

**Муниципальный этап Всероссийской олимпиады
школьников по химии 2025–2026 гг.**

Решения

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 **X₈**. Поскольку **X₈** относится к квасцам и образуется при добавлении к **X₇** сульфата аммония, можно предположить, что **X₈** 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 ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅
GaCl ₃ ·6H ₂ O	GaCl ₃	Ga ₂ H ₆ *	Na[Ga(OH) ₄]	Ga(OH) ₃
X ₆	X ₇	X ₈		X ₉
Ga ₂ O ₃	Ga ₂ (SO ₄) ₃	(NH ₄)Ga(SO ₄) ₂ ·12H ₂ O		Ga ₂ O

* за формулу GaH₃ - 0.5 балла

Уравнения реакций:

- $2\text{Ga} + 6\text{HCl} + 12\text{H}_2\text{O} = 2\text{GaCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O} + 3\text{H}_2$
- $\text{GaCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O} + 6\text{SOCl}_2 = \text{GaCl}_3 + 6\text{SO}_2 + 12\text{HCl}$
- $2\text{Ga} + 3\text{Cl}_2 = 2\text{GaCl}_3$
- $4\text{GaCl}_3 + 3\text{LiAlH}_4 = 2\text{Ga}_2\text{H}_6 + 3\text{LiCl} + 3\text{AlCl}_3$ (вариант с 4GaH₃ оценивается полным баллом)
- $2\text{Ga} + 2\text{NaOH} + 6\text{H}_2\text{O} = 2\text{Na[Ga(OH)}_4] + 3\text{H}_2$
- $\text{Na[Ga(OH)}_4] + \text{CO}_2 = \text{NaHCO}_3 + \text{Ga(OH)}_3$
- $2\text{Ga(OH)}_3 = \text{Ga}_2\text{O}_3 + 3\text{H}_2\text{O}$
- $4\text{Ga} + 3\text{O}_2 = 2\text{Ga}_2\text{O}_3$
- $\text{Ga}_2\text{O}_3 + 3\text{H}_2\text{SO}_4 = \text{Ga}_2(\text{SO}_4)_3 + 3\text{H}_2\text{O}$
- $\text{Ga}_2\text{O}_3 + 4\text{Ga} = 3\text{Ga}_2\text{O}$
- $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + \text{Ga}_2(\text{SO}_4)_3 + 24\text{H}_2\text{O} = 2(\text{NH}_4)\text{Ga}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$
(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:

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

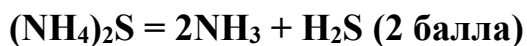
Среднюю молярную массу можно рассчитать как отношение массы газов к их количеству:

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

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 H_2S . 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 NH_4HS составляет $n = 1/51 = 0.0196$ моль. Количество продуктов разложения – NH_3 и H_2S – 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:

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

Всего максимум 18 баллов

Задание 4.

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

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

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

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

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

$$3. Q_p(a) = Q_{\text{сгор}}(C_6H_6) + 3Q_{\text{сгор}}(H_2) - Q_{\text{сгор}}(C_6H_{12}) = 3300 + 286 \cdot 3 - 4200 = \mathbf{-42 \text{ кДж/моль (2 балла)}}$$

$$Q_p(b) = 12E_{C-H} + 6E_{C-C} - 3E_{C-C} - 3E_{C=C} - 3E_{H-H} - 6E_{C-H} = 6E_{C-H} + 3E_{C-C} - 3E_{C=C} - 3E_{H-H} = 410 \cdot 6 + 350 \cdot 3 - 610 \cdot 3 - 436 \cdot 3 = \mathbf{372 \text{ кДж/моль (2 балла)}}$$

$$4. \Delta E = 372 - (-42) = \mathbf{414 \text{ кДж/моль (1 балл)}}$$

5. 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:

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

$$Q_{\text{обр}}(C_3H_6) = -53 \text{ кДж/моль, откуда } Q_{\text{обр}}(C_6H_{12}) = \mathbf{140 \text{ кДж/моль (3 балла)}}$$

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

$$Q_{\text{сгор}}(C_6H_{12}) = 4200 \text{ кДж/моль, откуда } Q_{\text{сгор}}(C_3H_6) = \mathbf{2223 \text{ кДж/моль (3 балла)}}$$

Всего максимум 19 баллов