

## 9 класс

### Задание 1.

1. Широкая распространённость минералов, а также выпадение осадка в реакции с ионами серебра свидетельствует о хлоридах. **X – NaCl (галит), Y – KCl (сильвин), Z - KCl·NaCl (сильвинит) (по 1 баллу за формулу и по 1 баллу за название каждого вещества)**

2. В чистом NaCl массовые доли металла и хлорида равны 39 % и 61 %, в KCl – 52 % и 48 %. При их смешении массовая доля металлов будет снижаться, массовая доля хлора – меняться в интервале от одного крайнего значения (61 %) к другому (48 %). Поэтому массовая доля 50 % возможна для калия или хлора.

Рассмотрим случай с калием. Состав соединения с мольной долей хлорида натрия  $a$  можно записать формулой  $(\text{NaCl})_a(\text{KCl})_{1-a}$ , его молярная масса равна  $58.5a + 74.5(1-a)$ , а масса калия  $39(1-a)$ . Приравнявая  $39(1-a)/(58.5a + 74.5(1-a))$  к 0.5, получим  $a = 0.056$ , состав  **$(\text{NaCl})_{0.056}(\text{KCl})_{0.944}$  (2 балла)**.

В случае хлора к 0.5 необходимо приравнять дробь  $35.5/(58.5a + 74.5(1-a))$ , что даёт  $a = 0.219$ , состав  **$(\text{NaCl})_{0.219}(\text{KCl})_{0.781}$  (2 балла)** (результат может незначительно отличаться при использовании более точных значений атомных масс).

3. При добавлении нитрата серебра к раствору смеси хлоридов натрия и калия выпадает осадок хлорида серебра:  **$\text{Ag}^+ + \text{Cl}^- = \text{AgCl} \downarrow$  (1 балл)**

Количество хлорида составляет  $1.00/143.5 = 0.00697$  моль. Общее количество вещества хлоридов натрия и калия тоже 0.00697 моль, а средняя молярная масса –  $0.5/0.00697 = 71.7$  г/моль. Приравнявая это к  $58.5a + 74.5(1-a)$ , получим  $a = 0.175$ , состав  **$(\text{NaCl})_{0.175}(\text{KCl})_{0.825}$  (2 балла)**.

4. 82 г раствора плотностью 1 г/мл отдали количество тепла, равное  $82 \cdot 1.372 \cdot 4.2 = 472.5$  Дж. Удельная теплота растворения составит  $-472.5/2 = -236$  Дж/г **(1 балл)**; мольная величина будет равна  $-236 \cdot 74.5 = -17600$  Дж/моль **(1 балл)**

5. В случае 2 г NaCl количество вещества составит  $2/58.5 = 0.0342$  моль, а количество отданной раствором теплоты –  $0.0342 \cdot 5100 = 174.4$  Дж. Раствор охладится на  $\Delta T = 174.4/(82 \cdot 4.2) = 0.506$  °C **(1 балл)**

6. Раствор потерял количество теплоты, равное  $93.5 \cdot 1.000 \cdot 4.2 = 392.7$  Дж. Пусть растворилось  $x$  моль NaCl и  $y$  моль KCl. Тогда:

$$5100x + 17600y = 392.7$$

$$58.5x + 74.5y = 3.5$$

Откуда  $x = 0.0498$  и  $y = 0.0079$ . При таком соотношении компонентов состав может быть выражен формулой  $(\text{NaCl})_{0.863} \cdot (\text{KCl})_{0.137}$  (3 балла).

**Всего максимум 19 баллов**

## Задание 2.

По описанию элемента (указание на происхождение название, близость свойств к свойствам алюминия) можно установить, что **X – Ga**. Однако можно рассчитать молярную массу **X** через соединение **X<sub>8</sub>**. Поскольку **X<sub>8</sub>** относится к квасцам и образуется при добавлении к **X<sub>7</sub>** сульфата аммония, можно предположить, что **X<sub>8</sub>** имеет формулу  $(\text{NH}_4)\text{X}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ . Зная массовую долю **X** в квасцах, можно составить следующее уравнение:

$$\omega(\text{X}) = 0.1411 = \frac{M(\text{X})}{M(\text{X}) + 14 + 4 + 96 \cdot 2 + 12 \cdot 18}$$

Решение данного уравнения дает нам  $M(\text{X}) \approx 70 \frac{\text{г}}{\text{моль}}$ , что соответствует **Ga** (1 балл).

**Формулы веществ (по 1 баллу за формулу):**

| X <sub>1</sub>                          | X <sub>2</sub>                                    | X <sub>3</sub>                                                         | X <sub>4</sub>                | X <sub>5</sub>            |
|-----------------------------------------|---------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|---------------------------|
| <b>GaCl<sub>3</sub>·6H<sub>2</sub>O</b> | <b>GaCl<sub>3</sub></b>                           | <b>Ga<sub>2</sub>H<sub>6</sub>*</b>                                    | <b>Na[Ga(OH)<sub>4</sub>]</b> | <b>Ga(OH)<sub>3</sub></b> |
| X <sub>6</sub>                          | X <sub>7</sub>                                    | X <sub>8</sub>                                                         |                               | X <sub>9</sub>            |
| <b>Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>      | <b>Ga<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub></b> | <b>(NH<sub>4</sub>)Ga(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>·12H<sub>2</sub>O</b> |                               | <b>Ga<sub>2</sub>O</b>    |

\* за формулу GaH<sub>3</sub> - 0.5 балла

**Уравнения реакций:**

- 1)  $2\text{Ga} + 6\text{HCl} + 12\text{H}_2\text{O} = 2\text{GaCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O} + 3\text{H}_2$
  - 2)  $\text{GaCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O} + 6\text{SOCl}_2 = \text{GaCl}_3 + 6\text{SO}_2 + 12\text{HCl}$
  - 3)  $2\text{Ga} + 3\text{Cl}_2 = 2\text{GaCl}_3$
  - 4)  $4\text{GaCl}_3 + 3\text{LiAlH}_4 = 2\text{Ga}_2\text{H}_6 + 3\text{LiCl} + 3\text{AlCl}_3$  (вариант с 4GaH<sub>3</sub> оценивается полным баллом)
  - 5)  $2\text{Ga} + 2\text{NaOH} + 6\text{H}_2\text{O} = 2\text{Na[Ga(OH)}_4] + 3\text{H}_2$
  - 6)  $\text{Na[Ga(OH)}_4] + \text{CO}_2 = \text{NaHCO}_3 + \text{Ga(OH)}_3$
  - 7)  $2\text{Ga(OH)}_3 = \text{Ga}_2\text{O}_3 + 3\text{H}_2\text{O}$
  - 8)  $4\text{Ga} + 3\text{O}_2 = 2\text{Ga}_2\text{O}_3$
  - 9)  $\text{Ga}_2\text{O}_3 + 3\text{H}_2\text{SO}_4 = \text{Ga}_2(\text{SO}_4)_3 + 3\text{H}_2\text{O}$
  - 10)  $\text{Ga}_2\text{O}_3 + 4\text{Ga} = 3\text{Ga}_2\text{O}$
  - 11)  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + \text{Ga}_2(\text{SO}_4)_3 + 24\text{H}_2\text{O} = 2(\text{NH}_4)\text{Ga}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$
- (по 1 баллу за уравнение)

**Всего максимум 21 балл**

### Задание 3.

Если считать разложение полным, то масса продуктов разложения  $X$  равна массе исходной соли, то есть 1 г, а объём – объёму сосуда. Тогда плотность вещества в сосуде составит 1 г / 1 л = **1 г/л (2 балла)**. Количество вещества рассчитаем по уравнению Менделеева-Клапейрона:

$$n = pV/RT = (1162/750 \cdot 100) \cdot 1 / (8.314 \cdot 423.15) = \mathbf{0.044 \text{ моль (2 балла)}}$$

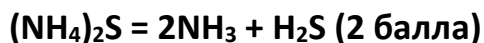
Среднюю молярную массу можно рассчитать как отношение массы газов к их количеству:

$$M_{\text{ср}} = 1/0.044 = \mathbf{22.73 \text{ г/моль (2 балла)}}$$

Разложение без образования твёрдого остатка и небольшая средняя молярная масса газов указывают на отсутствие металла в составе соли, поэтому наиболее вероятный вариант – соли аммония. Если предположить, что разложение проходит по схеме  $X \rightarrow n\text{NH}_3 + Z$ , где  $Z$  – газ, образующийся при разложении аниона, то средняя молярная масса продуктов разложения будет задаваться выражением:

$$M_{\text{ср}} = \frac{17n + M(Z)}{n + 1}$$

$n = 1$  даёт  $M(Z) = 28.5$  г/моль; подобрать газ с такой молярной массой затруднительно.  $n = 2$  даёт  $M(Z) = 34$  г/моль, что может соответствовать  $\text{H}_2\text{S}$ . Тогда  $X$  –  **$(\text{NH}_4)_2\text{S}$  (2 балла)**.



Неполное разложение  $X$  может дать гидросульфид аммония  **$\text{NH}_4\text{HS} - Y$  (2 балла)**.

Количество вещества в 1 г  $\text{NH}_4\text{HS}$  составляет  $n = 1/51 = 0.0196$  моль. Количество продуктов разложения –  $\text{NH}_3$  и  $\text{H}_2\text{S}$  – вдвое больше, то есть 0.0392 моль. Эти газы должны создать давление  $1162/750 \cdot 100 = 154.9$  кПа. Используя уравнение Менделеева-Клапейрона, выразим температуру:

$$T = pV/Rn = 154.9 \cdot 1 / (8.314 \cdot 0.0392) = \mathbf{475 \text{ К} \Rightarrow \mathbf{202 \text{ }^\circ\text{C} \text{ (6 баллов)}}$$

**Всего максимум 18 баллов**

### Задание 4.

$$1. Q_p(a) = Q_{\text{обр}}(\text{C}_3\text{H}_8) - Q_{\text{обр}}(\text{C}_3\text{H}_6) = 105 - (-53) = \mathbf{158 \text{ кДж/моль (2 балла)}}$$

$$Q_p(b) = 8E_{\text{C-H}} + 2E_{\text{C-C}} - E_{\text{H-H}} - 3E_{\text{C-C}} - 6E_{\text{C-H}} = 2E_{\text{C-H}} - E_{\text{H-H}} - E_{\text{C-C}} = 410 \cdot 2 - 350 - 436 = 34 \text{ кДж/моль (3 балла)}}$$

2. Обозначим энергию искажённой связи  $E_{\text{C}^*-\text{C}^*}$ , получим:

$$Q = 8E_{\text{C-H}} + 2E_{\text{C-C}} - E_{\text{H-H}} - 3E_{\text{C}^*-\text{C}^*} - 6E_{\text{C-H}} = 2E_{\text{C-H}} + 2E_{\text{C-C}} - E_{\text{H-H}} - 3E_{\text{C}^*-\text{C}^*} = 158 \text{ кДж/моль}$$

$$E_{C^*-C^*} = (2E_{C-H} + 2E_{C-C} - E_{H-H} - 158)/3 = (410 \cdot 2 + 350 \cdot 2 - 436 - 158)/3 = 309 \text{ кДж/моль}$$

**(3 балла)**

$$3. Q_p(a) = Q_{сгор}(C_6H_6) + 3Q_{сгор}(H_2) - Q_{сгор}(C_6H_{12}) = 3300 + 286 \cdot 3 - 4200 = -42 \text{ кДж/моль}$$

**(2 балла)**

$$Q_p(b) = 12E_{C-H} + 6E_{C-C} - 3E_{C-C} - 3E_{C=C} - 3E_{H-H} - 6E_{C-H} = 6E_{C-H} + 3E_{C-C} - 3E_{C=C} - 3E_{H-H} = 410 \cdot 6 + 350 \cdot 3 - 610 \cdot 3 - 436 \cdot 3 = 372 \text{ кДж/моль}$$

**(2 балла)**

$$4. \Delta E = 372 - (-42) = 414 \text{ кДж/моль}$$

**(1 балл)**

$$5. \text{Запишем реакцию } 2C_3H_6 = C_6H_{12}$$

Теплоту этой реакции оценим по энергиям связи:

$$Q_p = 6E_{C-C} - 6E_{C^*-C^*} = (350 - 309) \cdot 6 = 246 \text{ кДж/моль}$$

С другой стороны, эту теплоту можно выразить через теплоты образования или теплоты сгорания реагентов и продуктов:

$$Q_p = Q_{обр}(C_6H_{12}) - 2Q_{обр}(C_3H_6)$$

$$Q_{обр}(C_3H_6) = -53 \text{ кДж/моль, откуда } Q_{обр}(C_6H_{12}) = 140 \text{ кДж/моль}$$

**(3 балла)**

$$Q_p = 2Q_{сгор}(C_3H_6) - Q_{сгор}(C_6H_{12})$$

$$Q_{сгор}(C_6H_{12}) = 4200 \text{ кДж/моль, откуда } Q_{сгор}(C_3H_6) = 2223 \text{ кДж/моль}$$

**(3 балла)**

**Всего максимум 19 баллов**