

6. В конце XIX века лорд Рэлей занимался исследованием воздуха. Он заметил, что «азот», полученный из воздуха удалением кислорода при одних и тех же условиях, имеет большую плотность, чем азот, полученный разложением нитрита аммония. А именно, плотность «азота», полученного из воздуха при  $T = 273.15 \text{ К}$  и  $p = 101325 \text{ Па}$  составляла  $1.2565 \text{ г/л}$ , а азот, полученный разложением нитрита аммония, имел плотность  $1.2493 \text{ г/л}$ .

- 1) Объясните причину разницы в плотностях азота, получаемого двумя разными способами.
- 2) Напишите уравнение реакции разложения нитрита аммония
- 3) Рассчитайте молярную массу и назовите вещество, открытое в результате данного эксперимента. Считайте воздух газообразным раствором, который содержит 21% кислорода и 78 % азота по объему соответственно. Ответ подтвердите расчётами.

Примечание: уравнение состояния идеального газа имеет вид  $pV=nRT$ , где  $p$  – давление газа, Па,  $V$ – объем газа,  $\text{м}^3$ ,  $n$  – количество газа, моль,  $R=8.314 \text{ Дж/(моль}\cdot\text{К)}$  – универсальная газовая постоянная,  $T$  – температура, К. Молярные массы используйте с точностью до сотых.

## № 6

1) Различные плотности азота по результатам двух разных способов его получения свидетельствуют о том, что продукты этих двух разных способов не одни и те же, и имеют различный состав. В результате разложения нитрита получается чистый азот, в то время как в воздухе, после удаления кислорода, помимо азота присутствуют и другие газы, пусть и в малых количествах.

2) Запишем уравнение Менделеева-Клапейрона для идеального газа:

$$pV = nRT; n = \frac{m}{M}, \text{ где } m - \text{масса газа, } M - \text{молярная масса газа.}$$

$$pV = \frac{m}{M} RT \quad p = \frac{m}{V} \frac{RT}{M} = \frac{\rho RT}{M}, \rho - \text{плотность газа}$$

$$M = \frac{\rho RT}{p}$$

Получаем выражение, по которому, зная плотность, можно найти молярную массу газа. Для двух плотностей, указанных в задаче получаем:

$$M = \frac{1.2565 \frac{\text{г}}{\text{л}} \cdot 0.08314 \frac{\text{л}\cdot\text{атм}}{\text{моль}\cdot\text{К}} \cdot 273.15 \text{ К}}{101325 \text{ Па}} = 28.162 \frac{\text{г}}{\text{моль}} \text{ для азота, полученного из воздуха}$$

$$M = \frac{1.2493 \frac{\text{г}}{\text{л}} \cdot 0.08314 \frac{\text{л}\cdot\text{атм}}{\text{моль}\cdot\text{К}} \cdot 273.15 \text{ К}}{101325 \text{ Па}} = 28.000 \frac{\text{г}}{\text{моль}} \text{ для азота, полученного из нитрита аммония}$$

Видно, что в случае азота из воздуха молярная масса больше той, которая ожидается для азота, в то же время, в опыте с получением азота путем разложения нитрита молярная масса соответствует чистому азоту. Это означает, что в азоте, полученном из воздуха, есть более тяжелая примесь. Тогда после удаления кислорода из воздуха остается не чистый азот, а смесь азота с еще каким-то газом, который в дальнейшем мы обозначим как X.

Средняя молярная масса  $M$  смеси, в таком случае, вычисляется по формуле:

$$M = M(N_2)\varphi(N_2) + M(X)\varphi(X)$$

$M(N_2), M(X)$  – молярная масс азота и примеси,

$\varphi(N_2), \varphi(X)$  – объемные доли азота и примеси.

Из этого выражения можно найти  $M(X)$ :

$$M(X) = \frac{M - M(N_2)\varphi(N_2)}{\varphi(X)}$$

Выше мы уже вычислили молярную массу «азота», который на самом деле смесь азота с примесью X, то есть  $M$ , в выражении выше, известно. Молярная масса азота тоже известна. Остается определиться с объемными долями азота и примеси в смеси. В условии задачи даны объемные доли кислорода и азота. Их сумма не равна 100%, а равна 99%, 1% как раз приходится на примесь X. Плотность в 1.2565 г/л соответствует азоту с примесью другого газа, когда объемные доли азота и примеси уже не равны 78% и 1% соответственно, их нужно пересчитать.

$$\varphi(N_2) = \frac{0.78}{0.78 + 0.01} = 0.9873$$

$$\varphi(X) = 1 - \varphi(N_2) = 0.0127$$

Теперь, когда известны объемные доли азота и примеси в смеси, можно найти молярную массу примеси из уравнения выше.

$$M(X) = \frac{28.16 - 28.01 \cdot 0.9873}{0.0127} = 39.82 \frac{\text{г}}{\text{моль}}$$

Данная молярная масса соответствует аргону. В результате мы пришли к выводу, что в состав воздуха входит 1% аргона по объему.

#### Рекомендации к оцениванию:

- |    |   |         |
|----|---|---------|
| 1. | Указание на третий компонент в воздухе помимо $N_2$ и $O_2$   | 2 балла |
| 2. | Расчет средних молярных масс для двух путей получения азота по 1 баллу за каждую молярную массу   | 2 балла |
|    | <i>допускается выход на молярные массы через уравнение <math>M = \rho V_M</math></i>  |         |
| 3. | Вычисление объемных долей азота и примеси в воздухе после удаления кислорода по 1 баллу за каждую объемную долю   | 2 балла |
| 4. | Вычисление молярной массы примеси   | 2 балла |
| 5. | Указание на аргон с предшествующим этому расчетом. В качестве расчета засчитывается численная проверка догадки о том, что недостающий 1% соответствует аргону. Без расчёта 0 баллов | 2 балла |

**ИТОГО: 10 баллов**

