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

Абсолютная температура.

Температура –

мера средней кинетической энергии молекул

Запомни!

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

$$T = t + 273$$

Молекулярно - кинетический смыл 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

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

и зависит только от температуры, тогда

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

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.

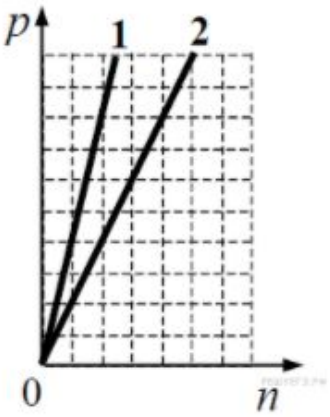
Чему равно соотношение давлений в сосудах с кислородом и водородом $p_к/p_в$, если концентрации газов и среднеквадратичные скорости одинаковы?

Решение.

Давление газа пропорционально произведению его концентрации и средней кинетической энергии теплового движения: $p = \frac{2}{3}n\overline{E}$. Последняя связана со среднеквадратичной скоростью соотношением: $\overline{E} = \frac{mv^2_{ср.кв.}}{2}$. 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, $p_к/p_в = 16$.

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 $\frac{T_2}{T_1} = \frac{\left(\frac{p}{n}\right)_2}{\left(\frac{p}{n}\right)_1} = \frac{1}{2}$.

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 $p = \frac{2}{3} n E_{\text{кин.среднее}}$. 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 $p = \frac{2}{3} n E_{\text{кин. ср.}}$. 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 объема 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 (°R), а вода кипит при температуре 80 °R. Найдите, чему равна средняя кинетическая энергия поступательного теплового движения частицы идеального газа при температуре 91 °R. Ответ выразите в эВ и округлите до сотых долей.

Решение.

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

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

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

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

Ответ: 0,05.

Активация Windows
Чтобы активировать Windows, пе

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

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

При увеличении температуры эта энергия увеличится на

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

Ответ: 0,1.

В закрытом сосуде находится идеальный газ при давлении 105750 Па и температуре, соответствующей среднеквадратичной скорости теплового хаотического движения молекул 494 м/с. Чему равна плотность этого газа? Ответ выразите в кг/м^3 и округлите до десятых долей.

Решение.

Средняя энергия теплового движения молекул связана с абсолютной температурой газа соотношением

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

где m — масса одной молекулы.

По определению среднеквадратичная скорость равна

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

Согласно уравнению состояния идеального газа давление связано с температурой газа

$$p = nkT.$$

Тогда преобразуем предыдущее уравнение

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

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 активиро

Конечная температура газа в некотором процессе — 373 °С. 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 идеально газа имело вид $p_1V = \nu RT_{нач}$, а в конечный — $2p_1V = \nu RT_{кон}$, откуда можно сделать вывод, что начальная температура была в 2 раза меньше конечной. Конечная абсолютная температура: $T_{кон} = 373 + 273 = 646$ К. Значит, начальная абсолютная температура составила тогда $T_{нач} = 646 : 2 = 323$ К.

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.

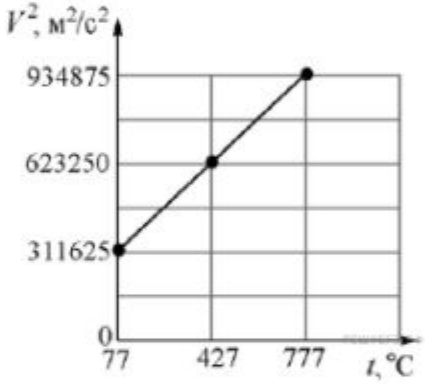
При некотором значении среднеквадратичной скорости хаотического движения молекул идеального газа средняя кинетическая энергия его молекул равна $56 \cdot 10^{-22}$ Дж. На сколько увеличится средняя кинетическая энергия молекул этого газа после увеличения средней квадратичной скорости его молекул в 2 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 $\overline{v}^2 = \dfrac{3RT}{M}$. Откуда, используя данные из графика, находим: $M = \dfrac{3RT}{\overline{v}^2} = \dfrac{3 \cdot 8,31 \cdot 700}{623250} = 0,028$ кг/моль $= 28$ г/моль.

Ответ: 28.