Азот и водяной пар в сосудах

Задача 2. [МОШ 2012/13, 8 класс, задача 2] Имеются два сосуда объемом 1 м^3 каждый. В первом сосуде находится 1 кг азота, во втором — смесь азота и 18 г водяного пара. Количество молекул в обоих сосудах одинаково. Найдите отношение массы содержимого второго сосуда к массе содержимого первого сосуда. Масса молекулы воды составляет 9/14 от массы молекулы азота.

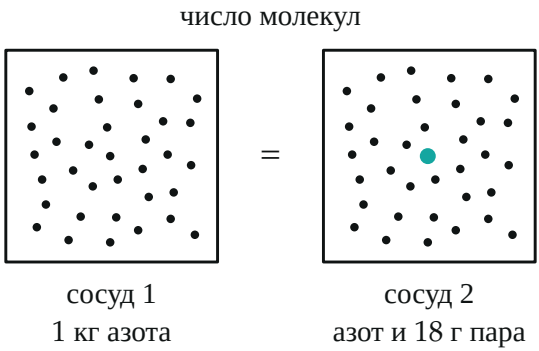


Схема: в сосудах поровну молекул (здесь по 36); чёрные точки — азот, бирюзовая — вода. Не в масштабе по размерам.

▲ **Решение. Что происходит.** Число молекул в сосудах одинаково, поэтому второй сосуд получается из первого заменой части лёгких по массе молекул азота на молекулы воды: молекула воды легче молекулы азота. Значит, масса второго сосуда меньше, а отношение масс меньше единицы. Объём и температура не нужны: нас интересует только число и масса молекул.

Обозначения. m — масса молекулы азота, тогда масса молекулы воды $\frac{9}{14}m$; N — число молекул в каждом сосуде; n — число молекул воды во втором сосуде; $M_1 = 1$ кг, M_2 — масса содержимого второго сосуда.

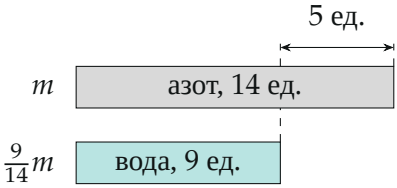
1. Число молекул в первом сосуде. Весь газ — азот: масса равна числу молекул на массу одной,

$$M_1 = Nm \;\Rightarrow\; N = \frac{M_1}{m}.$$

2. Число молекул воды во втором сосуде. Масса пара $m_{\text{п}} = 18$ г $= 0{,}018$ кг складывается из масс его молекул:

$$n = \frac{m_{\text{п}}}{\frac{9}{14}m} = \frac{14}{9} \cdot \frac{0{,}018 \text{ кг}}{m} = \frac{0{,}028 \text{ кг}}{m}.$$

Доля воды среди молекул: $n/N = \dfrac{0{,}028 \text{ кг}}{M_1} = 0{,}028$, то есть примерно $1/36$ молекул.



Масса молекул в условных единицах: $m = 14$ ед., молекула воды — 9 ед.; при замене молекулы азота на молекулу воды масса сосуда падает на 5 ед.

3. Что «потерялось» при замене. Каждая замена молекулы азота на молекулу воды уменьшает массу на $m - \frac{9}{14}m = \frac{5}{14}m$. Всего заменено n молекул:

$$M_1 - M_2 = n \cdot \frac{5}{14}m = \frac{0{,}028 \text{ кг}}{m} \cdot \frac{5m}{14} = 0{,}010 \text{ кг}.$$

Масса молекулы m сократилась, поэтому её значение знать не нужно. Отсюда $M_2 = 1 - 0{,}010 = 0{,}990$ кг, а

$$\frac{M_2}{M_1} = \frac{0{,}990}{1} = 0{,}99.$$

Проверка. Другой способ: посчитаем массу содержимого второго сосуда напрямую. Азота в нём $N - n$ молекул, то есть $M_1 - 0{,}028 = 0{,}972$ кг; воды 0,018 кг; вместе $0{,}972 + 0{,}018 = 0{,}990$ кг, как и выше. Наглядно по схеме выше: возьмём в каждом сосуде по 36 молекул, массу молекулы азота примем за 14 ед. Тогда в первом $36 \cdot 14 = 504$ ед., во втором

$35 \cdot 14 + 9 = 499$ ед., и $499/504 \approx 0{,}990$. Масса второго сосуда чуть меньше, как и должно быть: вода легче азота, но её молекул мало.

Ответ. Отношение масс равно 0,99.