

**Связь между давлением и средней кинетической энергией. Абсолютная температура. Связь температуры со средней кинетической энергией.**

# Идеальный газ

**Идеальный газ** – математическая модель газа, в которой предполагается, что:

а) потенциальной энергией взаимодействия молекул можно пренебречь по сравнению с их кинетической энергией;

б) суммарный объём молекул газа пренебрежимо мал. Между молекулами не действуют силы притяжения или отталкивания, соударения частиц абсолютно упруги, а время взаимодействия между молекулами пренебрежимо мало по сравнению со средним временем между столкновениями.

# Основное уравнение МКТ

$$P = \frac{1}{3} \cdot m_0 \cdot n \cdot \overline{v_0^2}$$

Таким образом, основное уравнение МКТ вводит нам прямо пропорциональную зависимость макропараметра давления от микропараметров массы молекулы и средней скорости движения в квадрате. То есть чем тяжелее частицы и чем больше их скорости, тем сильнее они врезаются в стенки сосуда и



°C °F

**Абсолютная температура.  
Температура –  
мера средней кинетической энергии  
молекул**



40 40



40 40

## Запомни!

В формулах абсолютная температура обозначается буквой «Т», а температура по шкале Цельсия буквой «t».

$$T = t + 273$$

# Молекулярно - кинетический смысл температуры.

**Установлено, что при тепловом равновесии  
средние кинетические энергии  
поступательного движения молекул всех газов  
одинаковы, т.е.**

$$p = \frac{2}{3} n \cdot \overline{E_k} \rightarrow \overline{E_k} = \frac{3p}{2n} = \frac{3pV}{2N}$$



Для разреженных (идеальных) газов  
величина

$$\frac{pV}{N} = \text{const}$$

и зависит только от температуры, тогда

$$\frac{pV}{N} = kT$$

где **k** - постоянная Больцмана

$$p = n \cdot k \cdot T$$

**Следовательно,**

**Средняя кинетическая энергия  
поступательного движения молекул**

$$\overline{E_k} = \frac{3}{2} k \cdot T$$



Среднюю кинетическую энергию теплового движения молекул разреженного газа уменьшили в 2 раза и концентрацию молекул газа уменьшили в 2 раза. Чему равно отношение конечного давления к начальному?

**Решение.**

Давление разреженного газа пропорционально произведению концентрации молекул газа и средней кинетической энергии теплового движения, например, для одноатомного газа:

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

При одновременном уменьшении средней кинетической энергии теплового движения в два раза и концентрации молекул в два раза давление разреженного газа уменьшится в 4 раза.

Ответ: 0,25.

При неизменной концентрации молекул абсолютная температура идеального газа была увеличена в 4 раза. Во сколько раз изменилось давление газа?

**Решение.**

Давление идеального газа пропорционально произведению концентрации молекул газа и абсолютной температуры:

$$p = nkT.$$

При неизменной концентрации молекул и увеличении абсолютной температуры в 4 раза давление газа также увеличится в 4 раза.

Ответ: 4.

В результате нагревания идеального газа средняя кинетическая энергия теплового движения его молекул увеличилась в 4 раза. Во сколько раз изменилась абсолютная температура газа?

**Решение.**

Средняя кинетическая энергия теплового движения молекул идеального газа прямо пропорциональна абсолютной температуре:

$$\bar{E} = \frac{3}{2}kT.$$

Следовательно, при увеличении средней кинетической энергии теплового движения в 4 абсолютная температура газа также увеличится в 4 раза.

Ответ: 4.

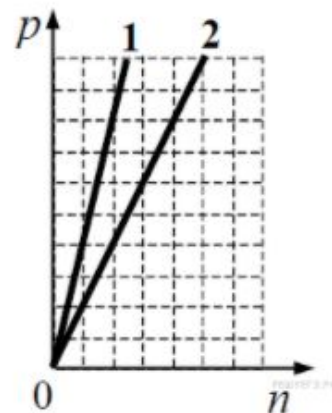
Чему равно соотношение давлений в сосудах с кислородом и водородом  $p_{\text{к}}/p_{\text{в}}$ , если концентрации газов и среднеквадратичные скорости одинаковы?

**Решение.**

Давление газа пропорционально произведению его концентрации и средней кинетической энергии теплового движения:  $p = \frac{2}{3}n\bar{E}$ . Последняя связана со среднеквадратичной скоростью соотношением:  $\bar{E} = \frac{mv_{\text{ср.кв.}}^2}{2}$ . Поскольку молекула кислорода в 16 раз тяжелее молекулы водорода, а по условию, среднеквадратичные скорости газов совпадают, средние энергии теплового движения у газов отличаются в 16 раз. Таким образом,  $p_{\text{к}}/p_{\text{в}} = 16$ .

Ответ: 16.

На графике показана зависимость давления от концентрации для двух идеальных газов при фиксированных температурах. Чему равно отношение температур  $\frac{T_2}{T_1}$  этих газов?



**Решение.**

Согласно уравнению идеального газа, давление идеального газа связано с концентрацией его молекул и температурой соотношением:  $p = nkT$ . Таким образом, температура газа пропорциональна отношению его давления к концентрации:

$T = \frac{1}{k} \cdot \frac{p}{n}$ . Из графика видно, что для первого идеального газа величина  $\frac{p}{n}$  в 2 раза больше, чем для второго, а значит,

отношение температур этих газов равно  $\frac{T_2}{T_1} = \frac{(\frac{p}{n})_2}{(\frac{p}{n})_1} = \frac{1}{2}$ .

Ответ: 0,5.

При неизменной плотности одноатомного идеального газа давление этого газа увеличивают в 4 раза. Во сколько раз изменяется при этом среднеквадратичная скорость движения его атомов?

**Решение.**

Давление идеального газа можно найти по формуле  $p = \frac{2}{3}nE_{\text{кин.среднее}}$ . Концентрация равна  $n = \frac{1}{V} = \frac{\rho}{m}$ , где  $m$  — масса всего газа. Следовательно, концентрация, также как и плотность газа, остаётся постоянной. Средняя кинетическая энергия атомов газа  $E_{\text{кин.среднее}} = \frac{m_{\text{ат}}\langle v^2 \rangle}{2}$ , где  $m_{\text{ат}}$  — масса атомов газа. Подставим выражение для  $E_{\text{кин.среднее}}$  в уравнение для  $p$  и выразим квадрат средней скорости.

$$p = \frac{2}{3}n \frac{m_{\text{ат}}\langle v^2 \rangle}{2} \Leftrightarrow \langle v^2 \rangle = \frac{3p}{n \cdot m_{\text{ат}}}.$$

Среднеквадратичная скорость движения атомов равна корню из среднего квадрата скорости атомов  $v_{\text{кв}} = \sqrt{\langle v^2 \rangle} = \sqrt{\frac{3p}{n \cdot m_{\text{ат}}}}$ . Следовательно, при увеличении давления в 4 раза среднеквадратичная скорость движения атомов газа возрастёт в 2 раза.

**Ответ:** 2.

При неизменном давлении одноатомного идеального газа среднеквадратичная скорость движения его атомов увеличилась в 2 раза. Чему равно отношение конечной плотности газа к начальной?

**Решение.**

Давление идеального газа можно найти по формуле  $p = \frac{2}{3}nE_{\text{кин. ср.}}$ . Концентрация равна  $n = \frac{N}{V} = \frac{N\rho}{m} = \frac{\rho}{m_{\text{ат}}}$ , где  $m$  — масса всего газа,  $m_{\text{ат}}$  — масса атома. Средняя кинетическая энергия атомов газа  $E_{\text{кин. ср.}} = \frac{m_{\text{ат}}\langle v^2 \rangle}{2}$ . Подставим выражение для  $E_{\text{кин. ср.}}$  в уравнение для  $p$  и выразим плотность газа.

$$p = \frac{2}{3} \cdot \frac{\rho}{m_{\text{ат}}} \cdot \frac{m_{\text{ат}}\langle v^2 \rangle}{2} \Leftrightarrow \rho = \frac{3p}{\langle v^2 \rangle}.$$

Среднеквадратичная скорость движения атомов равна корню из среднего квадрата скорости атомов  $v_{\text{кв}} = \sqrt{\langle v^2 \rangle}$ . Следовательно, при увеличении среднеквадратичной скорости движения атомов в 2 раза плотность газа уменьшается в 4 раз.

Ответ: 0,25.



Во сколько раз изменится давление молекул газа на стенки сосуда при уменьшении объёма в 3 раза при неизменной температуре?

**Решение.**

Основное уравнение МКТ связывает макроскопические параметры (давление, объём, температура) термодинамической системы с микроскопическими (масса молекул, средняя скорость их движения)  $p = nkT$ , где  $n = \frac{N}{V}$  — концентрация молекул газа. Из этого следует, что уменьшение объёма газа приведет к увеличению давления в 3 раза.

Ответ: 3.

Во сколько раз уменьшится средняя кинетическая энергия движения молекул идеального газа, если давление увеличится в 2 раза, а концентрация молекул увеличится в 6 раз?

**Решение.**

Основное уравнение МКТ связывает макроскопические параметры (давление, объём, температура) термодинамической системы с микроскопическими (масса молекул, средняя скорость их движения)  $p = nkT$ , где  $n$  — концентрация молекул газа. Из этого следует, что увеличение давления газа в 2 раза и увеличение концентрации частиц в 6 раз приведёт к уменьшению температуры в 3 раза.

Средняя кинетическая энергия теплового движения молекул идеального газа прямо пропорциональна абсолютной температуре:

$$\bar{E} = \frac{3}{2}kT.$$

При понижении абсолютной температуры в 3 раза средняя кинетическая энергия также уменьшится в 3 раза.

Ответ: 3.

При построении температурной шкалы Реомюра принимается, что при нормальном атмосферном давлении лёд тает при температуре 0 градусов Реомюра ( $^{\circ}\text{R}$ ), а вода кипит при температуре 80  $^{\circ}\text{R}$ . Найдите, чему равна средняя кинетическая энергия поступательного теплового движения частицы идеального газа при температуре 91  $^{\circ}\text{R}$ . Ответ выразите в эВ и округлите до сотых долей.

**Решение.**

Из описания следует, что один градус шкалы Реомюра соответствует  $\frac{100}{80} = 1,25$   $^{\circ}\text{C}$ .

Соответственно 91  $^{\circ}\text{R}$  — это  $100 + 11 \cdot 1,25 = 113,75$   $^{\circ}\text{C}$  или  $113,75 + 273 = 386,75$  К.

Средняя кинетическая энергия теплового движения частиц идеального газа связана с температурой соотношением

$$\bar{E}_k = \frac{3}{2}kT = 1,5 \cdot 8,62 \cdot 10^{-5} \text{ эВ/К} \cdot 386,75 \text{ К} \approx 0,05 \text{ эВ.}$$

Ответ: 0,05.

Активация Windows

Чтобы активировать Windows, перейдите на [www.microsoft.com/windows/activation](#)

Идеальный газ находится в закрытом сосуде при нормальном атмосферном давлении. При неизменной концентрации молекул средняя кинетическая энергия хаотического теплового движения молекул уменьшается на 2%. Определите конечное давление газа. Ответ выразите в кПа.

**Решение.**

Средняя кинетическая энергия теплового движения молекул идеального газа прямо пропорциональна абсолютной температуре:

$$\bar{E} = \frac{3}{2}kT.$$

Следовательно, при уменьшении средней кинетической энергии на 2% происходит уменьшение температуры газа на 2%.

Основное уравнение МКТ связывает макроскопические параметры (давление, объём, температура) термодинамической системы с микроскопическими (масса молекул, средняя скорость их движения)  $p = nkT$ , где  $n$  — концентрация молекул газа. Так как температура уменьшается на 2%, то и давление уменьшится на 2%. Отсюда

$$p_2 = 0,98p_1 = 0.98 \cdot 100 \text{ кПа} = 98 \text{ кПа}.$$

Ответ: 98.

Температура порции идеального газа увеличилась на 773 К. На сколько возросла средняя энергия хаотического теплового движения одной молекулы, входящей в состав этой порции газа? Ответ выразите в электронвольтах и округлите до десятых долей.

**Решение.**

Средняя кинетическая энергия хаотического теплового движения молекул идеального газа связана с температурой соотношением

$$\bar{E}_k = \frac{3}{2}kT.$$

При увеличении температуры эта энергия увеличится на

$$\Delta\bar{E}_k = \frac{3}{2}k\Delta T = \frac{3}{2} \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 773 \approx 1600 \cdot 10^{-23} \text{ Дж} = \frac{1600 \cdot 10^{-23}}{1,6 \cdot 10^{-19}} \text{ эВ} = 0,1 \text{ эВ}.$$

Ответ: 0,1.

В закрытом сосуде находится идеальный газ при давлении  $105/50$  Па и температуре, соответствующей среднеквадратичной скорости теплового хаотического движения молекул  $494$  м/с. Чему равна плотность этого газа? Ответ выразите в  $\text{кг/м}^3$  и округлите до десятых долей.

**Решение.**

Средняя энергия теплового движения молекул связана с абсолютной температурой газа соотношением

$$\bar{E} = \frac{mv^2}{2} = \frac{3}{2}kT,$$

где  $m$  — масса одной молекулы.

По определению среднеквадратичная скорость равна

$$\bar{v} = \sqrt{v^2} = \sqrt{\frac{3kT}{m}},$$

Согласно уравнению состояния идеального газа давление связано с температурой газа

$$p = nkT.$$

Тогда преобразуем предыдущее уравнение

$$\bar{v} = \sqrt{v^2} = \sqrt{\frac{3p}{mn}}.$$

Учитывая то, что плотность газа — это произведение массы одной молекулы на концентрацию газа, получим

$$\rho = mn = \frac{3p}{\bar{v}^2} \approx 1,3 \text{ кг/м}^3.$$

Ответ: 1,3.

Активация

Чтобы активир

Конечная температура газа в некотором процессе —  $373\text{ }^{\circ}\text{C}$ . В ходе этого процесса объём идеального газа увеличился в 2 раза, а давление не изменилось. Какова была начальная абсолютная температура газа в кельвинах?

**Решение.**

В начальный момент времени уравнение состояния идеального газа имело вид  $p_1V = \nu RT_{\text{нач}}$ , а в конечный —  $2p_1V = \nu RT_{\text{кон}}$ , откуда можно сделать вывод, что начальная температура была в 2 раза меньше конечной. Конечная абсолютная температура:  $T_{\text{кон}} = 373 + 273 = 646\text{ K}$ . Значит, начальная абсолютная температура составила тогда  $T_{\text{нач}} = 646 : 2 = 323\text{ K}$ .

Ответ: 323 К.



Броуновская частица массой  $1,3 \cdot 10^{-15}$  кг находится в жидкости при температуре 300 К. Чему равна среднеквадратичная скорость этой частицы, если в системе установилось термодинамическое равновесие? Ответ дайте в мм/с и округлите до целого числа.

**Решение.**

Среднеквадратичная скорость частицы равна

$$v = \sqrt{\frac{3kT}{m}} = \sqrt{\frac{3 \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 300}{1,3 \cdot 10^{-15}}} \approx 3 \cdot 10^{-3} \text{ м/с} = 3 \text{ мм/с.}$$

Ответ: 3.

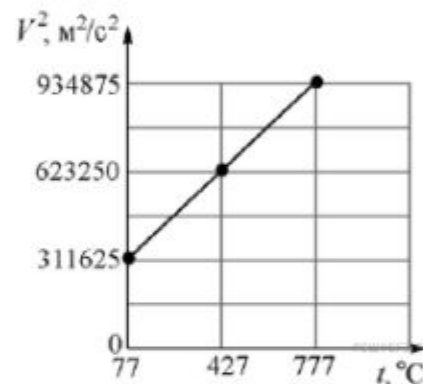
При некотором значении среднеквадратичной скорости хаотического движения молекул идеального газа средняя кинетическая энергия его молекул равна  $56 \cdot 10^{-22}$  Дж. На сколько увеличится средняя кинетическая энергия молекул этого газа после увеличения средней квадратичной скорости его молекул в 2 раза? В качестве ответа приведите целое число, которое должно умножаться на  $10^{-22}$  Дж.

**Решение.**

Средняя кинетическая энергия и среднеквадратичная скорость молекул связаны соотношением  $E = \frac{m_0 v^2}{2}$ . При увеличении средней квадратичной скорости в 2 раза кинетическая энергия увеличится в 4 раза, т. е. станет равной  $4 \cdot 56 \cdot 10^{-22} = 224 \cdot 10^{-22}$  Дж. Таким образом, кинетическая энергия увеличилась на  $224 \cdot 10^{-22} - 56 \cdot 10^{-22} = 168 \cdot 10^{-22}$  Дж.

Ответ: 168.

На рисунке изображён график зависимости величины среднего значения квадрата скорости молекул идеального газа от температуры. Определите молярную массу этого газа. Ответ выразите в г/моль и округлите до целого числа.



**Решение.**

Средний квадрат скорости молекулы равен  $\bar{v}^2 = \frac{3RT}{M}$ . Откуда, используя данные из графика, находим:

$$M = \frac{3RT}{\bar{v}^2} = \frac{3 \cdot 8,31 \cdot 700}{623250} = 0,028 \text{ кг/моль} = 28 \text{ г/моль}.$$

Ответ: 28.