

Олимпиада «Ломоносов» по химии 2025/26 учебный год
Решение заданий для 5-9 классов

Задача 1 (8 баллов)

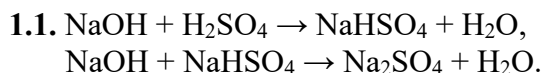
1.1. К раствору, содержащему 1 моль серной кислоты, небольшими порциями добавляли раствор гидроксида натрия. Постройте график, описывающий зависимость количества молей NaHSO_4 в растворе от количества молей добавленного NaOH . Не забудьте подписать обе оси и указать на них необходимые численные значения. Подтвердите график уравнениями реакций.

1.2. К раствору, содержащему 1 моль фосфорной кислоты, небольшими порциями добавляли раствор гидроксида натрия. Постройте график, описывающий зависимость количества молей NaH_2PO_4 в растворе от количества молей добавленного NaOH . Не забудьте подписать обе оси и указать на них необходимые численные значения. Подтвердите график уравнениями реакций.

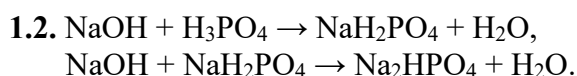
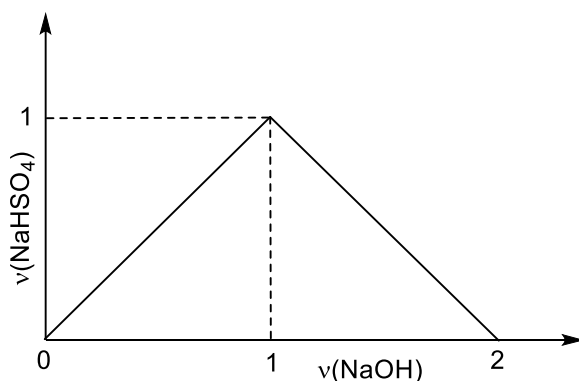
1.3. К раствору, содержащему 1 моль фосфорной кислоты, небольшими порциями добавляли раствор гидроксида натрия. Постройте график, описывающий зависимость количества молей Na_2HPO_4 в растворе от количества молей добавленного NaOH . Не забудьте подписать обе оси и указать на них необходимые численные значения. Подтвердите график уравнениями реакций.

1.4. Через раствор, содержащий 0.1 моль гидроксида бария, долгое время пропускали сернистый газ. Постройте график, описывающий зависимость количества молей осадка BaSO_3 от количества молей SO_2 , пропущенного через раствор. Не забудьте подписать обе оси и указать на них необходимые численные значения. Подтвердите график уравнениями реакций.

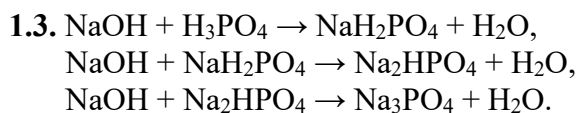
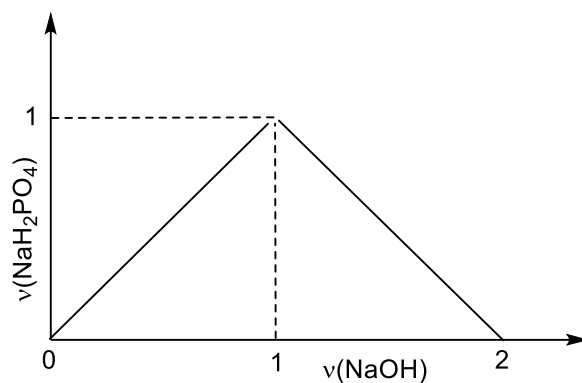
Решение



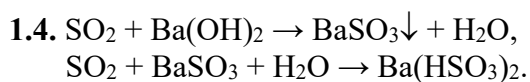
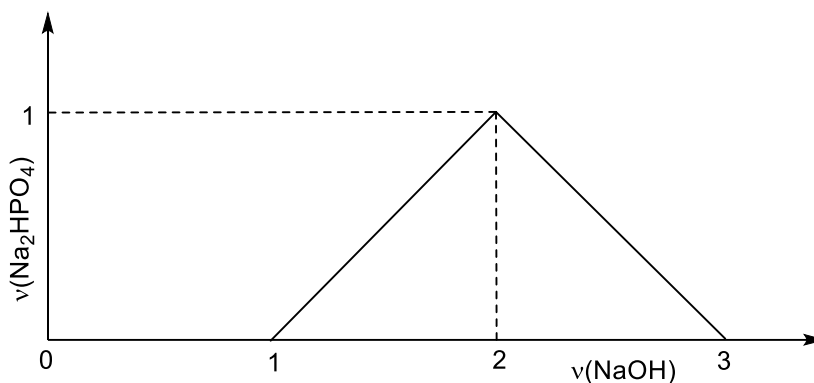
При добавлении NaOH сначала количество вещества NaHSO_4 линейно растёт, достигает максимума 1 моль, а затем линейно уменьшается до нуля.



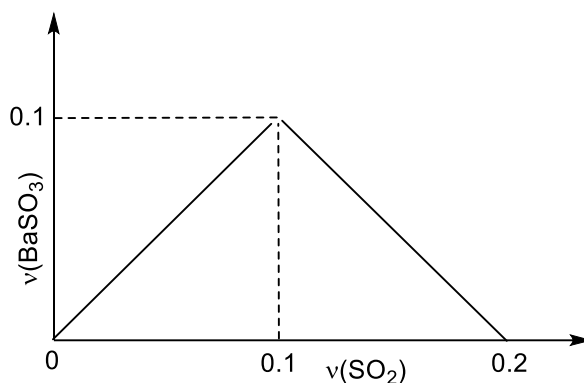
При добавлении NaOH сначала количество вещества NaH_2PO_4 линейно растёт, достигает максимума 1 моль, а затем линейно уменьшается до нуля.



При добавлении NaOH, начиная с 1 моль, количество вещества Na_2HPO_4 линейно растёт, достигает максимума 1 моль, а затем линейно уменьшается до нуля.



При пропускании SO_2 сначала количество вещества BaSO_3 линейно растёт, достигает максимума 0.1 моль, а затем линейно уменьшается до нуля.



Система оценивания – одинаковая во всех вариантах.

Правильный график – 5 баллов

Подписанные оси – $2 \cdot 0.5 = 1$ балл (даже если график неправильный)

Численные значения на осях – 2 балла.

Задача 2 (12 баллов)

2.1. Даны четыре формулы, используемые в физической химии:

- 1) $PV = \nu RT$
- 2) $\Delta G = \Delta H - T\Delta S$
- 3) $K = \frac{\alpha^2}{1-\alpha} C$
- 4) $S = k \ln W$

Для каждой формулы:

- а) объясните, какие величины она связывает между собой;
- б) укажите фамилию ОДНОГО учёного, который её открыл, или внёс наибольший вклад в её открытие;
- в) приведите годы жизни и гражданство учёного.

2.2. Даны четыре формулы, используемые в физической химии:

- 1) $E = E^\circ + \frac{RT}{nF} \ln \frac{C_{Ox}}{C_R}$
- 2) $S = k \ln W$
- 3) $m = \frac{ItM}{nF}$
- 4) $\frac{V_2}{V_1} = \frac{N_2}{N_1}$

Для каждой формулы:

- а) объясните, какие величины она связывает между собой;
- б) укажите фамилию ОДНОГО учёного, который её открыл, или внёс наибольший вклад в её открытие;
- в) приведите годы жизни и гражданство учёного.

2.3. Даны 4 формулы, используемые в физической химии:

- 1) $k = Ae^{-\frac{E_a}{RT}}$
- 2) $E = h\nu$
- 3) $S = k \ln W$
- 4) $\pi = CRT$

Для каждой формулы:

- а) объясните, какие величины она связывает между собой;
- б) укажите фамилию ОДНОГО учёного, который её открыл, или внёс наибольший вклад в её открытие;
- в) приведите годы жизни и гражданство учёного.

2.4. Даны 4 формулы, используемые в физической химии:

- 1) $\ln K = -\frac{\Delta H^\circ}{RT} + \text{const}$
- 2) $\frac{r_2}{r_1} = \gamma^{\frac{T_2 - T_1}{10}}$
- 3) $\Delta S \geq \frac{Q}{T}$
- 4) $PV = \text{const}$

Для каждой формулы:

- а) объясните, какие величины она связывает между собой;
- б) укажите фамилию ОДНОГО учёного, который её открыл, или внёс наибольший вклад в её открытие;
- в) приведите годы жизни и гражданство учёного.

Решение

2.1. 1) $PV = \nu RT$

а) Уравнение Клапейрона-Менделеева, связывает температуру (T), давление (P) и объем (V) идеального газа. ν – количество молей газа, R – универсальная газовая постоянная.

б, в) Поскольку сложно оценить, чей вклад больше, то принимаем оба ответа:

Б. Клапейрон (1799–1864), французский физик.

Д.И. Менделеев (1834–1907), русский ученый.

2) $\Delta G = \Delta H - T\Delta S$

а) Это уравнение Гиббса-Гельмгольца, описывает изменение энергии Гиббса в изотермическом процессе.

ΔG – изменение энергии Гиббса

ΔH – изменение энтальпии

T – температура

ΔS – изменение энтропии

б, в) Дж. Гиббс (1839–1903) – американский физико-химик.

3) $K = \frac{\alpha^2}{1-\alpha} C$

а) Закон разведения Оствальда, связывает константу диссоциации (K) и степень диссоциации (α) слабого электролита, C – концентрация.

б, в) В. Оствальд (1853–1932) – русский и немецкий физико-химик.

4) $S = k \ln W$

а) Формула Больцмана, связывает энтропию (S) и термодинамическую вероятность (W), k – константа Больцмана.

б, в) Л. Больцман (1844–1906) – австрийский физик-теоретик.

2.2. 1) $E = E^\circ + \frac{RT}{nF} \ln \frac{C_{\text{Ох}}}{C_{\text{Р}}}$

а) Уравнение Нернста, описывает зависимость окислительно-восстановительного потенциала электрода от концентраций окисленной и восстановленной форм.

E – электродный потенциал, E° – стандартный электродный потенциал, R – универсальная газовая постоянная, T – температура, n – число электронов, участвующих в процессе, F – постоянная Фарадея, $C_{\text{Ох}}$ – концентрация окисленной формы, $C_{\text{Р}}$ – концентрация восстановленной формы.

б, в) В. Нернст (1864–1941) – немецкий физик и химик.

2) $S = k \ln W$

а) Формула Больцмана, связывает энтропию (S) и термодинамическую вероятность (W), k – константа Больцмана.

б, в) Л. Больцман (1844–1906) – австрийский физик-теоретик.

3) $m = \frac{ItM}{nF}$

а) Закон Фарадея описывает зависимость массы вещества (m), образовавшегося при электролизе, от силы тока (I) и времени (t), n – валентное число иона, M – молярная масса.

б, в) М. Фарадей (1791–1867) – английский физик и химик.

4) $\frac{V_2}{V_1} = \frac{N_2}{N_1}$

а) Закон Авогадро, связывающий объёмы газов и число частиц в них.

б, в) А. Авогадро (1776–1856) – итальянский химик.

Система оценивания – общая во всех вариантах.

По 1 баллу за каждый правильный ответ о каждой формуле.

Ответ, набранный на компьютере, не оценивается – 0 баллов.

Задача 3 (16 баллов)

3.1. Атмосфера на Марсе содержит 95% CO₂, 3% N₂ и 2% Ar (по молям). Марсианский воздух собрали в сосуд, давление в нём при температуре 25 °С составило 780 Па. Сосуд охладили до –130 °С. Найдите общее давление в сосуде и состав марсианского воздуха в мольных процентах при этой температуре. Учтите, что равновесное давление углекислого газа над «сухим льдом» при –130 °С равно 122 Па. Газы считайте идеальными при обеих температурах.

3.2. Атмосфера на Марсе содержит 95% CO₂, 3% N₂ и 2% Ar (по молям). Марсианский воздух собрали в сосуд, давление в нём при температуре 20 °С составило 700 Па. Сосуд охладили до –140 °С. Найдите общее давление в сосуде и состав марсианского воздуха в мольных процентах при этой температуре. Учтите, что равновесное давление углекислого газа над «сухим льдом» при –140 °С равно 25 Па. Газы считайте идеальными при обеих температурах.

3.3. Атмосфера на Марсе содержит 95% CO₂, 3% N₂ и 2% Ar (по молям). Марсианский воздух собрали в сосуд, давление в нём при температуре 15 °С составило 600 Па. Сосуд охладили до –130 °С. Найдите общее давление в сосуде и состав марсианского воздуха в мольных процентах при этой температуре. Учтите, что равновесное давление углекислого газа над «сухим льдом» при –130 °С равно 122 Па. Газы считайте идеальными при обеих температурах.

3.4. Атмосфера на Марсе содержит 95% CO₂, 3% N₂ и 2% Ar (по молям). Марсианский воздух собрали в сосуд, давление в нём при температуре 25 °С составило 800 Па. Сосуд охладили до –140 °С. Найдите общее давление в сосуде и состав марсианского воздуха в мольных процентах при этой температуре. Учтите, что равновесное давление углекислого газа над «сухим льдом» при –140 °С равно 25 Па. Газы считайте идеальными при обеих температурах.

Решение

3.1. Начальные давления газов при 25 °С находим по закону Дальтона:

$$p(\text{CO}_2) = 0.95 \cdot 780 = 741 \text{ Па},$$

$$p(\text{N}_2) = 0.03 \cdot 780 = 23.4 \text{ Па},$$

$$p(\text{Ar}) = 0.02 \cdot 780 = 15.6 \text{ Па}.$$

При охлаждении N₂ и Ar останутся газообразными, их давление уменьшится пропорционально температуре:

$$p(\text{N}_2) = 23.4 \cdot 143 / 298 = 11.2 \text{ Па},$$

$$p(\text{Ar}) = 15.6 \cdot 143 / 298 = 7.5 \text{ Па}.$$

Углекислый газ частично превратится в твёрдый «сухой лёд», а его давление будет равно давлению насыщенного пара: $p(\text{CO}_2) = 122 \text{ Па}$.

Общее давление: $p = 122 + 11.2 + 7.5 = 140.7 \text{ Па}$.

Мольные доли находим по закону Дальтона:

$$\chi(\text{CO}_2) = 122 / 140.7 = 0.867 = 86.7\%,$$

$$\chi(\text{N}_2) = 11.2 / 140.7 = 0.080 = 8.0\%,$$

$$\chi(\text{Ar}) = 7.5 / 140.7 = 0.053 = 5.3\%.$$

Ответ: 140.7 Па. Состав: 86.7% CO₂, 8.0% N₂, 5.3% Ar.

3.2. Начальные давления газов при 20 °С находим по закону Дальтона:

$$p(\text{CO}_2) = 0.95 \cdot 700 = 665 \text{ Па},$$

$$p(\text{N}_2) = 0.03 \cdot 700 = 21 \text{ Па},$$

$$p(\text{Ar}) = 0.02 \cdot 700 = 14 \text{ Па}.$$

При охлаждении N_2 и Ar останутся газообразными, их давление уменьшится пропорционально температуре:

$$p(\text{N}_2) = 21 \cdot 133 / 293 = 9.5 \text{ Па},$$

$$p(\text{Ar}) = 14 \cdot 133 / 293 = 6.4 \text{ Па}.$$

Углекислый газ частично превратится в твёрдый «сухой лёд», а его давление будет равно давлению насыщенного пара: $p(\text{CO}_2) = 25 \text{ Па}$.

Общее давление: $p = 25 + 9.5 + 6.4 = 40.9 \text{ Па}$. Мольные доли находим по закону Дальтона:

$$\chi(\text{CO}_2) = 25 / 40.9 = 0.611 = 61.1\%,$$

$$\chi(\text{N}_2) = 9.5 / 40.9 = 0.232 = 23.2\%,$$

$$\chi(\text{Ar}) = 6.4 / 40.9 = 0.157 = 15.7\%.$$

Ответ: 40.9 Па. Состав: 61.1% CO_2 , 23.2% N_2 , 15.7% Ar .

3.3. Начальные давления газов при 15 °С находим по закону Дальтона:

$$p(\text{CO}_2) = 0.95 \cdot 600 = 570 \text{ Па},$$

$$p(\text{N}_2) = 0.03 \cdot 600 = 18 \text{ Па},$$

$$p(\text{Ar}) = 0.02 \cdot 600 = 12 \text{ Па}.$$

При охлаждении N_2 и Ar останутся газообразными, их давление уменьшится пропорционально температуре:

$$p(\text{N}_2) = 18 \cdot 143 / 288 = 8.9 \text{ Па},$$

$$p(\text{Ar}) = 12 \cdot 143 / 298 = 6.0 \text{ Па}.$$

Углекислый газ частично превратится в твёрдый «сухой лёд», а его давление будет равно давлению насыщенного пара: $p(\text{CO}_2) = 122 \text{ Па}$.

Общее давление: $p = 122 + 8.9 + 6.0 = 136.9 \text{ Па}$.

Мольные доли находим по закону Дальтона:

$$\chi(\text{CO}_2) = 122 / 136.9 = 0.891 = 89.1\%,$$

$$\chi(\text{N}_2) = 8.9 / 136.9 = 0.065 = 6.5\%,$$

$$\chi(\text{Ar}) = 6.0 / 136.9 = 0.044 = 4.4\%.$$

Ответ: 140.7 Па. Состав: 89.1% CO_2 , 6.5% N_2 , 4.4% Ar .

3.4. Начальные давления газов при 25 °С находим по закону Дальтона:

$$p(\text{CO}_2) = 0.95 \cdot 800 = 760 \text{ Па},$$

$$p(\text{N}_2) = 0.03 \cdot 800 = 24 \text{ Па},$$

$$p(\text{Ar}) = 0.02 \cdot 800 = 16 \text{ Па}.$$

При охлаждении N_2 и Ar останутся газообразными, их давление уменьшится пропорционально температуре:

$$p(\text{N}_2) = 24 \cdot 133 / 298 = 10.7 \text{ Па},$$

$$p(\text{Ar}) = 16 \cdot 133 / 298 = 7.1 \text{ Па}.$$

Углекислый газ частично превратится в твёрдый «сухой лёд», а его давление будет равно давлению насыщенного пара: $p(\text{CO}_2) = 25 \text{ Па}$.

Общее давление: $p = 25 + 10.7 + 7.1 = 42.8 \text{ Па}$.

Мольные доли находим по закону Дальтона:

$$\chi(\text{CO}_2) = 25 / 42.8 = 0.584 = 58.4\%,$$

$$\chi(\text{N}_2) = 10.7 / 42.8 = 0.250 = 25.0\%,$$

$$\chi(\text{Ar}) = 7.1 / 42.8 = 0.166 = 16.6\%.$$

Ответ: 42.8 Па. Состав: 58.4% CO_2 , 25.0% N_2 , 16.6% Ar .

Система оценивания – общая во всех вариантах.

Начальные давления газов – $3 \cdot 1 = 3$ балла,

идея о том, что CO_2 конденсируется, и его давление равно давлению насыщенных паров – 4 балла;

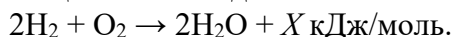
конечные давления N_2 и Ar – $2 \cdot 2 = 4$ балла,

общее давление после охлаждения – 2 балла,

молярные доли в конечной смеси – $3 \cdot 1 = 3$ балла.

Задача 4 (16 баллов)

4.1. Имеется V л (н. у.) смеси водорода и сухого воздуха (20 мол. % кислорода и 80% азота). При поджигании смеси водород и кислород прореагировали полностью, без остатка. Термохимическое уравнение реакции имеет вид:

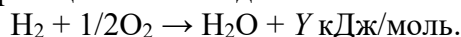


а) Чему равна плотность по водороду исходной смеси водорода с воздухом?

б) Сколько выделилось теплоты в результате реакции? Ответ запишите в виде выражения, содержащего V и X .

в) X может принимать значения в диапазоне от 570 до 580. Подберите одно значение V и одно значение X , при которых ответ в п. б) равен 200 кДж.

4.2. Имеется V л (н. у.) смеси водорода и сухого воздуха (25 мол. % кислорода и 75% азота). При поджигании смеси водород и кислород прореагировали полностью, без остатка. Термохимическое уравнение реакции имеет вид:

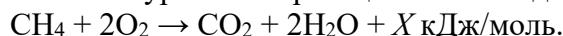


а) Чему равна плотность по водороду исходной смеси водорода с воздухом?

б) Сколько выделилось теплоты в результате реакции? Ответ запишите в виде выражения, содержащего V и Y .

в) Y может принимать значения в диапазоне от 282 до 290. Подберите одно значение V и одно значение Y , при которых ответ в п. б) равен 250 кДж.

4.3. Имеется V л (н. у.) смеси метана и сухого воздуха (20 мол. % кислорода и 80% азота). При поджигании смеси метан и кислород прореагировали полностью, без остатка с образованием углекислого газа. Термохимическое уравнение реакции имеет вид:

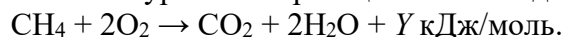


а) Чему равна плотность по водороду исходной смеси метана с воздухом?

б) Сколько выделилось теплоты в результате реакции? Ответ запишите в виде выражения, содержащего V и X .

в) X может принимать значения в диапазоне от 800 до 805. Подберите одно значение V и одно значение X , при которых ответ в п. б) равен 200 кДж.

4.4. Имеется V л (н. у.) смеси метана и сухого воздуха (25 мол. % кислорода и 75% азота). При поджигании смеси метан и кислород прореагировали полностью, без остатка с образованием углекислого газа. Термохимическое уравнение реакции имеет вид:



а) Чему равна плотность по водороду исходной смеси метана с воздухом?

б) Сколько выделилось теплоты в результате реакции? Ответ запишите в виде выражения, содержащего V и Y .

в) Y может принимать значения в диапазоне от 885 до 892. Подберите одно значение V и одно значение Y , при которых ответ в п. б) равен 250 кДж.

Решение

4.1. а) Возьмем воздух, содержащий 1 моль O_2 и 4 моль N_2 , тогда в смеси с воздухом находится 2 моль H_2 . Средняя молярная масса и относительная плотность смеси:

$$M_{\text{см}} = \frac{2 \cdot 2 + 1 \cdot 32 + 4 \cdot 28}{2 + 1 + 4} = 21.1 \text{ г/моль},$$

$$D_{\text{H}_2} = \frac{21.1}{2} = 10.55$$

б) Мольная доля кислорода в смеси $\chi(\text{O}_2) = \frac{1}{7}$,

поэтому $\nu(\text{O}_2) = \frac{1}{7} \cdot \frac{V}{22.4} = \frac{V}{156.8}$ моль.

Теплота реакции: $Q = \nu(\text{O}_2) \cdot X = \frac{VX}{156.8}$ кДж.

в) $\frac{VX}{156.8} = 200$, следовательно, $VX = 31360$.

Возможно решение: $V = 54$, $X = 580$.

Ответ. а) 10.55; б) $Q = \frac{VX}{156.8}$ кДж; в) $V = 54$, $X = 580$.

4.2. а) Возьмем воздух, содержащий 1 моль O_2 и 3 моль N_2 , тогда в смеси с воздухом находится 2 моль H_2 . Средняя молярная масса смеси:

$$M_{\text{см}} = \frac{2 \cdot 2 + 1 \cdot 32 + 3 \cdot 28}{2 + 1 + 3} = 20 \text{ г/моль},$$

$$D_{\text{H}_2} = \frac{20}{2} = 10$$

б) Мольная доля водорода в смеси $\chi(\text{H}_2) = \frac{1}{3}$,

поэтому $\nu(\text{H}_2) = \frac{1}{3} \cdot \frac{V}{22.4} = \frac{V}{67.2}$ моль.

Теплота реакции: $Q = \nu(\text{H}_2) \cdot Y = \frac{VY}{67.2}$ кДж.

в) $\frac{VY}{67.2} = 250$, следовательно, $VY = 16800$. Возможно решение: $V = 59$, $X = 285$.

Ответ. а) 10. б) $Q = \frac{VY}{67.2}$ кДж. в) : $V = 59$, $X = 285$.

4.3. а) Возьмем воздух, содержащий 1 моль O_2 и 4 моль N_2 , тогда в смеси с воздухом находится 0.5 моль CH_4 . Средняя молярная масса смеси:

$$M_{\text{см}} = \frac{0.5 \cdot 16 + 1 \cdot 32 + 4 \cdot 28}{0.5 + 1 + 4} = 27.6 \text{ г/моль},$$

$$D_{\text{H}_2} = \frac{27.6}{2} = 13.8$$

б) Мольная доля метана в смеси $\chi(\text{CH}_4) = \frac{1}{11}$,

поэтому $\nu(\text{CH}_4) = \frac{1}{11} \cdot \frac{V}{22.4} = \frac{V}{246.4}$ моль.

Теплота реакции: $Q = \nu(\text{CH}_4) \cdot X = \frac{VX}{246.4}$ кДж.

в) $\frac{VX}{246.4} = 200$, следовательно, $VX = 49280$. Возможно решение: $V = 61.5$, $X = 801$.

Ответ. а) 13.8. б) $Q = \frac{VX}{246.4}$ кДж. в) $V = 61.5$, $X = 801$.

4.4. а) Возьмем воздух, содержащий 1 моль O_2 и 3 моль N_2 , тогда в смеси с воздухом находится 0.5 моль CH_4 . Средняя молярная масса смеси:

$$M_{\text{см}} = \frac{0.5 \cdot 16 + 1 \cdot 32 + 3 \cdot 28}{0.5 + 1 + 3} = 27.6 \text{ г/моль},$$

$$D_{\text{H}_2} = \frac{27.6}{2} = 13.8$$

б) Мольная доля метана в смеси $\chi(\text{CH}_4) = \frac{1}{9}$,

поэтому $\nu(\text{CH}_4) = \frac{1}{9} \cdot \frac{V}{22.4} = \frac{V}{201.6} \text{ моль}.$

Теплота реакции: $Q = \nu(\text{CH}_4) \cdot Y = \frac{VY}{201.6} \text{ кДж}.$

в) $\frac{VY}{201.6} = 250$, следовательно, $VX = 50400$. Возможно решение: $V = 56.9$, $X = 886$.

Ответ. а) 13.8. б) $Q = \frac{VY}{201.6} \text{ кДж}.$ в) $V = 56.9$, $X = 886$.

Система оценивания – общая во всех вариантах.

а) Средняя молярная масса – 6 баллов (из них 2 балла – средняя молярная масса воздуха, если посчитана).

б) Моли водорода (метана) – 2 балла.

Теплота реакции – 2 балла.

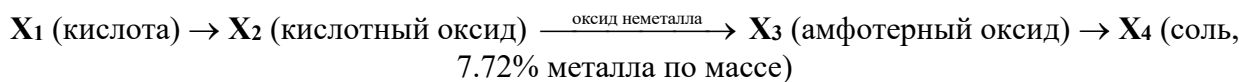
в) Общее соотношение между $X(Y)$ и V – 3 балла.

Конкретные значения – 3 балла.

Любой ответ без расчета – 0 баллов.

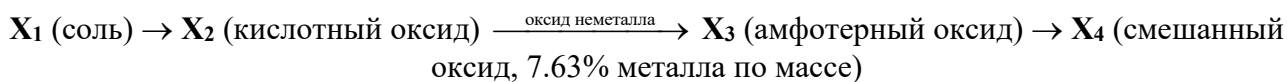
Задача 5 (14 баллов)

5.1. Дана схема, демонстрирующая генетическую связь неорганических соединений различных классов:



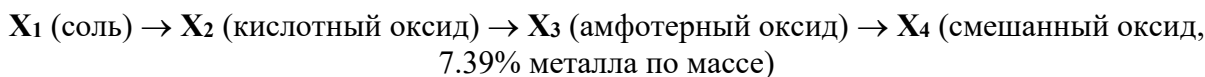
Все вещества **X** содержат ванадий. Определите формулы веществ **X**₁ – **X**₄ (последнюю подтвердите расчётом) и напишите уравнения всех реакций.

5.2. Дана схема, демонстрирующая генетическую связь неорганических соединений различных классов:



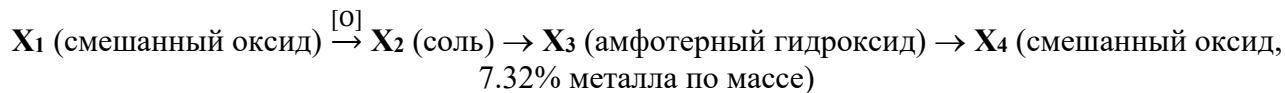
Все вещества **X** содержат хром. Определите формулы веществ **X**₁ – **X**₄ (последнюю подтвердите расчётом) и напишите уравнения всех реакций.

5.3. Дана схема, демонстрирующая генетическую связь неорганических соединений различных классов:



Все вещества **X** содержат марганец. Определите формулы веществ **X₁ – X₄** (последнюю подтвердите расчётом) и напишите уравнения всех реакций.

5.4. Дана схема, демонстрирующая генетическую связь неорганических соединений различных классов:

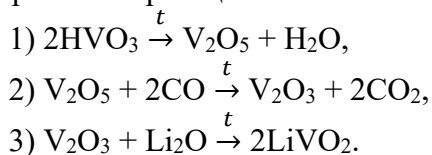


Все вещества **X** содержат железо. Определите формулы веществ **X₁ – X₄** (последнюю подтвердите расчётом) и напишите уравнения всех реакций.

Решение

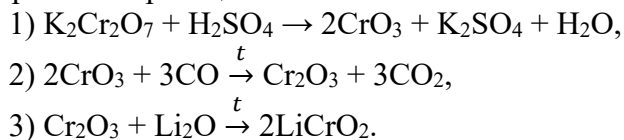
5.1. Очевидно, что соль **X₄** содержит лёгкий металл. Подходит литий. **X₄ – LiVO₂** (7.72% лития по массе). **X₁ – HVO₃, X₂ – V₂O₅, X₃ – V₂O₃, X₄ – LiVO₂.**

Уравнения реакций:



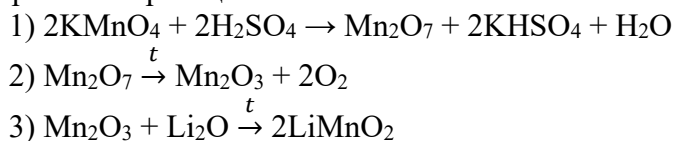
5.2. Очевидно, что смешанный оксид **X₄** содержит лёгкий металл. Подходит литий. **X₄ – LiCrO₂** (7.63% лития по массе). **X₁ – K₂Cr₂O₇, X₂ – CrO₃, X₃ – Cr₂O₃, X₄ – LiCrO₂.**

Уравнения реакций:



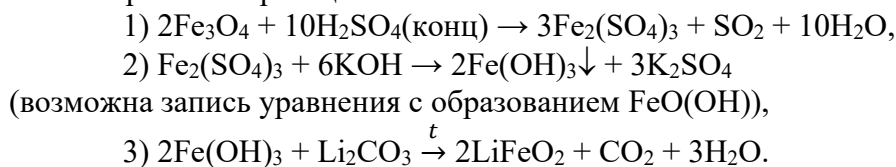
5.3. Очевидно, что смешанный оксид **X₄** содержит лёгкий металл. Подходит литий. **X₄ – LiMnO₂** (7.39% лития по массе). **X₁ – KMnO₄, X₂ – Mn₂O₇, X₃ – Mn₂O₃ или MnO₂, X₄ – LiMnO₂.**

Уравнения реакций:



5.4. Очевидно, что смешанный оксид **X₄** содержит лёгкий металл. Подходит литий. **X₄ – LiFeO₂** (7.32% лития по массе). **X₁ – Fe₃O₄, X₂ – любая соль Fe(+3), возможно также K₂FeO₄, X₃ – Fe(OH)₃ или FeO(OH), X₄ – LiFeO₂.**

Уравнения реакций:



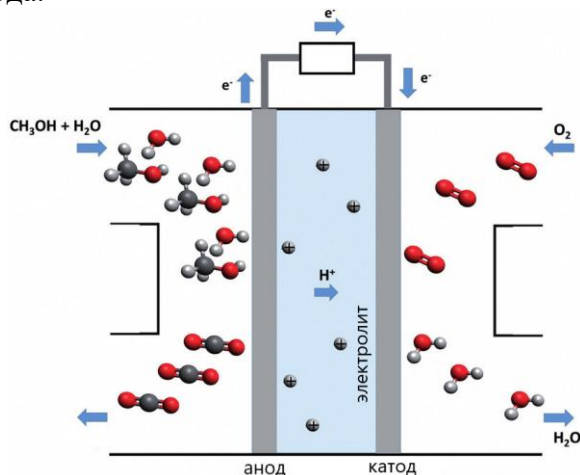
Система оценивания – общая во всех вариантах.

Вещества **X₁ – X₃** по 1 баллу, вещество **X₄** – 2 балла (без расчета – 1 балл)

Каждое верное уравнение – 3 балла (если не уравнено – 1.5 балла, неверные продукты или не все вещества – 0).

Задача 6 (20 баллов)

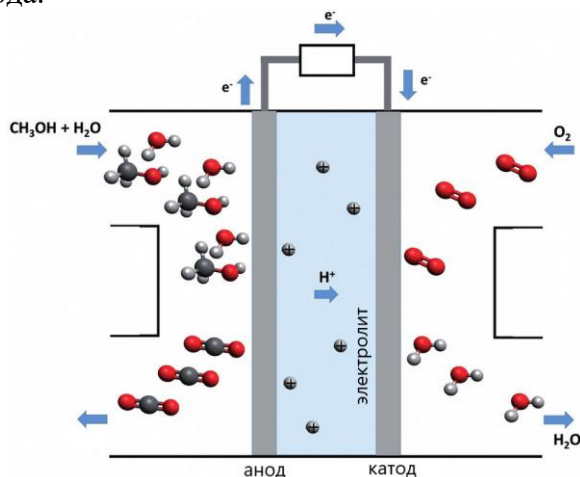
6.1. Один из перспективных источников энергии – метанольный топливный элемент. Это электрохимическое устройство, в котором метанол CH_3OH окисляется кислородом воздуха. Элемент состоит из анода, катода и электролита, роль которого выполняет полимер, проводящий ионы водорода.



Топливом служит 3 М водный раствор метанола (плотность раствора 0.98 г/мл).

- 1) Чему равна массовая доля метанола в топливе?
- 2) Запишите уравнения полуреакций на аноде (окисление) и катоде (восстановление) в электронно-ионной форме. Составьте суммарное уравнение реакции.
- 3) Объясните, почему нельзя использовать чистый метанол?
- 4) С какой скоростью (мл/ч) надо подавать раствор в батарею, чтобы достичь силы тока 10 А? Примите, что окисление идёт со 100%-й эффективностью.

6.2. Один из перспективных источников энергии – метанольный топливный элемент. Это электрохимическое устройство, в котором метанол CH_3OH окисляется кислородом воздуха. Элемент состоит из анода, катода и электролита, роль которого выполняет полимер, проводящий ионы водорода.

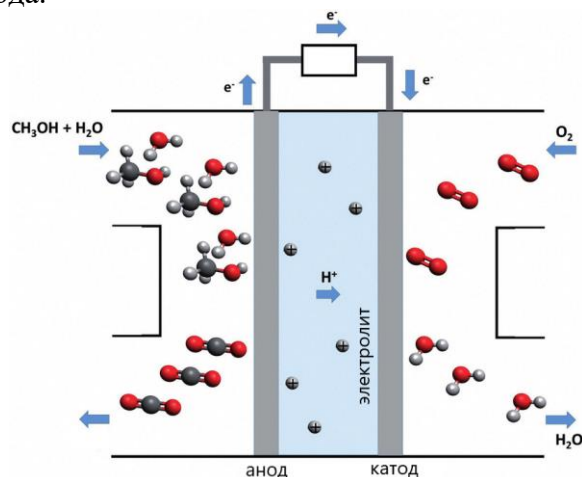


Топливом служит 3 М водный раствор метанола (плотность раствора 0.98 г/мл).

- 1) Чему равна массовая доля метанола в топливе?
- 2) Запишите уравнения полуреакций на аноде (окисление) и катоде (восстановление) в электронно-ионной форме. Составьте суммарное уравнение реакции.
- 3) Объясните, почему нельзя использовать чистый метанол?

4) С какой скоростью (мл/ч) надо подавать раствор в батарею, чтобы достичь силы тока 15 А? Примите, что окисление идёт со 100%-й эффективностью.

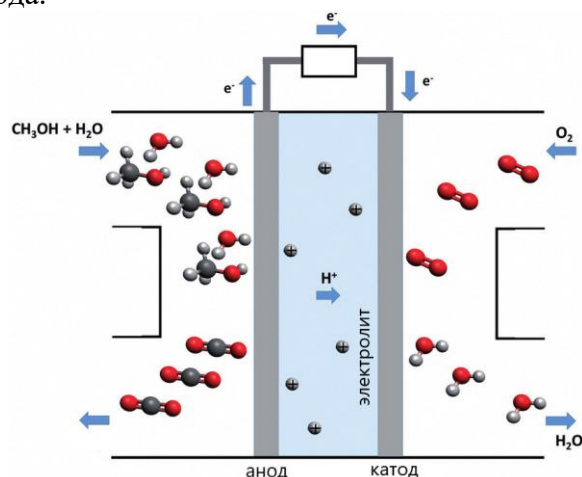
6.3. Один из перспективных источников энергии – метанольный топливный элемент. Это электрохимическое устройство, в котором метанол CH_3OH окисляется кислородом воздуха. Элемент состоит из анода, катода и электролита, роль которого выполняет полимер, проводящий ионы водорода.



Топливом служит 2.5 М водный раствор метанола (плотность раствора 0.985 г/мл).

- 1) Чему равна массовая доля метанола в топливе?
- 2) Запишите уравнения полуреакций на аноде (окисление) и катоде (восстановление) в электронно-ионной форме. Составьте суммарное уравнение реакции.
- 3) Объясните, почему нельзя использовать чистый метанол?
- 4) С какой скоростью (мл/ч) надо подавать раствор в батарею, чтобы достичь силы тока 10 А? Примите, что окисление идёт со 100%-й эффективностью.

6.4. Один из перспективных источников энергии – метанольный топливный элемент. Это электрохимическое устройство, в котором метанол CH_3OH окисляется кислородом воздуха. Элемент состоит из анода, катода и электролита, роль которого выполняет полимер, проводящий ионы водорода.



Топливом служит 2.5 М водный раствор метанола (плотность раствора 0.985 г/мл).

- 1) Чему равна массовая доля метанола в топливе?
- 2) Запишите уравнения полуреакций на аноде (окисление) и катоде (восстановление) в электронно-ионной форме. Составьте суммарное уравнение реакции.
- 3) Объясните, почему нельзя использовать чистый метанол?
- 4) С какой скоростью (мл/ч) надо подавать раствор в батарею, чтобы достичь силы тока 20 А? Примите, что окисление идёт со 100%-й эффективностью.

Решение

6.1. 1) 1 л раствора имеет массу 980 г и содержит 3 моль метанола массой

$$m(\text{CH}_3\text{OH}) = 3 \cdot 32 = 96 \text{ г.}$$

Массовая доля метанола:

$$\omega(\text{CH}_3\text{OH}) = 96 / 980 = 0.098 = 9.8\%.$$

2) анод: $\text{CH}_3\text{OH} + \text{H}_2\text{O} - 6e \rightarrow \text{CO}_2 + 6\text{H}^+$

катод: $\text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4e \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$

Суммарное уравнение: $2\text{CH}_3\text{OH} + 3\text{O}_2 \rightarrow 2\text{CO}_2 + 4\text{H}_2\text{O}$.

3) Чистый метанол нельзя использовать, потому что для окисления до CO_2 нужен дополнительный атом кислорода, он берется из воды.

4) За час (3600 с) через цепь пройдет заряд $3600 \text{ с} \cdot 10 \text{ А} = 36000 \text{ Кл}$.

Моли электронов: $\nu(e) = 10 \cdot 3600 / 96500 = 0.373 \text{ моль}$.

Из уравнения полуреакции следует, что

$$\nu(\text{CH}_3\text{OH}) = \nu(e) / 6 = 0.062 \text{ моль.}$$

Объем раствора:

$$V(\text{раствора}) = 0.062 \text{ моль} / 3 \text{ М} = 0.021 \text{ л} = 21 \text{ мл.}$$

Скорость подачи раствора 21 мл/ч.

Ответ: 1) 9.8 %; 4) 21 мл/ч.

6.2. 1) 1 л раствора имеет массу 980 г и содержит 3 моль метанола массой

$$m(\text{CH}_3\text{OH}) = 3 \cdot 32 = 96 \text{ г.}$$

Массовая доля метанола:

$$\omega(\text{CH}_3\text{OH}) = 96 / 980 = 0.098 = 9.8\%.$$

2) анод: $\text{CH}_3\text{OH} + \text{H}_2\text{O} - 6e \rightarrow \text{CO}_2 + 6\text{H}^+$

катод: $\text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4e \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$

Суммарное уравнение: $2\text{CH}_3\text{OH} + 3\text{O}_2 \rightarrow 2\text{CO}_2 + 4\text{H}_2\text{O}$.

3) Чистый метанол нельзя использовать, потому что для окисления до CO_2 нужен дополнительный атом кислорода, он берется из воды.

4) За час (3600 с) через цепь пройдет заряд $3600 \text{ с} \cdot 15 \text{ А} = 54000 \text{ Кл}$.

Моли электронов: $\nu(e) = 15 \cdot 3600 / 96500 = 0.560 \text{ моль}$.

Из уравнения полуреакции следует, что $\nu(\text{CH}_3\text{OH}) = \nu(e) / 6 = 0.093 \text{ моль}$.

Объем раствора:

$$V(\text{раствора}) = 0.093 \text{ моль} / 3 \text{ М} = 0.031 \text{ л} = 31 \text{ мл.}$$

Скорость подачи раствора 31 мл/ч.

Ответ: 1) 9.8 %; 4) 31 мл/ч.

6.3. 1) 1 л раствора имеет массу 985 г и содержит 2.5 моль метанола массой

$$m(\text{CH}_3\text{OH}) = 2.5 \cdot 32 = 80 \text{ г.}$$

Массовая доля метанола:

$$\omega(\text{CH}_3\text{OH}) = 80 / 985 = 0.081 = 8.1\%.$$

2) анод: $\text{CH}_3\text{OH} + \text{H}_2\text{O} - 6e \rightarrow \text{CO}_2 + 6\text{H}^+$

катод: $\text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4e \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$

Суммарное уравнение: $2\text{CH}_3\text{OH} + 3\text{O}_2 \rightarrow 2\text{CO}_2 + 4\text{H}_2\text{O}$.

3) Чистый метанол нельзя использовать, потому что для окисления до CO_2 нужен дополнительный атом кислорода, он берется из воды.

4) За час (3600 с) через цепь пройдет заряд $3600 \text{ с} \cdot 10 \text{ А} = 36000 \text{ Кл}$.

Моли электронов:

$$\nu(e) = 10 \cdot 3600 / 96500 = 0.373 \text{ моль.}$$

Из уравнения полуреакции следует, что $\nu(\text{CH}_3\text{OH}) = \nu(e) / 6 = 0.062 \text{ моль}$.

Объем раствора:

$$V(\text{раствора}) = 0.062 \text{ моль} / 2.5 \text{ М} = 0.025 \text{ л} = 25 \text{ мл.}$$

Скорость подачи раствора 25 мл/ч.

Ответ: 1) 8.1%; 4) 25 мл/ч.

6.4. 1) 1 л раствора имеет массу 985 г и содержит 2.5 моль метанола массой

$$m(\text{CH}_3\text{OH}) = 2.5 \cdot 32 = 80 \text{ г.}$$

Массовая доля метанола:

$$\omega(\text{CH}_3\text{OH}) = 80 / 985 = 0.081 = 8.1\%.$$

2) анод: $\text{CH}_3\text{OH} + \text{H}_2\text{O} - 6e \rightarrow \text{CO}_2 + 6\text{H}^+$

катод: $\text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4e \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$

Суммарное уравнение: $2\text{CH}_3\text{OH} + 3\text{O}_2 \rightarrow 2\text{CO}_2 + 4\text{H}_2\text{O}$.

3) Чистый метанол нельзя использовать, потому что для окисления до CO_2 нужен дополнительный атом кислорода, он берется из воды.

4) За час (3600 с) через цепь пройдет заряд $3600 \text{ с} \cdot 20 \text{ А} = 72000 \text{ Кл}$.

Моли электронов:

$$\nu(e) = 20 \cdot 3600 / 96500 = 0.746 \text{ моль.}$$

Из уравнения полуреакции следует, что

$$\nu(\text{CH}_3\text{OH}) = \nu(e) / 6 = 0.124 \text{ моль.}$$

Объем раствора:

$$V(\text{раствора}) = 0.124 \text{ моль} / 2.5 \text{ М} = 0.050 \text{ л} = 50 \text{ мл.}$$

Скорость подачи раствора 50 мл/ч.

Ответ: 1) 8.1%; 4) 50 мл/ч.

Система оценивания – общая во всех вариантах.

Массовая доля метанола – 4 балла

Уравнения полуреакций в электронно-ионной форме и суммарное уравнение – $3 \cdot 2 = 6$ баллов (полуреакции со степенями окисления – по 1 баллу вместо 2)

Объяснение про чистый метанол – 2 балла

Расчет скорости – 8 баллов

Задача 7 (14 баллов)

7.1. Легкий газ **X** реагирует с фтором, превращаясь в газ **Y**, который тяжелее **X** в 4.2 раза. При взаимодействии с медью **Y** превращается в еще более тяжелый газ **Z**. При разложении **Z** под действием света образуется газ **Q**, который представляет собой смесь *цис*- и *транс*-изомеров. Газы **Y**, **Z** и **Q** состоят из одних и тех же элементов, причем в **Q** мольные доли элементов равны. Установите формулы всех газов (подтвердите расчетом) и напишите уравнения реакций.

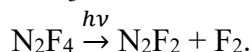
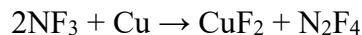
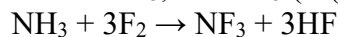
7.2. Твёрдое вещество **X** атомного строения при взаимодействии с избытком фтора превращается в эквимольную смесь двух газов, **Y** и **Z** (**Y** легче), которая тяжелее метана в 6 раз. Определите формулы веществ **X** – **Z** (подтвердите расчетом), напишите уравнение реакции. Предложите способ выделения газа **Y** из смеси. Предположите, какой из газов при охлаждении первым превратится в жидкость, и почему.

7.3. Твёрдое вещество **X** атомного строения при взаимодействии с избытком горячего фтора превращается в эквимольную смесь двух газов, **Y** и **Z** (**Y** легче), которая тяжелее азота почти в 2.5 раза. Определите формулы веществ **X** – **Z** (подтвердите расчетом), напишите уравнение реакции. Установите геометрию и полярность молекул **Y** и **Z**.

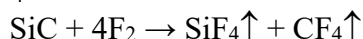
7.4. Твёрдое вещество **X** атомного строения при взаимодействии с избытком горячего фтора превращается в эквимольную смесь двух газов, **Y** и **Z** (**Y** легче), которая тяжелее кислорода в 3 с небольшим раза. Определите формулы веществ **X – Z** (подтвердите расчетом), напишите уравнение реакции. Установите геометрию и полярность молекул **Y** и **Z**.

Решение

7.1. **X** – NH₃, **Y** – NF₃ ($M(\text{NF}_3) / M(\text{NH}_3) = 71/17 \approx 4.2$), **Z** – N₂F₄, **Q** – N₂F₂



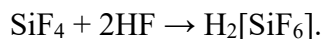
7.2. **X** – SiC, **Y** – CF₄, **Z** – SiF₄



$$M_{\text{ср}} = (104 + 88) / 2 = 96 \text{ г/моль},$$

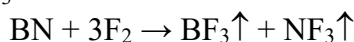
$$D_{\text{CH}_4} = \frac{96}{16} = 6.$$

Смесь можно пропустить через раствор HF, тогда CF₄ останется в газовой фазе, а SiF₄ поглотится:



Более высокая температура кипения – у SiF₄ из-за более сильного ван-дер-ваальсова взаимодействия между молекулами, поэтому SiF₄ сконденсируется первым.

7.3. **X** – BN, **Y** – BF₃, **Z** – NF₃



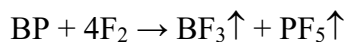
$$M_{\text{ср}} = (68 + 71) / 2 = 69,5 \text{ г/моль},$$

$$D_{\text{N}_2} = \frac{69.5}{28} = 2.48.$$

BF₃ – плоская молекула, правильный треугольник, неполярная.

NF₃ – треугольная пирамида, полярная молекула.

7.4. **X** – BP, **Y** – BF₃, **Z** – PF₅



$$M_{\text{ср}} = (68 + 71) / 2 = 69.5 \text{ г/моль},$$

$$D_{\text{N}_2} = \frac{69.5}{28} = 2.48.$$

BF₃ – плоская молекула, правильный треугольник, неполярная.

PF₅ – треугольная бипирамида, неполярная молекула.

Система оценивания:

7.1. Формулы веществ – 4·2 = 8 баллов. (Формула **Y** без расчета – 0 баллов)

Уравнения реакций 3·2 = 6 баллов.

7.2. Формулы веществ – 3·2 = 6 баллов (без расчета – только 4 балла)

Уравнение реакции – 2 балла

Способ разделения – 4 балла

Ответ на вопрос о конденсации – 2 балла

7.3 и 7.4. Формулы веществ – 3·2 = 6 баллов (без расчета – только 4 балла)

Уравнение реакции – 2 балла

Геометрия и полярность – по 2 балла, всего – 6 баллов