



### № 3

Определение веществ **A** и **B**. Совокупность информации о химических свойствах **A** вкупе с температурой кипения и замерзания позволяет сделать вывод о том, что это вещество – вода ( $H_2O$ ). Подтверждение можно найти в относительной плотности паров по воздуху:

$$M(A) = D_{N_2} \cdot M(N_2) = 28 \cdot 0.643 = 18 \text{ г/моль}$$

Схожесть химических свойств при отличающихся физических, а также метод получения, должны натолкнуть на мысль, что вещество **B** – это тяжелая вода ( $D_2O$ ). Такое предположение подтверждается аналогичным расчетом:

$$M(B) = D_{N_2} \cdot M(N_2) = 28 \cdot 0.714 = 20 \text{ г/моль}$$

Варианты с перекисью водорода отсекаются отсутствием взаимодействия с перманганатом калия, а также молярными массами.

Газ **C** с запахом тухлых яиц – сероводород, однако при вычислении молярной массы получаем ее на 1 г/моль больше, чем в  $H_2S$ . Отсюда необходимо сделать вывод, что это изотопно-замещенный вариант  $HDS$ . Вещество **E** –  $HDO$ , вещество **D** –  $H_2S$

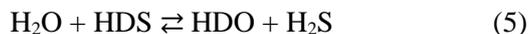
Уравнения реакций, упомянутые в задаче:



Уравнения электролиза:



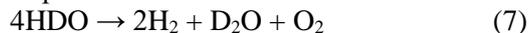
Равновесие сероводородного обмена:



Уравнение обмена тяжелой воды с обычной:



Вещество **E**, однократно изотопно-замещенная вода  $HDO$  при электролизе в первую очередь выделяет водород  $H_2$  – данное явление называется изотопным эффектом. Именно это явление лежит в основе процесса обогащения воды дейтерием.



Причина различий в физических свойствах тяжелой и легкой воды лежит в существовании различных стабильных изотопов водорода в природе – протия и дейтерия. При этом различия в химических свойствах объясняются изотопным эффектом из-за того, что масса атома протия в два раза меньше массы атома дейтерия.

В быту тяжелая вода получена быть не может. Бытует мнение, что при многократном кипячении воды в чайнике там накапливается тяжелая вода, однако её содержание слишком мало, а разница в температурах кипения тяжелой и обычной воды слишком мала, чтобы тяжелая вода накопилась в сколько-то заметном количестве.

#### Рекомендации к оцениванию:

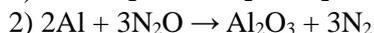
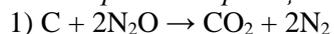
- |  |           |
|--|-----------|
| 1. Молекулярные и структурные формулы <b>A</b> – <b>E</b> по 0.5 балла | 5 баллов  |
| 2. Уравнения реакций по 0.5 балла                                      | 3.5 балла |
| 3. Указание на существование изотопов водорода – 0.5 балла             | 1.5 балла |
| Объяснение невозможности получения <b>B</b> в быту – 1 балл            |           |

**ИТОГО: 10 баллов**

### № 4

Учитывая, что соединение **X** – бинарное, а также, что оно разлагается на простые вещества, входящие в состав воздуха, очевидно, что речь идет о каком-то оксиде азота. В совокупности с данными о невозможности взаимодействия с кислотами и щелочами, а также применением в медицине, **X** –  $N_2O$ . В пищевой промышленности оксид азота (I) используется в качестве пропеллента (например, для изготовления взбитых сливок).

Уравнения реакций:



Пусть через 1 л воды пропустили 1 л (н.у.) N<sub>2</sub>O. Растворимость оксида азота (I) составляет 118 мг / 100 г воды. В 1 л воды (1000 г) растворится 118·10 = 1180 мг = 1.18 г N<sub>2</sub>O.

$$v(\text{N}_2\text{O}) = \frac{1.18}{44} = 0.0268 \text{ моль}$$

$$V(\text{N}_2\text{O}) = 0.0268 \cdot 22.4 = 0.6 \text{ л}$$

Таким образом, поглотится  $\frac{0.6}{1} = 0.6$  (**60 %**) оксида азота (I).

**Рекомендации к оцениванию:**

- |   |          |
|---|----------|
| 1. Формула вещества <b>X</b> – 1 балл   | 1 балл   |
| 2. Уравнения <i>реакций</i> 1 – 3 по 1 баллу  | 5 баллов |
| Уравнение <i>реакции</i> 4 – 2 балла  |          |
| 3. Обоснование использования в пищевой промышленности – 1 балл  | 1 балл   |
| 2. Расчет части поглощаемого газа (об. %) – 3 балла   | 3 балла  |
| <i>при верном решении с арифметической ошибкой или отсутствии указания размерностей в промежуточных вычислениях – 1.5 балла</i> |          |

**ИТОГО: 10 баллов**

**№ 5**

1) Пусть в соединении **A** – n атомов цинка, тогда:

$$\omega(\text{Zn}) = \frac{65n}{M(\text{A})} = 0.671$$

откуда  $M(\text{A}) = 97n$

n	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
M(A)	<b>97</b>	194	291
M(A) – 65n	<b>32</b>	64	96

Единственный подходящий вариант, когда на остаток приходится 32 г/моль, следовательно, соединение **A** – ZnS. Дальнейшие превращения запишем в виде уравнений реакций.

2) Уравнения *реакций* 1 – 6:

- |   |     |
|---|-----|
| ZnS + 2HCl → ZnCl <sub>2</sub> + H <sub>2</sub> S                                       | (1) |
| 2ZnS + 3O <sub>2</sub> → 2ZnO + 2SO <sub>2</sub>  | (2) |
| SO <sub>2</sub> + 2H <sub>2</sub> S → 3S + 2H <sub>2</sub> O                            | (3) |
| S + 2Na → Na <sub>2</sub> S   | (4) |
| 3S + 2As → As <sub>2</sub> S <sub>3</sub>   | (5) |
| As <sub>2</sub> S <sub>3</sub> + 3Na <sub>2</sub> S → 2Na <sub>3</sub> AsS <sub>3</sub> | (6) |

<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>	<b>X</b>
ZnS	SO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S	Na <sub>2</sub> S	As <sub>2</sub> S <sub>3</sub>	Na <sub>3</sub> AsS <sub>3</sub>	S

**Рекомендации к оцениванию:**

- |   |          |
|---|----------|
| 1. Формулы <b>A – F, X</b> – по 1 баллу | 7 баллов |
| 2. Уравнения реакций по 0.5 балла       | 3 балла  |

**ИТОГО: 10 баллов**

**№ 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<br><i>допускается выход на молярные массы через уравнение <math>M = \rho V_M</math></i> | 2 балла |
| 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**