

### Уровень 3

Во сколько раз среднеквадратичная скорость молекул кислорода меньше, чем среднеквадратичная скорость молекул водорода при той же температуре?

#### Решение:

Для вычисления среднеквадратичной скорости  $\langle v \rangle$  удобнее воспользоваться формулой  $\langle v \rangle = \sqrt{\frac{3RT}{M}}$ :

$$\langle v_1 \rangle = \sqrt{\frac{3RT}{M_1}} \text{ - для кислорода, где } M_1 = 0,032 \text{ кг/моль;}$$

$$\langle v_2 \rangle = \sqrt{\frac{3RT}{M_2}} \text{ - для водорода, где } M_2 = 0,002 \text{ кг/моль.}$$

Искомым является отношение

$$\frac{\langle v_2 \rangle}{\langle v_1 \rangle} = \sqrt{\frac{3RT}{M_2}} \cdot \sqrt{\frac{M_1}{3RT}} = \sqrt{\frac{M_1}{M_2}} = \sqrt{\frac{0,032}{0,002}} = 4.$$

Таким образом, скорость молекул водорода в 4 раза превышает скорость молекул кислорода.

**Ответ:** скорость молекул водорода в 4 раза превышает скорость молекул кислорода.

### Уровень 4

При какой температуре средняя квадратичная скорость поступательного движения молекул гелия  $\langle v_{\text{кв}} \rangle = 1400 \text{ м/с}$ ? Для этой температуры определить полную энергию всех молекул гелия, масса которого  $m = 100 \text{ г}$ .

#### Решение:

Средняя кинетическая энергия поступательного движения молекул рассчитывается по формуле

$$\langle E_{\text{к}} \rangle = \frac{3}{2} kT.$$

С другой стороны,

$$\langle E_{\text{к}} \rangle = \frac{m_0 \langle v_{\text{кв}} \rangle^2}{2},$$

где  $m_0$  - масса атома гелия.

Т.к.

$$m_0 = \frac{M}{N_A},$$

где  $M$  - молярная масса гелия, получим:

$$3kT = \frac{M}{N_A} \langle v_{\text{кв}} \rangle^2.$$

Отсюда

$$T = \frac{M \langle v_{\text{кв}} \rangle^2}{3kN_A}; \quad T=315\text{K}.$$

Полная энергия всех атомов

$$E = N \langle E_k \rangle = \frac{Nm_0 \langle v_{\text{кв}} \rangle^2}{2},$$

где N-число атомов гелия.

Т.к.  $Nm_0=m$ - масса всех атомов гелия, то

$$E = \frac{m \langle v_{\text{кв}} \rangle^2}{2}; \quad E=98\text{кДж}.$$

**Ответ:**  $T=315\text{K}$ ,  $E=98\text{кДж}$ .

### Уровень 5

Определить среднеквадратичную скорость молекулы аргона при давлении 20 кПа. Концентрация молекул этого газа при указанном давлении составляет  $3 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-3}$ . Молярная масса аргона равна 40 г/моль.

**Решение:**

Вычисление среднеквадратичной скорости  $\langle v \rangle$  произведем по формуле

$$\langle v \rangle = \sqrt{\frac{3P}{\rho}},$$

где P- давление газа,  $\rho$ - его плотность.

Плотность выразим из формулы

$$\rho = \frac{m}{V}, \quad \rho = \frac{m}{V},$$

массу вычислим по формуле  $m = M \frac{N}{N_A}$ .

Подставим выражение для m в формулу для  $\rho$ :

$$\rho = M \frac{N}{N_A V},$$

где отношение  $\frac{N}{V} = n$  - концентрация молекул.

Следовательно,  $\rho = \frac{M \cdot n}{N_A}$ . Эту формулу подставим в выражение для среднеквадратичной скорости и вычислим значение  $\langle v \rangle$ :

$$\langle v \rangle = \sqrt{\frac{3P}{M \cdot n} N_A} = \sqrt{\frac{3 \cdot 20 \cdot 10^3 \cdot 6 \cdot 10^{23}}{40 \cdot 10^{-3} \cdot 3 \cdot 10^{25}}} \approx 173 \text{ м/с}.$$

$$\textbf{Ответ: } \langle v \rangle = \sqrt{\frac{3P}{M \cdot n} N_A} = \sqrt{\frac{3 \cdot 20 \cdot 10^3 \cdot 6 \cdot 10^{23}}{40 \cdot 10^{-3} \cdot 3 \cdot 10^{25}}} \approx 173 \text{ м/с}.$$