

**ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ
ПО ХИМИИ 2025–2026 уч. г.
МУНИЦИПАЛЬНЫЙ ЭТАП. 10 КЛАСС.**

КЛЮЧИ

Время выполнения 180 минут. Максимальное кол-во баллов – 100.

Задача 10-1.

1. Как видно из графика, содержание серной кислоты выражено через массовую долю вещества в растворе в %. Исходя из величины значений по оси ординат, плотность раствора выражена в г/мл либо, что тождественно, в г/см³.

2. Значение плотности раствора при содержании 0% можно оценить разными способами:

а) При содержании серной кислоты 0% мы получаем чистую воду, плотность которой при 20 °С можно приблизительно принять равной 1 г/мл.

б) Учитывая практически линейную зависимость плотности раствора от содержания в области низких значений, ее можно экстраполировать и также получить приблизительно 1 г/мл.

Точное значение плотности воды при 20 °С – 0.9982 г/мл.

Как видно из графика по достижении массовой доли серной кислоты 90 % дальнейшее увеличение массовой доли приводит к незначительному увеличению плотности, таким образом, можно экстраполировать график до 100 %-ного содержания. Получим значение составляет приблизительно 1.85 г/мл. Точное значение плотности 100 %-ной серной кислоты при этой температуре составляет 1.8356 г/мл.

Плотность при заданных значениях массовой доли

Точка	0	100	<i>a</i>	<i>б</i>	<i>в</i>
Массовая доля H ₂ SO ₄ , %	0	100	30	45	70
Плотность, г/мл	»1	1.85	1.23	1.35	1.61

3. Серная кислота является сильным электролитом, для растворов которых в области низких содержаний наблюдается линейная зависимость плотности (и некоторых других физических свойств) от содержания растворенного вещества. При увеличении содержания зависимость отклоняется от линейной в связи с проявлением и усилением взаимодействий между ионами.

4. Моляльность раствора – это число моль растворенного вещества в 1 кг растворителя, в данном случае воды. Моляльность раствора связана с массовой долей растворенного вещества. Вычислив массовую долю серной кислоты в растворе с заданной моляльностью, можно определить плотность раствора по графику.

Установим связь между массовой долей и моляльной концентрацией (для удобства массу воды возьмем сразу 1000 г):

$$C_m = \frac{n_{H_2SO_4}}{1000_{H_2O}} = \frac{m_{H_2SO_4}}{M_{H_2SO_4} 1000_{H_2O}} = \frac{m_{p-ра}}{M_{H_2SO_4} 1000_{H_2O}},$$

отсюда

$$= \frac{M_{H_2SO_4} 1000_{H_2O} C_m}{m_{p-ра}} = \frac{M_{H_2SO_4} 1000_{H_2O} C_m}{m_{H_2SO_4} + 1000_{H_2O}}$$

Выразим массу растворенного вещества через моляльность:

$$m_{H_2SO_4} = n_{H_2SO_4} M_{H_2SO_4} = C_m 1000_{H_2O} M_{H_2SO_4}, \text{ тогда}$$

$$= \frac{M_{H_2SO_4} 1000_{H_2O} C_m}{C_m 1000_{H_2O} M_{H_2SO_4} + 1000_{H_2O}} = \frac{M_{H_2SO_4} C_m}{C_m M_{H_2SO_4} + 1}$$

Получаем:

$$= \frac{98 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{моль}} \cdot 4.3 \frac{\text{моль}}{\text{кг}}}{4.3 \frac{\text{моль}}{\text{кг}} \cdot 98 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{моль}} + 1} = 0.2965$$

Или проще: 4.3 моль H_2SO_4 в 1000 г H_2O или

$$4.3 \text{ моль} \times 98 \text{ г/моль} = 421.4 \text{ г } H_2SO_4 \text{ в } 1000 \text{ г } H_2O;$$

Тогда $m(p\text{-ра}) = (421.4 \text{ г} + 1000 \text{ г}) = 1421.4 \text{ г}$ ▮

$$w = 421.4 \text{ г} / 1421.4 \text{ г} = 0.2965.$$

По графику находим плотность раствора серной кислоты. Она составит приблизительно 1.22 г/мл.

Критерии оценивания

За определение единиц измерения рассматриваемых величин	4
За установление плотности растворов по графику – 5 баллов, за обоснование – 3 балла	8
За обоснование линейности рассматриваемой зависимости и отклонения от нее	5
За определение плотности раствора указанной молярности	8
Всего	25 баллов

Задача 10-2.

- 1) $SeO_2 + 2H_2O + 2SO_2 \rightarrow Se + 2H_2SO_4$
- 2) $Se + H_2 \rightarrow H_2Se$
- 3) $H_2Se + KOH \rightarrow KHSe + H_2O$
- 4) $Se + 4HNO_{3(\text{конц})} \rightarrow H_2SeO_3 + 4NO_2 + H_2O$
- 5) $H_2SeO_3 + 2NaOH \rightarrow Na_2SeO_3 + 2H_2O$
- 6) $Na_2SeO_3 + 3C \rightarrow Na_2Se + 3CO$
- 7) $3Na_2Se + 4H_2O + 8KMnO_4 \rightarrow 3Na_2SeO_4 + 8KOH + 8MnO_2$
- 8) $3Se + 2Al \rightarrow Al_2Se_3$
- 9) $Al_2Se_3 + 6H_2O \rightarrow 2Al(OH)_3 + 3H_2Se$
- 10) $2H_2Se + O_2 \rightarrow 2H_2O + 2Se$
- 11) $Se + 2Cl_2 \rightarrow SeCl_4$
- 12) $SeCl_4 + 2KCl \rightarrow K_2[SeCl_6]$
- 13) $SeCl_4 + SeO_2 \rightarrow 2SeCl_2O$
- 14) $SeO_2 + K_2O_2 \rightarrow K_2SeO_4$

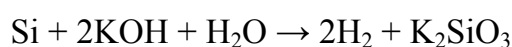
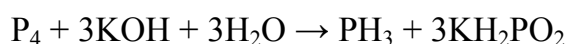
$X_1 - SeO_2$, $X_2 - Se$, $X_3 - H_2Se$, $X_4 - KHSe$, $X_5 - H_2SeO_3$, $X_6 - Na_2SeO_3$, $X_7 - Na_2Se$
 $X_8 - Na_2SeO_4$, $X_9 - Al_2Se_3$, $X_{10} - SeCl_4$, $X_{11} - K_2[SeCl_6]$, $X_{12} - SeCl_2O$, $X_{13} - K_2SeO_4$

Критерии оценивания

За установление формул веществ $X_1 - X_{10}$, $X_{13} - 0.5$ балла за каждую формулу	10.5
За установление формул веществ $X_{11} - 1.5$ балла, $X_{12} - 2$ балла	3.5
За верно составленные уравнения реакций 1 – 11, 14 – 1 балл за уравнение, 0.5 балла – при отсутствии коэффициентов	12
За верно составленные уравнения реакций 12, 13 – 2 балла за уравнение, 1.5 балла – при отсутствии коэффициентов	4
Всего	30 баллов

Задача 10-3.

1. Пусть исходная смесь содержит a моль фосфора и b моль кремния. Тогда при добавлении избытка горячего концентрированного раствора щелочи протекают реакции:



Следовательно, масса невзаимодействующего с раствором щелочи вещества **X** равна 4.8 г, а объем выделившегося газа $V = 17.92 \text{ л} = V(PH_3) + V(H_2)$.

2. Установим количественные соотношения:

$$n(P_4) = n(PH_3) = a \text{ моль}$$

$$n(H_2) = 2n(Si); n(H_2) = 2b \text{ моль}$$

Т.к. по условию в смеси содержится эквимольное количество белого фосфора и вещества **X**:

$$n(X) = n(P_4) = m/M = 4.8/M(X) = a \text{ моль}$$

3. Рассчитаем молярную массу смеси:

$$M_{\text{смеси}} = D_{\text{возд}} \cdot M_{\text{возд}} = 0.6207 \cdot 29 \text{ г/моль} = 18 \text{ г/моль}$$

$$n_{\text{газов}} = n(PH_3) + n(H_2) = a + 2b \text{ моль}$$

$$n_{\text{газов}} = \frac{V}{V_m} = \frac{17.92 \text{ л}}{22.4 \text{ л/моль}} = 0.8 \text{ моль}$$

$$a + 2b = 0.8 \text{ моль}$$

$$M_{\text{смеси}} = \frac{m}{n} = \frac{m(PH_3) + m(H_2)}{n_{\text{газов}}} = \frac{n(PH_3) \cdot M(PH_3) + n(H_2) \cdot M(H_2)}{n_{\text{газов}}} = \frac{34a + 2 \cdot 2b}{0.8} = \frac{34a + 4b}{0.8}$$

$$= \frac{34a + 2 \cdot (0.8 - a)}{0.8} = 18$$

$$a = 0.4 \text{ моль}$$

$$a + 2b = 0.8 \text{ моль}, b = 0.2 \text{ моль}$$

Тогда $n(P_4) = n(X) = 0.4 \text{ моль}$, $n(Si) = 0.2 \text{ моль}$.

4. Установим природу вещества **X**.

$$n(X) = \frac{m}{M(X)}$$

$$M(X) = \frac{m}{n} = \frac{4.8 \text{ г}}{0.4 \text{ моль}} = 12 \text{ г/моль},$$

следовательно, **X** – углерод.

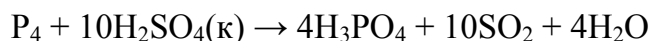
5. В исходной смеси содержалось:

$$m(P_4) = 0.4 \text{ моль} \cdot 124 \text{ г/моль} = \underline{49.6 \text{ г}}$$

$$m(C) = 0.4 \text{ моль} \cdot 12 \text{ г/моль} = 4.8 \text{ г}$$

$$m(Si) = 0.2 \text{ моль} \cdot 28 \text{ г/моль} = 5.6 \text{ г}$$

6. При обработке такого же количества смеси горячей концентрированной серной кислотой протекают реакции:



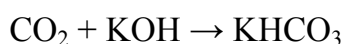
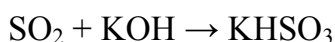
$$n(SO_2)_1 = 10 \cdot n(P_4) = 10 \cdot 0.4 \text{ моль} = 4 \text{ моль}$$

$$n(SO_2)_2 = 2 \cdot n(C) = 2 \cdot 0.4 \text{ моль} = 0.8 \text{ моль}$$

$$n(SO_2) = n(SO_2)_1 + n(SO_2)_2 = 4.8 \text{ моль}$$

$$n(CO_2) = n(C) = 0.4 \text{ моль}.$$

7. При поглощении газов минимальным количеством гидроксида калия образуются кислые соли:



$$n(KOH) = n(KOH)_1 + n(KOH)_2$$

$$n(SO_2) = n(KOH)_1 = 4.8 \text{ моль}$$

$$n(CO_2) = n(KOH)_2 = 0.4 \text{ моль}$$

$$n(KOH) = 4.8 + 0.4 = 5.2 \text{ моль}.$$

8. Рассчитаем объем раствора гидроксида калия:

$$m(KOH) = n \cdot M = 5.2 \text{ моль} \cdot 56 \text{ г/моль} = 291.2 \text{ г}$$

$$m_{p-pa} = \frac{m}{w} = \frac{291.2 \text{ г}}{0.2} = 1456 \text{ г}$$

$$V_{p-pa} = \frac{m_{p-pa}}{\rho} = \frac{1456 \text{ г}}{1.2634} = 1152.4 \text{ мл}$$

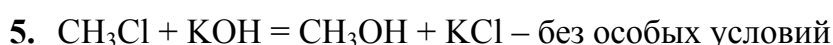
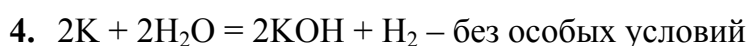
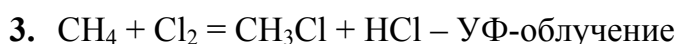
Ответ: X – углерод, $m(P_4) = 49.6 \text{ г}$, $m(C) = 4.8 \text{ г}$, $m(Si) = 5.6 \text{ г}$, объем гидроксида калия – 1152.4 мл, образуются кислые соли $KHSO_3$, $KHCO_3$

Критерии оценивания

За верно составленные уравнения реакций (по 1 баллу за уравнение, 0.5 балла – при отсутствии коэффициентов)	6
За установление вещества X	6
За расчет количественного состава исходной смеси	3
За расчет объема гидроксида калия	5
Всего	20 баллов

Задача 10-4.

1. Описанные превращения демонстрируются следующими уравнениями реакций:



6. $2C + 4H_2 = 2CH_4$ – нагревание $1000^{\circ}C$
7. $2C + H_2 = C_2H_2$ – нагревание $1500^{\circ}C$
8. $CH\equiv CH + 2Cu(NH_3)_2Cl = Cu-C\equiv C-Cu + 4NH_3 + 2HCl$ – без особых условий
9. $Cu-C\equiv C-Cu + 2HCl = CH\equiv CH + 2CuCl$ – без особых условий
10. $Zn + 4NH_3 + 2H_2O \rightarrow [Zn(NH_3)_4](OH)_2 + H_2$
или $3Zn + 2NH_3 \rightarrow Zn_3N_2 + 3H_2$ – без особых условий
11. $CH\equiv CH + H_2 = CH_2=CH_2$ – без особых условий
12. $CH_2=CH_2 + H_2SO_4 = CH_3-CH_2-OSO_3H$ – без особых условий
13. $CH_3-CH_2-OSO_3H + H_2O = CH_3-CH_2-OH + H_2SO_4$ – нагревание

2. **А** – метан; **Б** – метанол, метиловый спирт, муравьиный спирт; **В** – метилхлорид, хлорметан; **Г** – ацетилен, этин; **Д** – ацетеленид меди; **Е** – этилен, этен; **Ж** – этанол, этиловый спирт, винный спирт.

3. Название «болотный газ» связано с нахождением метана в природе. Метан образуется в результате анаэробного разложения органических веществ в природе, что часто происходит в болотах или заболоченных местах.

Критерии оценивания

За уравнения реакций по 1 баллу за каждое	13
За указание условий уравнений 1, 2, 3, 6, 7, 13 по 0.5 балла за каждое	3
За названия веществ А-Ж по 1 баллу за каждое	7
За происхождение названия «болотный газ»	2
Всего	25 баллов