

91 Санкт-Петербургская олимпиада школьников по химии 2025 года
Заключительный этап. Теоретический тур
9 класс

Решения

Задача 1

Окрашивание пламени в фиолетовый цвет указывает на то, что речь идет о солях калия. Растворение осадка бромида серебра – характерная особенность тиосульфат-иона, тогда соль **А** – $K_2S_2O_3$. Перекисный фрагмент присутствует в персульфатах – солях пероксодисерной кислоты. Тогда **В** – $K_2S_2O_8$, Термическое разложение кислых солей – способ получения солей пирокислот. Тогда соль **Б** – $K_2S_2O_7$.

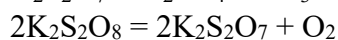
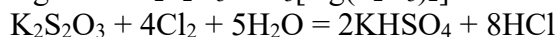
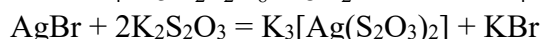
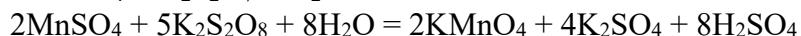
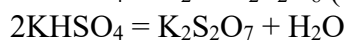
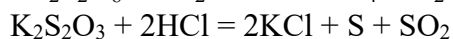
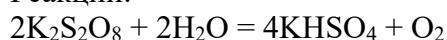
Признаки:

А – 2, 6, 7, 10

Б – 4, 8

В – 1, 3, 5, 9

Реакции:



Рекомендации к оцениванию:

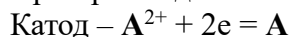
- | | |
|---|-----------|
| 1. Определение солей – по 0.5 балла | 1.5 балла |
| 2. Структурные формулы солей – по 0.5 балла (обязательно отметить, что связь катион – анион – ионная) | 1.5 балла |
| 3. Соотнесение солей и признаков реакций – по 0.2 балла | 2 балла |
| 4. Уравнения реакций – по 0.5 балла | 5 баллов |

ИТОГО: 10 баллов

Задача 2

Газ, выделяющийся при взаимодействии металла с водой – водород. Следовательно, соединение **АБ₂** – гидрид некоторого металла (по всей видимости, щелочноземельного). Газ **Б** – H_2 .

При прохождении электрического тока через расплав гидроксида будут протекать реакции:



Определим количество вещества прошедших через расплав электронов.

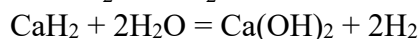
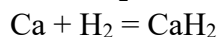
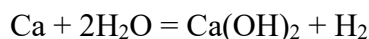
$Q = N \cdot q_e$, где Q – количество электричества, N – количество электронов, q_e – заряд электрона.

Тогда $N = 2,68 \cdot 3600 / (1,6 \cdot 10^{-19}) = 6,03 \cdot 10^{22}$ штук, что составляет примерно 0,1 моль электронов

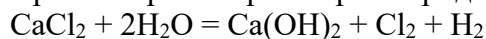
Тогда количество вещества восстановившегося металла составляет 0,05 моль

Молярная масса металла $M = 2 / 0,05 = 40$ г/моль. Металл **А** – кальций

Реакции:



При электролизе раствора хлорида кальция на катоде будет выделяться водород:



Рекомендации к оцениванию:

- | | |
|---|-----------|
| 1. Определение газа Б | 1 балл |
| 2. Определение вещества А | 2 балла |
| 3. Определение вещества АБ ₂ | 1 балл |
| 4. Определение количества электронов, прошедших через расплав | 2.5 балла |
| 6. Ответ на вопрос о продуктах электролиза раствора | 2 балла |
| 7. Уравнения реакций – по 0.5 балла | 1,5 балла |

ИТОГО: 10 баллов

Задача 3

А – Cu

Б – CuBr₂

В – Cu(OH)₂

Г – Cu(NO₃)₂·3H₂O

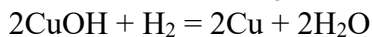
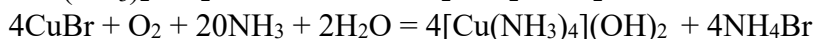
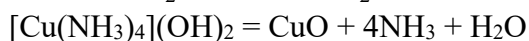
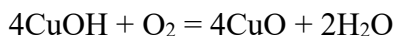
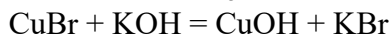
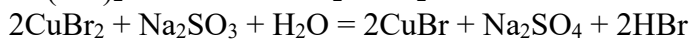
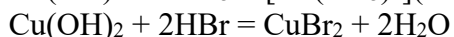
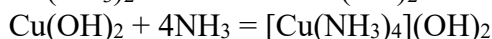
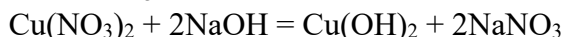
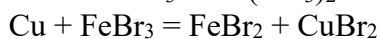
Д – CuO

Е – CuBr

Ж – CuOH (Cu₂O·nH₂O)

З – [Cu(NH₃)₄](OH)₂

Уравнения реакций:



Изменение окраски раствора дибромиды меди с разбавлением обусловлено замещением бромидных лигандов на аква-лиганды в первой координационной сфере иона меди

Рекомендации к оцениванию:

- | | |
|---|-----------|
| 1. Определение веществ А-З – по 0.4 балла | 3.2 балла |
| 2. Уравнения реакций – по 0.5 балла | 6 баллов |
| 3. Объяснение изменения окраски при разбавлении | 0.8 балла |

ИТОГО: 10 баллов

Задача 4

Растворение в воде и окрашивание пламени в красный цвет – рубидий или стронций. Качественный анализ с нитратами серебра, бария и кальция свидетельствуют об отсутствии хлорид- и сульфат ионов и о наличии фторид-иона. Соль – фторид. Стронций дал бы осадок с сульфат ионом, значит, соль (**C**) - **RbF**

Со щелочью взаимодействуют металлы и кислотные оксиды. Продуктами взаимодействия кислотных оксидов являются соль и вода – нет газообразного продукта. Значит, выделяющийся легкий газ – продукт взаимодействия металла со щелочью – водород (**D** = **H₂**)

Каустическая сода – NaOH

«Земля» - название Теллура

Определение вещества Е. Соли теллура в четных степенях окисления, (а для него характерны именно четные степени окисления):

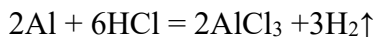
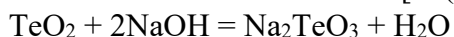
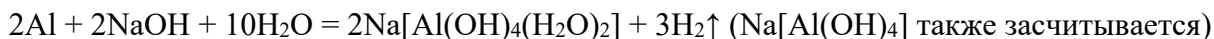
Состав	Na ₂ TeO ₃	Na ₂ TeO ₄	Na ₆ TeO ₆	Na ₂ H ₄ TeO ₆
М	221,6	237,6	331,6	273,6
%Te	57,6	53,7	34,5	46,6

Соль Е - Na₂TeO₃ теллуриг натрия

Выход на Al – по амфотерности поведения, активности – выделение водорода и дороговизне получения

Таким образом: **A – Al, B – TeO₂, C – RbF, D – H₂, E – Na₂TeO₃**

Реакции:



Определение количественного состава смеси:

А) В воде растворяется только фторид рубидия, масса которого составляет $10 - 6,3 = 3,7$ г
 $\omega(\text{RbF}) = 100 \cdot 3,7 / 10,00 = 37\%$

Б) По реакции (3) выделяется водород.

$$n(\text{H}_2) = pV/RT = 755 \cdot 309 / 62400 \cdot 293 = 0,1276 \text{ моль, т.е. Аллюминия } 0,08507 \text{ моль}$$

или = 2,3 г

$$\omega(\text{Al}) = 100 \cdot 2,3 / 10,00 = 23\%$$

В) Содержание оксида теллура определено по разности:

$$\omega(\text{TeO}_2) = 100 - 37 - 23 = 40\%$$

Таким образом, $\omega(\text{RbF}) = 37\%$; $\omega(\text{Al}) = 23\%$; $\omega(\text{TeO}_2) = 40\%$

Рекомендации к оцениванию:

- | | | |
|----|--|-----------|
| 1. | Определение веществ А-Е по 0,5 балла | 2,5 балла |
| 2. | Определение RbF с обоснованием | 1 балл |
| 3. | Определение NaOH и Те по названиям – по 1 баллу | 2 балла |
| 4. | Определение Na ₂ TeO ₃ и выход на TeO ₂ | 1,5 балла |
| 5. | Уравнения реакций (по 0,5 балла 3 реакции) | 1,5 балла |
| 6. | Количественный состав смеси (в весовых %) (по 0,5 балла за массовую долю каждого компонента) | 1,5 балла |

ИТОГО: 10 баллов

Задача 5

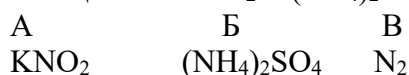
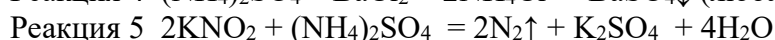
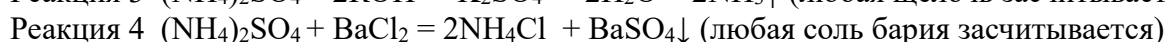
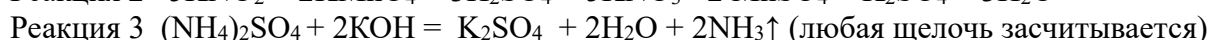
Реакция 3 - обменная реакция или с выпадением труднорастворимого основания или выделением газа. Вероятно, выделяется NH₃.

Реакция 4 - характеристичная реакция с солью бария на сульфат-ион. Образующийся осадок не растворим в кислотах. Вероятно, осадок – сульфат бария.

Вещество Б – сульфат аммония (NH₄)₂SO₄

Реакции 1 и 2 указывают на окислительно-восстановительные свойства вещества А. Что-то из соединений промежуточной степени окисления. Если это соль, то соль слабой кислоты и сильного основания. – Нитрит, сульфит, карбонат. Карбонат не взаимодействует с перманганатом.

Предположим, нитрит, тогда



Расчетная часть:

Данные в задаче количества реагентов соответствуют стехиометрии реакции.

$M(\text{KNO}_2) = 85 \text{ г/моль}$ $n(\text{KNO}_2) = 42,5:85 = 0,5 \text{ моль}$

$M((\text{NH}_4)_2\text{SO}_4) = 132 \text{ г/моль}$ $n((\text{NH}_4)_2\text{SO}_4) = 33:132 = 0,25 \text{ моль}$

Образуется 0,5 моль азота, которые при заданных условиях занимают объем $0,5 \cdot 0,082 \cdot 293/1 = 12,0 \text{ л}$

ОТВЕТ: 12,0 л N_2

Рекомендации к оцениванию:

- | | |
|---|----------|
| 1. Определение веществ А, Б, В – по 1 баллу | 3 балла |
| 2. Уравнения реакций (5 реакций по 1 баллу) | 5 баллов |
| 3. Расчет объема газа | 2 балла |

ИТОГО: 10 баллов

Задача 6

Определение формул веществ:

Активность одного грамма X равна $3,45 \cdot 10^{14}$ Бк, а значит можно рассчитать количество урана в одном грамме соединения и его массовую долю:

$$v_x(^{238}\text{U}) = \frac{A_m(X)}{\lambda \cdot N_A} = \frac{3,45 \cdot 10^{14}}{1,55 \cdot 10^{-7} \cdot 6,02 \cdot 10^{23}} = 0,00370 \text{ моль};$$

$$w_x(^{238}\text{U}) = 0,00370 \cdot 238 = 0,880$$

Учитывая, что оксид – бинарное соединение, можно установить массовую долю кислорода и его количество в 1 грамме соединения:

$$w_x(\text{O}) = 1 - 0,880 = 0,120$$

$$v_x(\text{O}) = \frac{0,120}{16,0} = 0,00750 \text{ моль}$$

Предполагая, что брутто-формула X – UO_x :

$$1 : x = 0,00370 : 0,00750 = 1 : 2,02 \approx 1 : 2$$

Таким образом, формула X – UO_2

Учитывая, что Z получается из X обработкой сначала плавиковой кислотой, а затем фтором, логично предположить, что это фторид. Определить его формулу можно таким же образом, как и в случае с X:

$$v_z(^{238}\text{U}) = \frac{A_m(Z)}{\lambda \cdot N_A} = \frac{2,65 \cdot 10^{14}}{1,55 \cdot 10^{-7} \cdot 6,02 \cdot 10^{23}} = 0,00283 \text{ моль};$$

$$w_z(^{238}\text{U}) = 0,00283 \cdot 238 = 0,673$$

$$w_z(\text{F}) = 1 - 0,673 = 0,327$$

$$v_z(\text{F}) = \frac{0,327}{19,0} = 0,0172 \text{ моль}$$

Предполагая, что брутто-формула Z – UF_z :

$$1 : z = 0,00283 : 0,0172 = 1 : 6,08 \approx 1 : 6$$

Таким образом, формула Z – UF_6

Так как **Y** получается из оксида действием плавиковой кислоты, а он сам переходит в UF_6 под действием фтора, логично предположить, что он также является фторидом урана. Формула **Y** – UF_4 .

Формула **O** определяется таким же образом, что и **X**:

$$v_o(^{238}\text{U}) = \frac{A_m(O)}{\lambda \cdot N_A} = \frac{3,32 \cdot 10^{14}}{1,55 \cdot 10^{-7} \cdot 6,02 \cdot 10^{23}} = 0,00356 \text{ моль};$$

$$w_o(^{238}\text{U}) = 0,00356 \cdot 238 = 0,847$$

$$w_o(\text{O}) = 1 - 0,847 = 0,153$$

$$v_o(\text{O}) = \frac{0,153}{16,0} = 0,00956 \text{ моль}$$

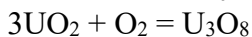
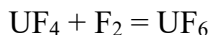
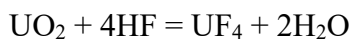
Предполагая, что брутто-формула **X** – UO_x :

$$1 : x = 0,00356 : 0,00956 = 1 : 2,68 = 2 : 5,36 = 3 : 8,04$$

Таким образом, формула **O** – U_3O_8

Соединение	Брутто-формула
X	UO_2
Y	UF_4
Z	UF_6
O	U_3O_8

2. Уравнения реакций:



3. Учитывая уравнение 2 и закон Гесса, тепловой эффект данной реакции составит:

$$Q = -\Delta H^0_r = -(\Delta H^0_f(\text{UF}_6, \text{г}) - \Delta H^0_f(\text{UF}_4, \text{тв}) - \Delta H^0_f(\text{F}_2, \text{г})) = -2147,4 + 1914,2 + 0 = 233,2 \text{ кДж/моль}$$

При температуре 900 °С UF_6 и F_2 – газообразные, а UF_4 – твёрдый, поэтому необходимо использовать энтальпии образования веществ в соответствующих агрегатных состояниях.

4. UF_6 используется для разделения изотопов урана в газовых центрифугах или методом газовой диффузии.

Рекомендации к оцениванию:

- | | |
|---|-----------|
| 1. Формулы X , Z и O – по 1 баллу при подтверждении состава расчётами (без расчётов – 0.5 балла) | 3 балла |
| 2. Формула Y | 0.5 балла |
| 3. Уравнения реакций – по 0.5 балла (при неверных коэффициентах – по 0.25) | 1.5 балла |
| 4. Выбор правильных агрегатных состояний веществ для расчета теплового эффекта | 1 балл |
| 4. Расчёт Q | 2 балла |
| 5. Указание области применения Z | 2 балла |

ИТОГО: 10 баллов