать **средней кинетической энергией одной молекулы  $E_k$** ,
2. Взаимодействие между молекулами – **потенциальной энергией взаимодействия  $E_p$** .

В случае достаточно разреженных газов энергией межмолекулярного взаимодействия можно пренебречь. Это означает, что **физические свойства разреженных газов не должны зависеть от их химической природы** (от масс молекул).

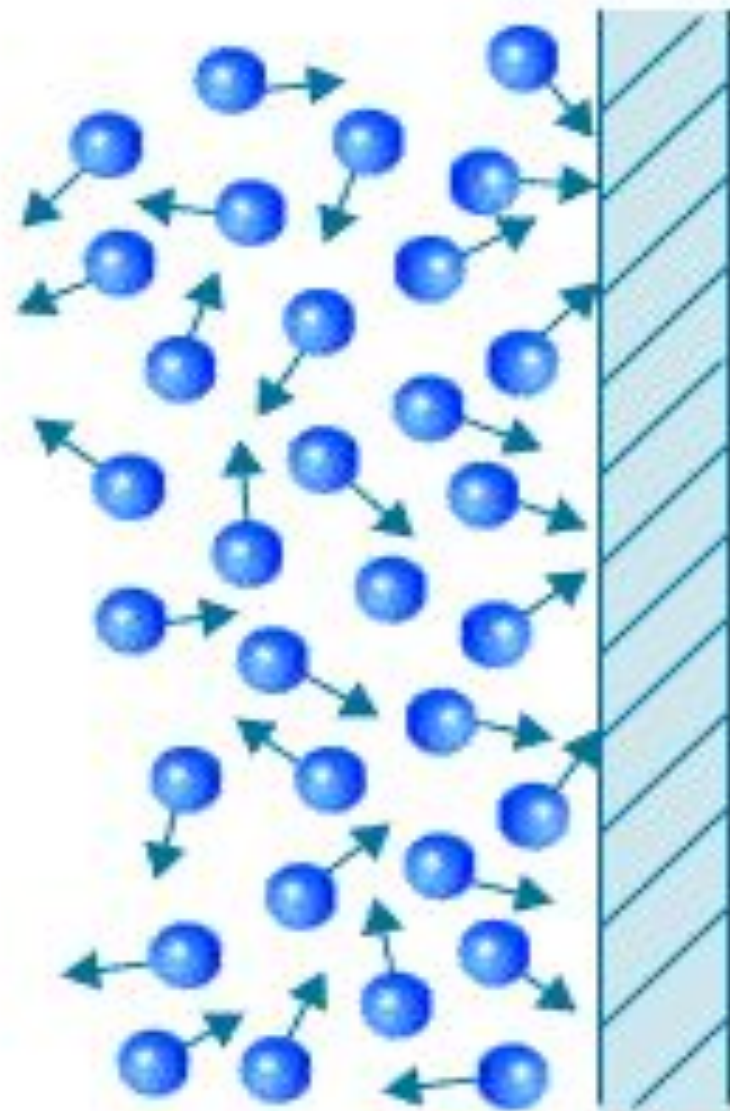
# **Идеальный газ** – простейшая физическая модель реального газа.

Газ считается идеальным, если выполняемы следующие допущения:

- **Размеры молекул ничтожны по сравнению со средним расстоянием между ними** (молекула – материальная точка)
- **Силы притяжения стремятся к нулю, а силы отталкивания проявляются только при соударениях.**
- **Молекулы – абсолютно упругие шары**, которые движутся по законам Ньютона.

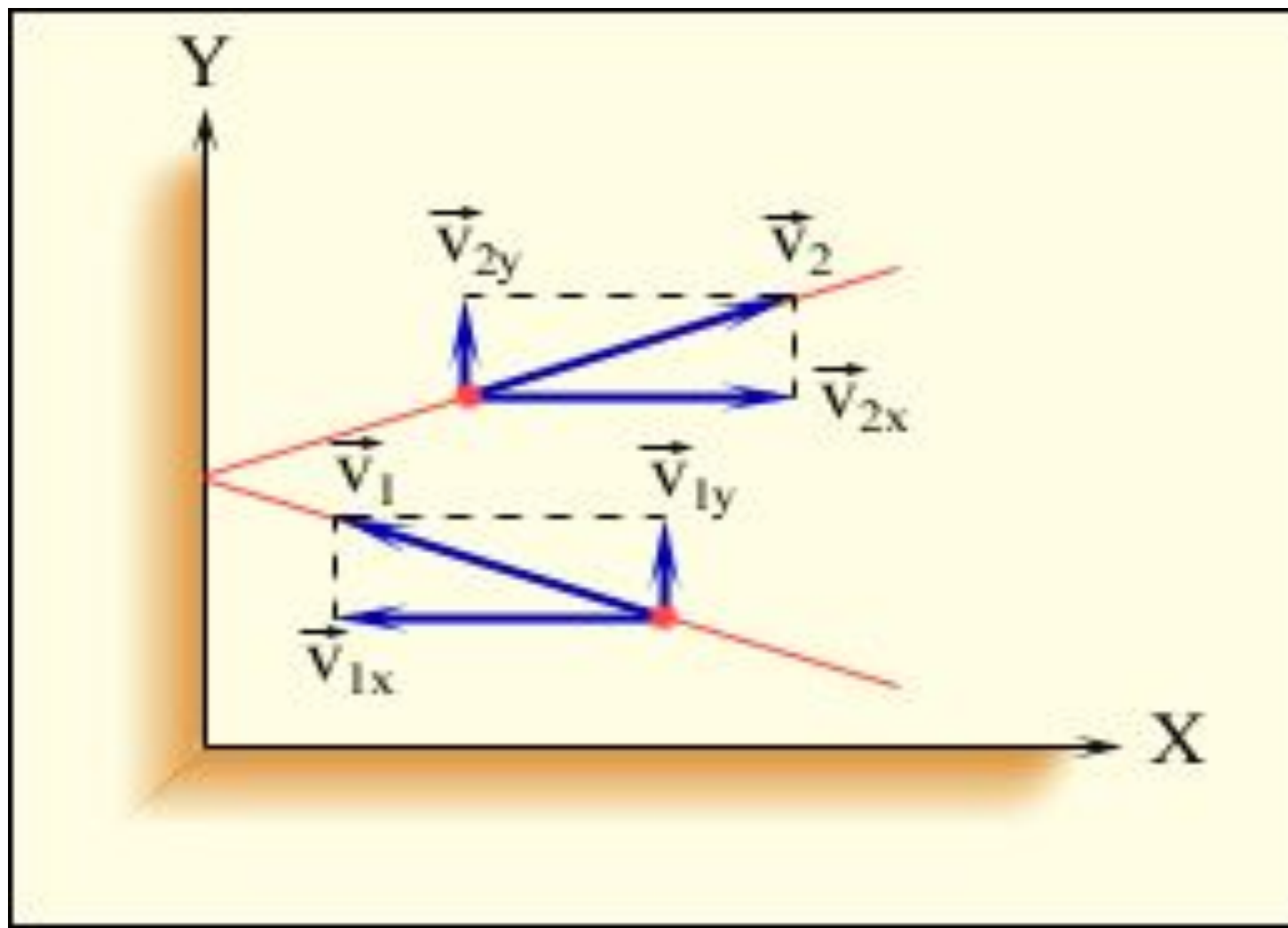
**Идеальным газом называется газ, в котором собственным объемом молекул и межмолекулярным взаимодействием можно пренебречь**

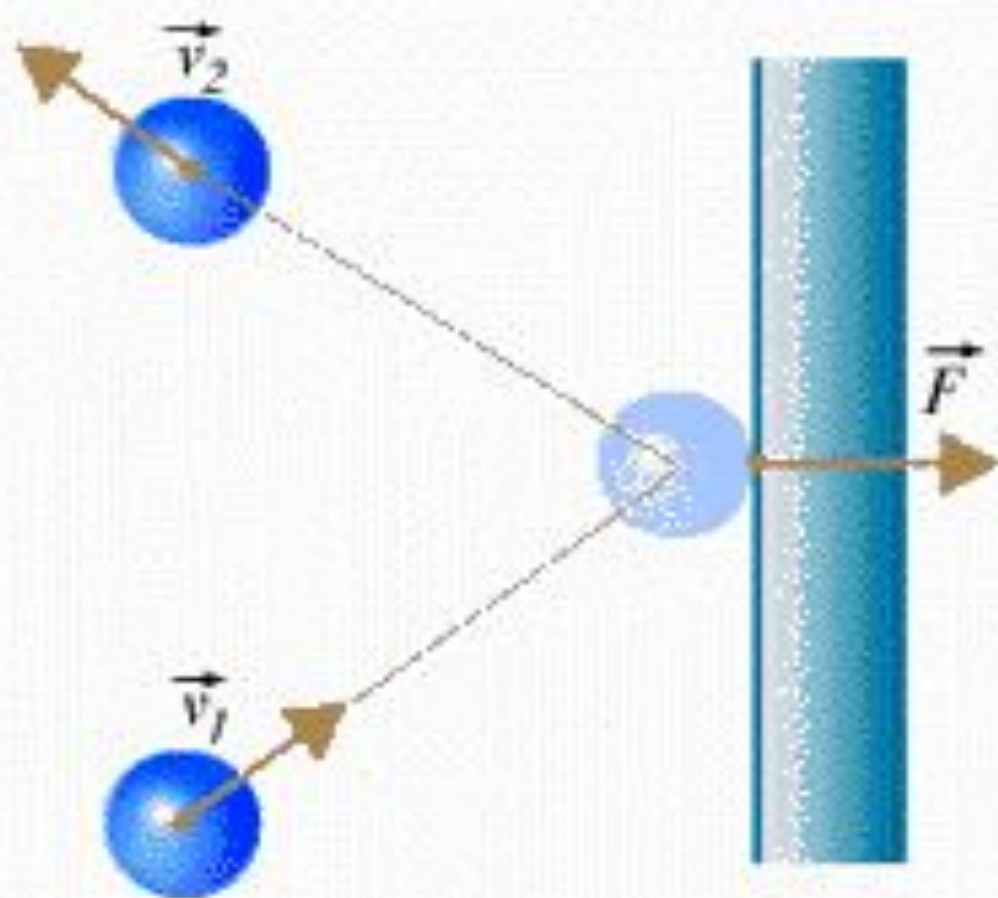




Как возникает давление газа  
на стенки сосуда?

Давление газа – это результат соударений большого числа молекул о стенки сосуда, в котором газ находится, и каждая молекула передает им определенный импульс.





$\vec{v}_1$  – скорость частицы до соударения

$\vec{v}_2$  – скорость частицы после соударения

$\vec{F}$  – сила, с которой частица действует на стенку

# Основное уравнение молекулярно-кинетической теории (уравнение Клаузиуса)

- Это уравнение устанавливает связь между давлением  $p$  идеального газа, массой молекулы  $m_0$ , концентрацией молекул  $n$ , средним значением квадрата скорости и средней кинетической энергией поступательного движения молекул.

Давление идеального газа  $p$  пропорционально произведению массы молекулы  $m_0$ , концентрации молекул (числу молекул в единице объема)  $n$  и квадрату средней квадратичной скорости поступательного движения молекул

$v^2$

$$p = \frac{1}{3} \cdot n \cdot m_0 \cdot v^2$$

Через среднюю кинетическую энергию молекулы это уравнение записывают в виде

$$p = \frac{2}{3} n \cdot E_k$$

Давление газа численно равно двум третям средней кинетической энергии поступательного движения всех молекул, заключенных в единице объема.

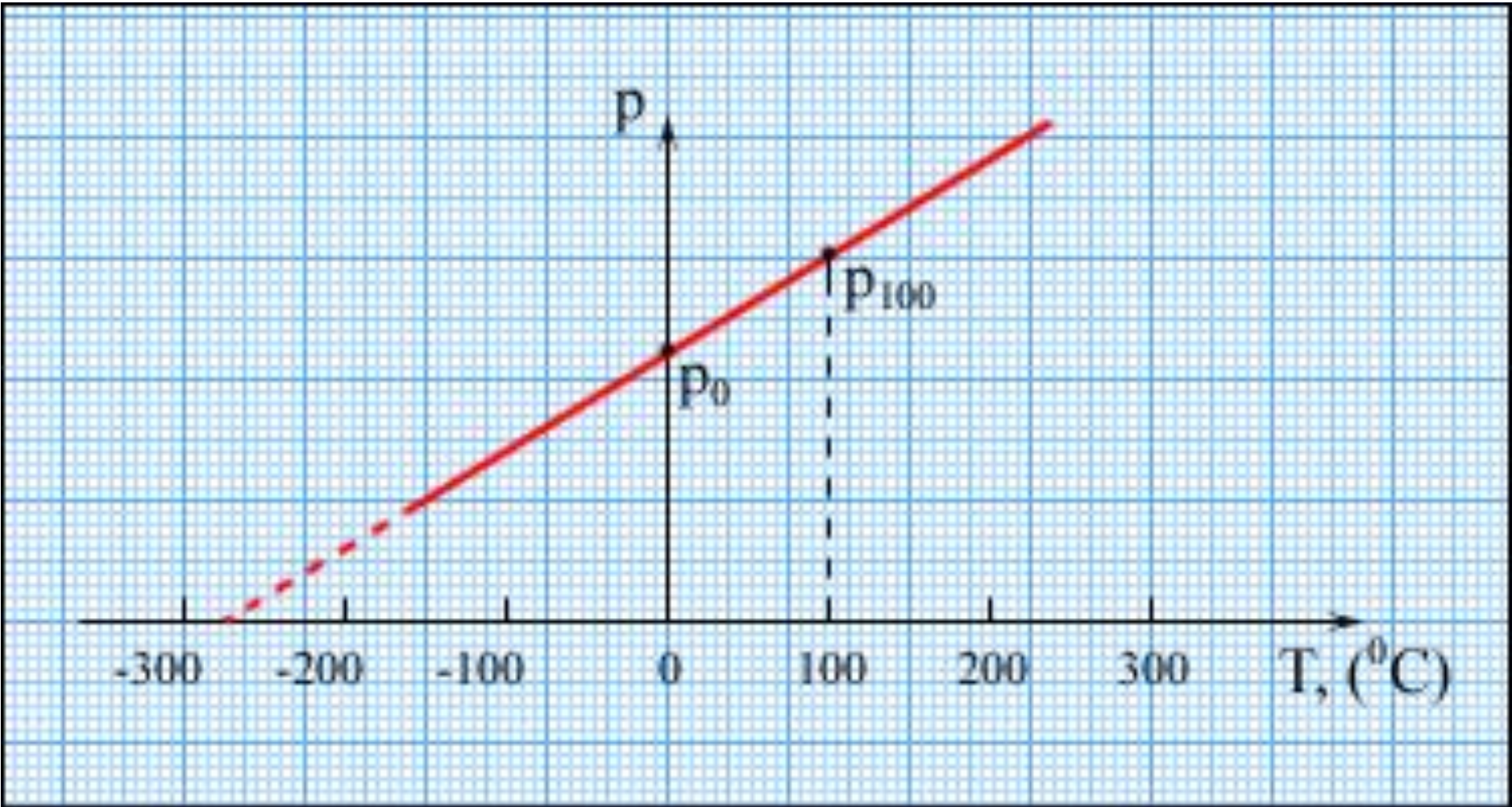
# *Возникают*

## *вопросы:*

- Каким образом можно на опыте изменять среднюю кинетическую энергию движения молекул в сосуде неизменного объема?
- Какую физическую величину нужно изменить, чтобы изменилась средняя кинетическая энергия?



Такой величиной в физике  
является температура.



Зависимость давления газа от температуры при  $V = \text{const}$ .



- Английский физик У. Кельвин (Томсон) в 1848 г. предложил использовать **точку нулевого давления газа** для построения новой температурной шкалы (шкала Кельвина). В этой шкале единица измерения температуры такая же, как и в шкале Цельсия, но нулевая точка сдвинута:

$$T_K = T_C + 273,15.$$

- В системе СИ принято единицу измерения температуры по шкале Кельвина называть кельвином и обозначать буквой К. Например, комнатная температура  $T_C = 20 \text{ }^\circ\text{C}$  по шкале Кельвина равна  $T_K = 293,15 \text{ К}$ .
- Температурная шкала Кельвина называется **абсолютной шкалой температур**. Она оказывается наиболее удобной при построении физических теорий.

абсолютная  
температурная  
шкала

шкала Цельсия

(K)

(°C)

$$T = t + 273,15$$

273,15

0

0

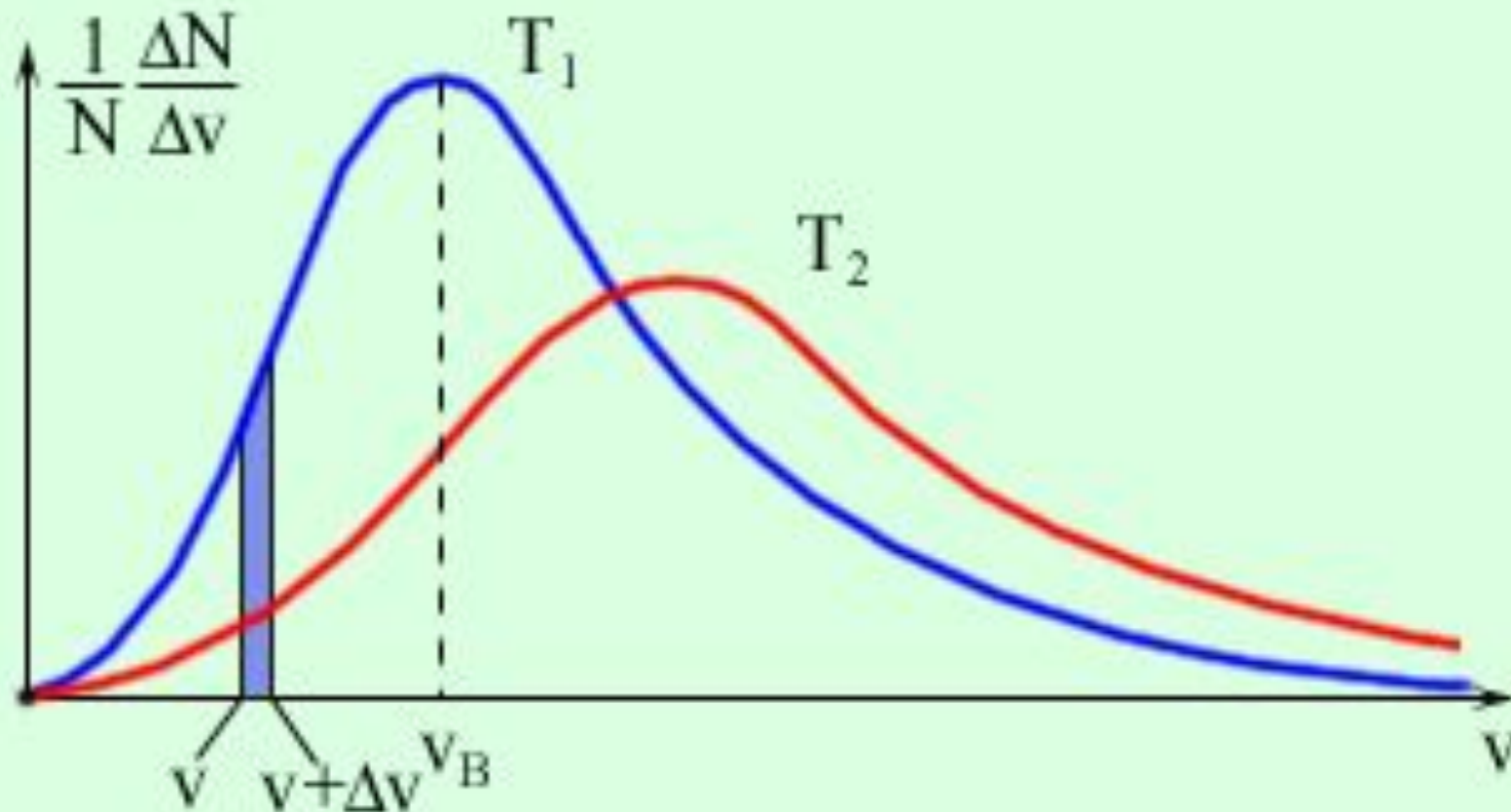
-273,15

абсолютный  
нуль

$1K$  по величине равен  $1^{\circ}C$ .

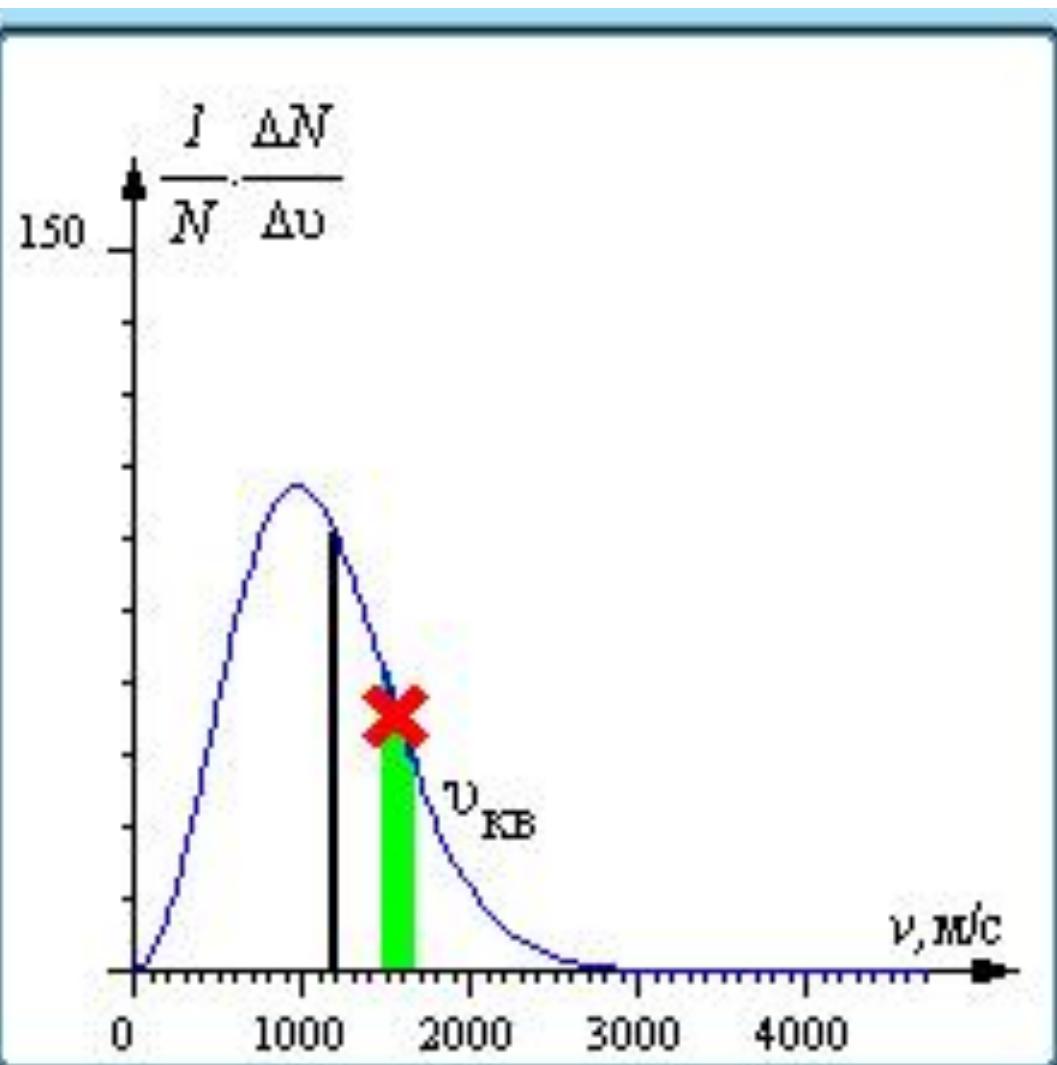
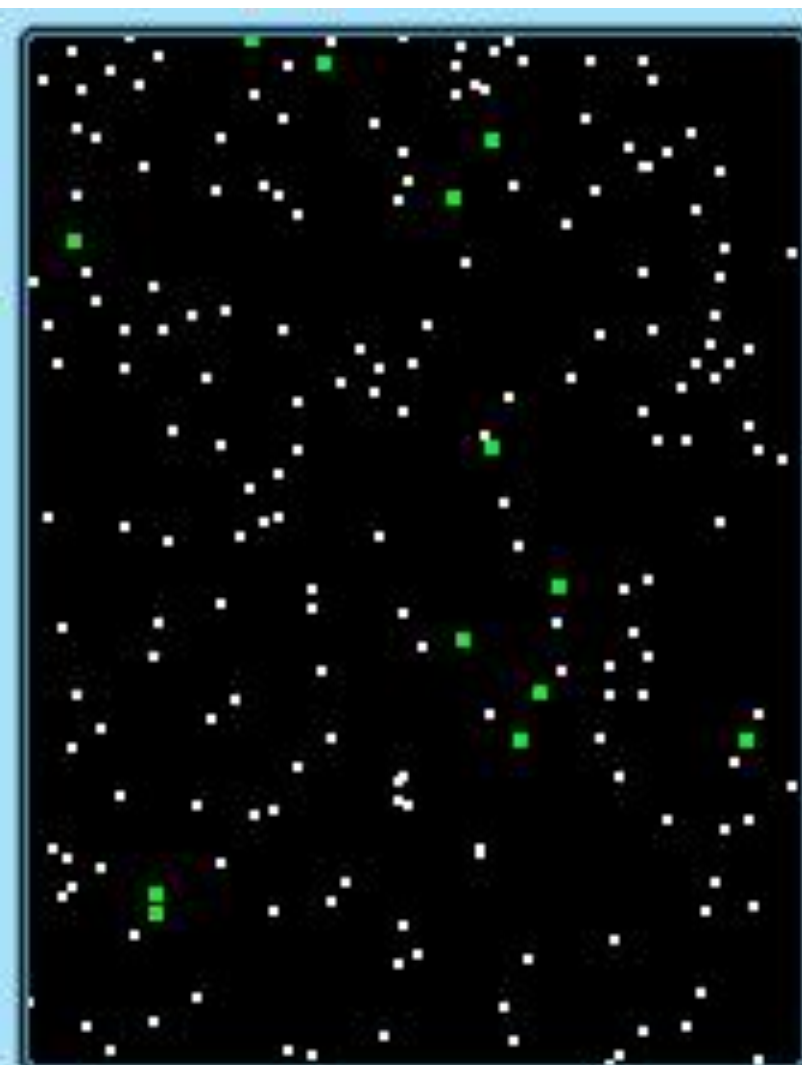
# Давление идеального газа

определяется кинетической энергией его  
молекул



Распределение молекул по скоростям.  $T_2 > T_1$ .

- Характерными параметрами распределения Максвелла являются наиболее вероятная скорость  $v_B$ , соответствующая максимуму кривой распределения, и среднеквадратичная скорость  $v_{KB}$  где  $\bar{v}$  – среднее значение квадрата скорости.
- С ростом температуры максимум кривой распределения смещается в сторону больших скоростей, при этом  $v_B$  и  $v_{KB}$  увеличиваются.



$T =$   К

$v =$   м/с

Стоп

Сброс

$v_{KB} = 1197 \text{ м/с}$

$v_B = 978 \text{ м/с}$

$\Delta v = 200 \text{ м/с}$

Скорости молекул некоторых газов  
при  $0^{\circ}\text{C}$

газ	<i>м/с</i>
углекислый газ	<i>360</i>
кислород	<i>425</i>
азот	<i>450</i>
водяной пар	<i>570</i>
гелий	<i>1200</i>
водород	<i>1700</i>

- Таким образом, давление разреженного газа в сосуде постоянного объема  $V$  изменяется прямо пропорционально его абсолютной температуре:

$$p \sim T$$

- С другой стороны, опыт показывает, что при неизменных объеме  $V$  и температуре  $T$  давление газа изменяется прямо пропорционально отношению количества вещества  $\nu$  в данном сосуде к объему  $V$  сосуда

$$p \sim \frac{\nu}{V} = \frac{N}{N_A V} = \frac{n}{N_A} \sim n,$$

где  $N$  – число молекул в сосуде,  $N_A$  – постоянная Авогадро,

$n = N / V$  – концентрация молекул (т. е. число молекул в единице объема сосуда).

пропорциональности, можно записать:

$$p = nkT,$$

где  $k$  – некоторая универсальная для всех газов постоянная величина.

Ее называют постоянной Больцмана, в честь австрийского физика [Л. Больцмана](#)

(1844–1906 г.), одного из создателей

молекулярно-кинетической теории. Постоянная

Больцмана – одна из фундаментальных

физических констант. Ее численное значение в

СИ равно:

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



Сравнивая соотношения  $p = nkT$  с основным уравнением молекулярно-кинетической теории газов, можно получить:

$$\overline{E_k} = \frac{3}{2}kT.$$

Средняя кинетическая энергия хаотического движения молекул газа прямо пропорциональна абсолютной температуре.

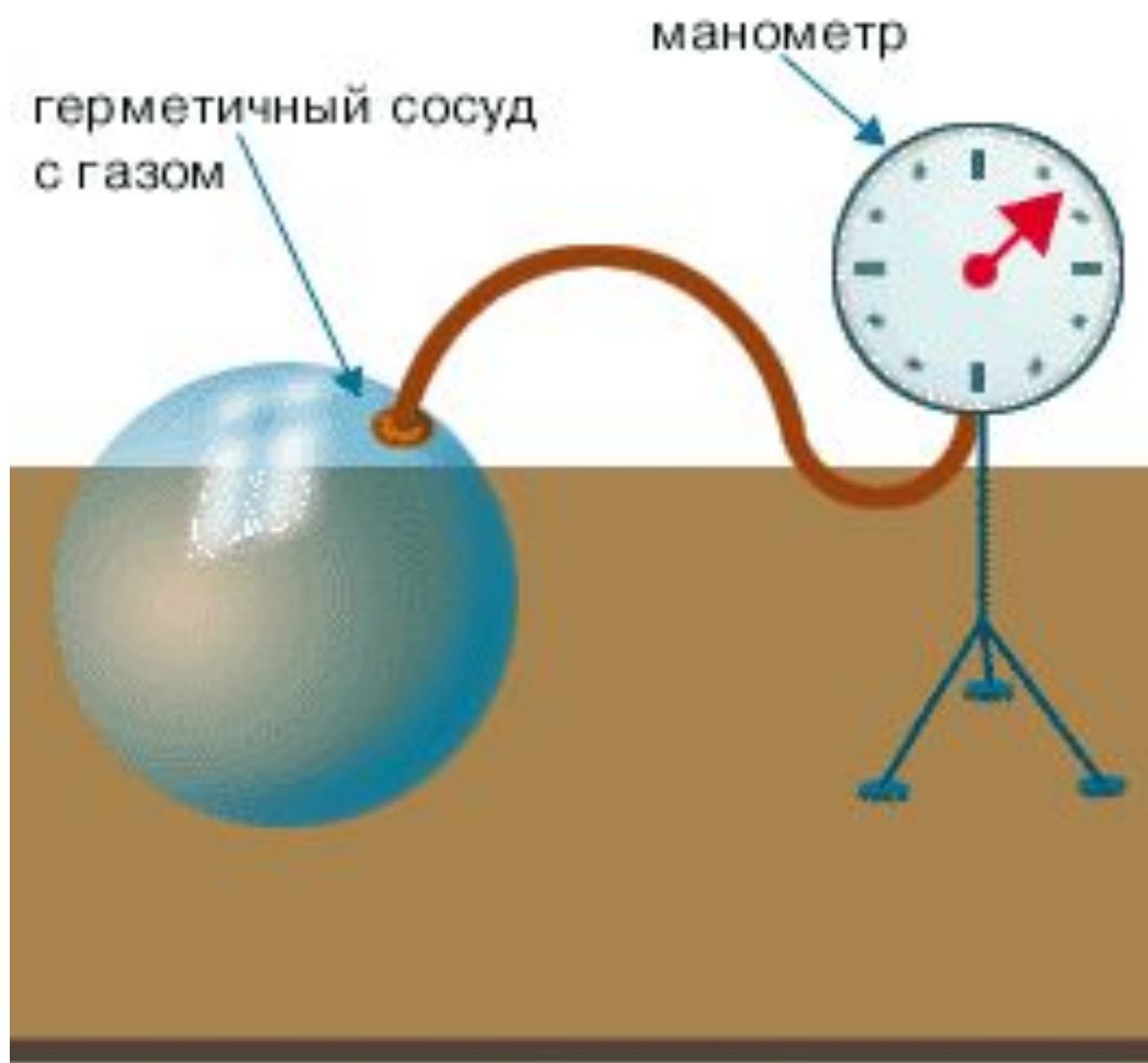
$$p = nkT$$

$$p = \frac{2}{3} n \bar{E}_K$$

$$nkT = \frac{2}{3} n \bar{E}_K$$

$$T = \frac{1}{k} \cdot \frac{2}{3} \cdot \bar{E}_K$$

Таким образом,  
температура есть мера  
средней кинетической  
энергии поступательного  
движения молекул.



Газовый термометр.

Давление смеси газов на стенки сосуда будет складываться из парциальных давлений каждого газа:

$$p = p_1 + p_2 + p_3 + \dots = (n_1 + n_2 + n_3 + \dots)kT.$$

В этом соотношении  $n_1, n_2, n_3, \dots$  – концентрации молекул различных газов в смеси.

Это соотношение выражает на языке молекулярно-кинетической теории экспериментально установленный в начале XIX столетия закон

Дальтона:

**давление в смеси химически невзаимодействующих газов равно сумме их парциальных давлений.**

# уравнение состояния идеального

## газа.

- Соотношение

$$p = nkT$$

может быть записано в другой форме, устанавливающей связь между макроскопическими параметрами газа – объемом  $V$ , давлением  $p$ , температурой  $T$  и количеством вещества  $\nu$ .

Для этого нужно использовать равенства

$$n = \frac{N}{V} = \frac{\nu N_A}{V} = \frac{m}{M} \frac{N_A}{V}$$

Здесь  $N$  – число молекул в сосуде,  $N_A$  – постоянная Авогадро,  $m$  – масса газа в сосуде,  $M$  – молярная масса газа.

- В итоге получим:

$$pV = \nu N_A kT = \frac{m}{M} N_A kT.$$

- Произведение постоянной Авогадро  $N_A$  на постоянную Больцмана  $k$  называется универсальной газовой постоянной и обозначается буквой  $R$ .

Ее численное значение в СИ :

$$R = 8,31 \text{ Дж/моль}\cdot\text{К}.$$

- Соотношение

$$pV = \nu RT = \frac{m}{M} RT.$$

называется уравнением состояния идеального газа.

- Для одного моля любого газа это соотношение принимает вид:

$$pV = RT.$$

- Уравнение, устанавливающее связь между давлением, объемом и температурой газа было получено в середине XIX века французским физиком [Б. Клапейроном](#), в форме

$$pV = \nu RT = \frac{m}{M} RT.$$

оно было впервые записано

[Д. И. Менделеевым](#). Поэтому уравнение

состояния газа называется [уравнением](#)

[Менделеева-Клапейрона](#)



# Клапейрон Бенуа Поль Эмиль



- (26.I.1799–28.I.1864)
- Французский физик, член Парижской АН (1858). Окончил Политехническую школу в Париже (1818). В 1820–30 работал в Петербурге в институте инженеров путей сообщения.

# Менделеев Дмитрий Иванович



- (8.II.1834–2.II.1907)
- Русский ученый-энциклопедист.. В 1874 вывел общее уравнение состояния идеального газа, обобщив уравнение Клапейрона (уравнение Клапейрона–Менделеева).

- Если температура газа равна  $T_H = 273,15 \text{ К}$  ( $0 \text{ °С}$ ), а давление  $p_H = 1 \text{ атм} = 1,013 \cdot 10^5 \text{ Па}$ , то говорят, что газ находится при **нормальных условиях**.
- Как следует из уравнения состояния идеального газа, один моль любого газа при нормальных условиях занимает один и тот же объем  $V_0$ , равный  $V_0 = 0,0224 \text{ м}^3/\text{моль} = 22,4 \text{ дм}^3/\text{моль}$ .
- Это утверждение называется

И последнее, но очень важное:

- Для постоянной МАССЫ идеального газа

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

$$p = nkT \quad n = \frac{N}{V}$$

$$p = \frac{N}{V} kT$$

$$\frac{pV}{T} = kN$$

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2} = \text{const}$$

Уравнение состояния идеального газа –  
уравнение Клапейрона.

Т.е. **для двух любых состояний**

**газа:**

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$$

**Есть величина  
постоянная!!!**

*(Поправьте крыши - у многих уже  
съезжают 😊)*

# Задание не для слабонервных :

Попытайтесь рассчитать чему равно соотношение

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

для одного моля газа при нормальных условиях

(подсказка на следующей страничке - ЯнСтМ 😞)

# Нормальные условия:

*(напоминаю в последний раз!)*

температура газа  $T_H = 273,15 \text{ К (0 } ^\circ\text{C)}$ ,  
а давление  $p_H = 1 \text{ атм} = 1,013 \cdot 10^5 \text{ Па}$

**Что, не знаете  
какой объём  
подставить?!**



# Закон Авогадро:

- *один моль любого газа при нормальных условиях занимает один и тот же объем  $V_0$ , равный*  
 $V_0 = 0,0224 \text{ м}^3/\text{моль} = 22,4 \text{ дм}^3/\text{моль}.$

(или 22,4 литра на моль!)

Сравним результат:

$$\frac{pV}{T} = \frac{10^5 \text{ Па} \cdot 0,024 \text{ м}^3 / \text{моль}}{273 \text{ К}} = 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$$

*Никто не ощутил приступа дежавю? Эта цифра сегодня уже мелькала!*

Точно, это она – **универсальная газовая постоянная!**

$$R = N_A \cdot k = 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$$

После такой  
загрузки требуется  
**хороший отдых!!!**

Удачи!!!