

**Заключительный этап академического соревнования Олимпиады школьников
«Шаг в будущее» по профилю «Химия» специализация «Химия»
(общеобразовательный предмет химия), весна 2024 год**

**10, 11 классы
Вариант 2**

Задача 1 (10 баллов). Промышленный способ получения 1,2-дихлорэтана состоит в окислительном хлорировании этана хлороводородом в присутствии кислорода. Выход продукта составляет ~77% от теоретического. Приведите уравнение реакции процесса и рассчитайте массы (кг) этана и хлороводорода необходимые для получения 1 кг 1,2-дихлорэтана.

Задача 2 (10 баллов). В 100 г воды растворили 10,5 г нитрата алюминия. Затем провели электролиз этого раствора. На катоде выделилось 1,5 г вещества. Определите массовую долю (%) нитрата алюминия в растворе после проведения электролиза.

Задача 3 (10 баллов). В лаборатории имеется емкость с раствором смеси двух солей. К этому раствору добавили избыток раствора карбоната калия. После завершения реакции и отделения осадка в растворе, кроме ионов калия и карбонат-ионов присутствовали также хлорид и сульфат-ионы. На основании проделанного эксперимента предложите вариант возможного состава смеси. Приведите уравнения реакций и объясните ваш выбор смеси солей.

Задача 4 (15 баллов). В пробирках без этикеток находятся: метанол, глицерин, гептан, гептен-1 и гептин-1. Как определить в какой из пробирок находится каждое из веществ, используя минимальное число различных реактивов. Ответ обоснуйте уравнениями химических реакций.

Задача 5 (15 баллов). Напишите схему окислительно-восстановительного процесса, в котором два элемента восстановителя находятся в составе одной молекулы. Уравняйте схему реакции методом электронного баланса и укажите эти элементы-восстановители.

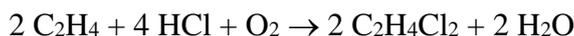
Задача 6 (20 баллов). В лаборатории имеется образец магния массой 6 г. Этот образец сожгли на воздухе. Полученное твердое вещество белого цвета может раствориться в 243,3 г раствора соляной кислоты с массовой долей вещества 9%. Какие вещества и в каком количестве были получены в результате реакции с соляной кислотой?

Задача 7 (20 баллов). «Сухой спирт» — это смесь уротропина [гексаметилентетрамина $(\text{CH}_2)_6\text{N}_4$] с небольшим количеством парафина. Его получают выпариванием в вакууме смеси формальдегида CH_2O и аммиака NH_3 . Впервые это вещество синтезировал А.М. Бутлеров в 1860 г. Гексаметилентетрамин белое кристаллическое вещество со сладковатым вкусом, при горении дает желтовато-голубое пламя (как этиловый спирт), причем золы после сгорания не остается: все продукты горения газообразны при температуре горения. К настоящим спиртам уротропин не имеет никакого отношения.

Приведите химические уравнения получения и горения уротропина. Сколько таблеток сухого спирта, содержащего по 5 г уротропина каждая, необходимо для нагревания воды от 10 до 100 °С объемом 800 мл, если удельная теплоемкость воды $c = 4200 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot^\circ\text{C})$? Теплота сгорания «сухого спирта» $q = 30,045 \text{ Мегадж}/\text{кг}$.

Решение варианта 2

1. Уравнение реакции окислительного хлорирования этана



$$m_{\text{практ}}(\text{C}_2\text{H}_4\text{Cl}_2) = 1 \text{ кг} = 1000 \text{ г.}$$

$$\text{Выход реакции } \eta = \frac{m_{\text{практ}}}{m_{\text{теор}}} \cdot 100\% \Rightarrow m_{\text{теор}}(\text{C}_2\text{H}_4\text{Cl}_2) = \frac{m_{\text{практ}}}{\eta} \cdot 100\% = \frac{1000}{77} \cdot 100\% \approx 1298,7 \text{ г}$$

$$v_{\text{теор}}(\text{C}_2\text{H}_4\text{Cl}_2) = 1298,7 / 99 \approx 13,1 \text{ моль}$$

$$M(\text{C}_2\text{H}_4\text{Cl}_2) = 99$$

г/моль

$$v_{\text{теор}}(\text{C}_2\text{H}_4\text{Cl}_2) = v(\text{C}_2\text{H}_4) = 2 v(\text{HCl})$$

$$v(\text{C}_2\text{H}_6) = 13,1 \text{ моль} \Rightarrow m(\text{C}_2\text{H}_6) = 13,1 \cdot 30 \approx 366,8 \text{ г} \approx 0,367 \text{ кг}$$

$$M(\text{C}_2\text{H}_6) = 30 \text{ г/моль}$$

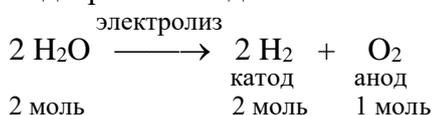
$$v(\text{HCl}) = 2 \cdot 13,1 = 26,2 \text{ моль} \Rightarrow m(\text{HCl}) = 26,2 \cdot 36,5 = 956,3 \text{ г} = 0,956 \text{ кг}$$

$$M(\text{HCl}) = 36,5$$

г/моль

Ответ. $m(\text{C}_2\text{H}_6) = 0,393 \text{ кг}$; $m(\text{HCl}) = 0,956 \text{ кг}$.

2. Данная соль $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$ не подвергается электролизу в водном растворе. Вместо неё электролизу подвергается вода



На катоде образуется водород $v(\text{H}_2) = 1,5/2 = 0,75 \text{ моль}$

$$M(\text{H}_2) = 2 \text{ г/моль}$$

На аноде образуется кислород $v(\text{O}_2) = 1/2 v(\text{H}_2) = 0,75/2 = 0,375 \text{ моль}$

$$M(\text{O}_2) = 32 \text{ г/моль}$$

$$m(\text{O}_2) = 0,375 \cdot 32 = 12 \text{ г.}$$

$$\text{Масса раствора до электролиза } m_{\text{р-р}} = m(\text{Al}(\text{NO}_3)_3) + m_{\text{р-р}}(\text{H}_2\text{O}) = 110,5 \text{ г}$$

Масса раствора после электролиза

$$m'_{\text{р-р}} = m_{\text{р-р}}(\text{Al}(\text{NO}_3)_3) - m(\text{O}_2) - m(\text{H}_2) = 110,5 - 1,5 - 12 = 97 \text{ г.}$$

$$\omega(\text{Al}(\text{NO}_3)_3) = \frac{m(\text{Al}(\text{NO}_3)_3)}{m'_{\text{р-р}}} \cdot 100\% = \frac{10,5}{97} \cdot 100\% \approx 10,82\%$$

Ответ. $\omega(\text{Al}(\text{NO}_3)_3) \approx 10,82\%$

3. Один из возможных вариантов решения.

Раствор смеси солей состоит из BaCl_2 и CaSO_4 .

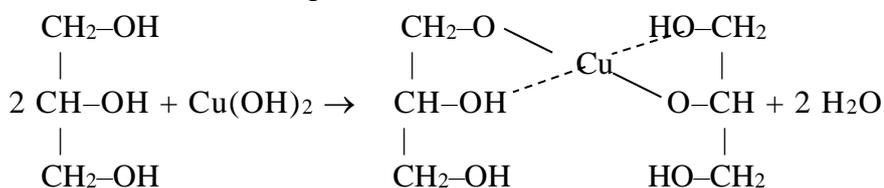
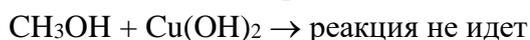


В растворе остаются только ионы K^+ и CO_3^{2-} вещества, которое находится в избытке, а также ионы SO_4^{2-} и Cl^- .

4. Один из возможных вариантов решения.

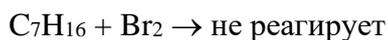
1. При добавлении **воды**, растворяются метанол и глицерин, остальные вещества не растворяются.

2. Добавлением **гидроксила меди (II)** различаем метанол и глицерин:



глицерат меди, раствор ярко-синего цвета

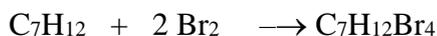
3. Гептан, гептен-1 и гептин-1 различаем по действию **бромной воды**, не реагирует только гексан.



гептан



гептен-1 бурый цвет бесцветное вещество

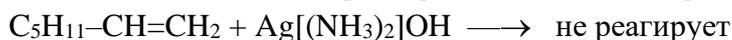


гептин-1 бурый цвет бесцветное вещество

4. Гептин-1 можно отличить от гептена-1 по образованию осадка (пентилацетиленида серебра) под действием аммиачного раствора оксида серебра



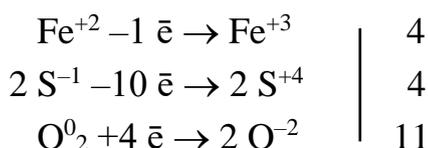
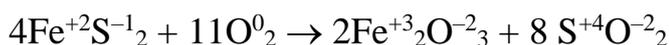
гептин-1 бесцветный раствор осадок светло-серого цвета



гептен-1 бесцветный раствор

Итого 3 реактива, причем вода растворитель, а не реактив.

5. Один из возможных вариантов решения.



6. Количество вещества магния составляет

$$v(Mg) = \frac{m(Mg)}{M(Mg)} = \frac{6}{24} = 0,25 \text{ моль} \quad M(Mg) = 24 \text{ г/моль}$$

Масса соляной кислоты в растворе

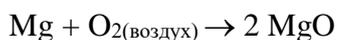
$$m_{\text{в-ва}}(HCl) = \frac{m_{\text{р-ра}}(HCl) \cdot \omega_{\text{р-ра}}(HCl)}{100\%} = \frac{243,3 \cdot 9}{100} = 21,9 \text{ г}$$

Количество вещества соляной кислоты в растворе

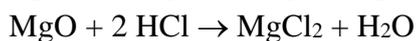
$$v(HCl) = \frac{m_{\text{в-ва}}(HCl)}{M(HCl)} = \frac{21,9}{36,5} \approx 0,6 \text{ моль} \quad M(HCl) = 36,5 \text{ г/моль}$$

Уравнение окисления магния кислородом воздуха

t°



Уравнение реакции растворения оксида магния в соляной кислоте



1 моль – 2 моль – 1 моль

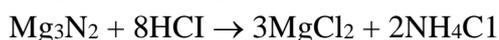
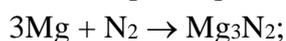
$$0,25 \text{ моль} - 0,5 \text{ моль} - 0,25 \text{ моль} = v(MgCl_2)$$

Количество вещества HCl необходимое для перевода оксида магния в раствор равно 0,5 моль.

При этом должно образоваться $v(MgCl_2) = 0,25$ моль

В действительности на этот процесс израсходовалось 0,6 моль соляной кислоты, т.е. на 0,1 моль соляной кислоты больше.

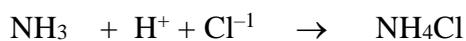
Значит при сгорании магния на воздухе был получен не только оксид, но и нитрид магния



Следовательно, дополнительные 0,1 моль HCl пошли на образование хлорида аммония. Чтобы перевести в раствор 0,25 моль Mg (все равно, через оксид или нитрид), требуется 0,5 моль HCl и при этом получается 0,25 моль хлорида магния



0,25 моль \rightarrow 0,5 моль \rightarrow 0,25 моль

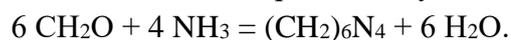


0,1 моль \leftarrow 0,1 моль \rightarrow 0,1 моль

Таким образом, в результате реакции белого вещества с HCl получено 0,25 моль MgCl₂ и 0,1 моль NH₄Cl.

Ответ. $\nu(\text{MgCl}_2) = 0,25$ моль и $\nu(\text{NH}_4\text{Cl}) = 0,1$ моль.

7. Гексаметиленetetрамин получают по реакции



Химическое уравнение горения уротропина



Для нагревания воды объемом 800 мл или массой 800 г = 0,8 кг необходимо

$$Q = c \cdot m \cdot (100 \text{ }^\circ\text{C} - t \text{ }^\circ\text{C}) = 4200 \cdot 0,8 \cdot (100 - 10) = 302400 \text{ Дж/кг} = 302,4 \text{ кДж/кг}$$

1 кг «сухого спирта» при полном сгорании выделяет $q = 30,045 \text{ МДж/кг} = 30045 \text{ кДж/кг}$.

Тогда для нагревания 0,8 кг воды до кипения понадобится

$$m_{\text{сух.сп.}} = Q/q = 302,4/30045 \approx 0,01 \text{ кг} = 10 \text{ г или 2 таблетки «сухого спирта»}.$$

Ответ. 2 таблетки «сухого спирта».

Химия, специализация «Химия» критерии оценивания 10, 11 классы

| Критерии оценивания задания 1 | | |
|--|---|---|
| <i>Решение содержит следующие элементы</i> (элемент решения сделан верно и полно) | | <i>Максимальный балл за элемент решения</i> (баллы за каждый верный элемент решения суммируются) |
| 1 | Химическое уравнение реакции | 3 |
| 2 | Расчет теоретической массы продукта реакции | 3 |
| 3 | Расчет масс исходных веществ | 4 |

| Критерии оценивания задания 2 | | |
|--|---|---|
| <i>Решение содержит следующие элементы</i> (элемент решения сделан верно и полно) | | <i>Максимальный балл за элемент решения</i> (баллы за каждый верный элемент решения суммируются) |
| 1 | Записано уравнение электролиза раствора | 3 |
| 2 | Рассчитана масса вещества, выделившегося на аноде | 3 |
| 3 | Рассчитана массовая доля соли в полученном растворе | 4 |

| Критерии оценивания задания 3 | | |
|--|-----------------------------------|---|
| <i>Решение содержит следующие элементы</i> (элемент решения сделан верно и полно) | | <i>Максимальный балл за элемент решения</i> (баллы за каждый верный элемент решения суммируются) |
| 1 | Предложен состав смеси солей | 2 |
| 2 | Приведены уравнения реакций | 4 |
| 3 | Приведено объяснение выбора солей | 4 |

| Критерии оценивания задания 4 | | |
|--|---|---|
| <i>Решение содержит следующие элементы</i> (элемент решения сделан верно и полно) | | <i>Максимальный балл за элемент решения</i> (баллы за каждый верный элемент решения суммируются) |
| 1 | Описана схема определения всех 5 веществ | 5 |
| 2 | Приведены уравнения всех химических реакций | 5 |
| 3 | Использовано не более трех реактивов | 5 |

| Критерии оценивания задания 5 | | |
|--|--|---|
| <i>Решение содержит следующие элементы</i> (элемент решения сделан верно и полно) | | <i>Максимальный балл за элемент решения</i> (баллы за каждый верный элемент решения суммируются) |
| 1 | Уравнение химической реакций | 5 |
| 2 | Указание восстановителей и окислителей | 5 |
| 3 | Схема электронного баланса | 5 |

| Критерии оценивания задания 6 | | |
|---|---|--|
| <i>Решение содержит следующие элементы</i> <i>(элемент решения сделан верно и полно)</i> | | <i>Максимальный балл за элемент решения</i> <i>(баллы за каждый верный элемент решения суммируются)</i> |
| 1 | Уравнение окисления магния кислородом воздуха | 2 |
| 2 | Определение количества вещества соляной кислоты | 4 |
| 3 | Расчет избытка соляной кислоты | 4 |
| 4 | Уравнение окисления магния азотом воздуха | 2 |
| 5 | Уравнение реакции взаимодействия избытка соляной кислоты с аммиаком | 4 |
| 6 | Расчет масс и количеств веществ в полученном растворе | 4 |

| Критерии оценивания задания 7 | | |
|---|--|--|
| <i>Решение содержит следующие элементы</i> <i>(элемент решения сделан верно и полно)</i> | | <i>Максимальный балл за элемент решения</i> <i>(баллы за каждый верный элемент решения суммируются)</i> |
| 1 | Химическое уравнение получения уротропина | 5 |
| 2 | Химическое уравнение горения уротропина | 5 |
| 3 | Расчет количества теплоты необходимой для нагревания воды | 5 |
| 4 | Расчет массы и числа таблеток «сухого спирта» необходимого для нагревания воды | 5 |