

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

10, 11 классы

Вариант 1

Задача 1 (10 баллов). Промышленный способ получения бутадиена-1,3 состоит в окислительном дегидрировании бутана молекулярным йодом в присутствии молибдата кобальта как катализатора. Выход продукта составляет ~77% от теоретического. Приведите уравнение реакции процесса и рассчитайте массы (кг) бутана и йода необходимые для получения 1 кг бутадиена-1,3.

Задача 2 (10 баллов). В 100 г воды растворили 21,3 г нитрата алюминия. Затем провели электролиз этого раствора. На катоде выделилось 1,25 г вещества. Определите массовую долю (%) нитрата алюминия в растворе после проведения электролиза.

Задача 3 (10 баллов). В лаборатории имеется сосуд со смесью двух солей, содержащих различные катионы и анионы. Эту смесь обработали избытком разбавленной серной кислоты при нагревании. После завершения выделения газа и отделения осадка в растворе оказались только ионы водорода 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: этанол, этиленгликоль, гексан, гексен-1, и гексин-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 окислителя находятся в составе одной молекулы. Уравняйте схему реакции методом электронного баланса и укажите эти элементы-окислители.

Задача 6 (20 баллов). В лаборатории имеется образец магния массой 8,4 г. Этот образец сожгли на воздухе. Полученное твердое вещество белого цвета может раствориться в 195 г раствора соляной кислоты с массовой долей вещества 15%. Какие вещества и в каком количестве были получены в результате реакции с соляной кислотой?

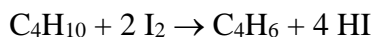
Задача 7 (20 баллов). «Сухой спирт» – это смесь уротропина [гексаметилентетрамина $(\text{CH}_2)_6\text{N}_4$] с небольшим количеством парафина. Его получают выпариванием в вакууме смеси формальдегида CH_2O и аммиака NH_3 . Впервые это вещество синтезировал А.М. Бутлеров в 1860 г. Гексаметилентетрамин 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 18,5 до 90 °С объемом 500 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 1

1. Уравнение реакции окислительного дегидрирования бутана

(CoMoO₄)



$$m_{\text{практ}}(C_4H_6) = 1 \text{ кг} = 1000 \text{ г.}$$

$$\text{Выход реакции } \eta = \frac{m_{\text{практ}}}{m_{\text{теор}}} \cdot 100\% \Rightarrow m_{\text{теор}}(C_4H_6) = \frac{m_{\text{практ}}}{\eta} \cdot 100\% = \frac{1000}{77} \cdot 100\% \approx 1298,7 \text{ г}$$

$$\nu_{\text{теор}}(C_4H_6) = 1298,7 / 54 = 24,05 \text{ моль}$$

$$M(C_4H_6) = 54 \text{ г/моль}$$

$$\nu_{\text{теор}}(C_4H_6) = \nu(C_4H_{10}) = 2 \nu(I_2)$$

$$\nu(C_4H_{10}) = 24,05 \text{ моль} \Rightarrow m(C_4H_{10}) = 24,05 \cdot 58 = 1394,9 \text{ г} \approx 1,4 \text{ кг}$$

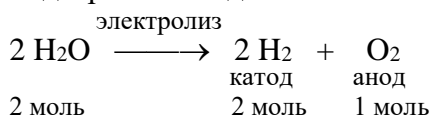
$$M(C_4H_{10}) = 58 \text{ г/моль}$$

$$\nu(I_2) = 2 \cdot 24,05 = 48,1 \text{ моль} \Rightarrow m(I_2) = 48,1 \cdot 254 = 12217,4 \text{ г} = 12,21 \text{ кг}$$

$$M(I_2) = 254 \text{ г/моль}$$

Ответ. $m(C_4H_{10}) = 1,4 \text{ кг}; m(I_2) = 12,21 \text{ кг.}$

2. Данная соль Al(NO₃)₃ не подвергается электролизу в водном растворе. Вместо неё электролизу подвергается вода



$$2 \text{ моль} \quad \quad 2 \text{ моль} \quad 1 \text{ моль}$$

На катоде образуется водород $\nu(H_2) = 1,25/2 = 0,625 \text{ моль}$

$$M(H_2) = 2 \text{ г/моль}$$

На аноде образуется кислород $\nu(O_2) = 1/2 \nu(H_2) = 0,625/2 = 0,3125 \text{ моль}$

$$M(O_2) = 32 \text{ г/моль}$$

$$m(O_2) = 0,3125 \cdot 32 = 10 \text{ г.}$$

Масса раствора до электролиза $m_{\text{р-р}} = m(Al(NO_3)_3) + m_{\text{р-р}}(H_2O) = 121,3 \text{ г}$

Масса раствора после электролиза

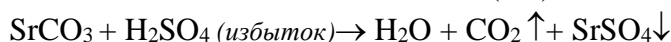
$$m'_{\text{р-р}} = m_{\text{р-р}}(Al(NO_3)_3) - m(O_2) - m(H_2) = 121,3 - 1,25 - 10 = 110,05 \text{ г.}$$

$$\omega(Al(NO_3)_3) = \frac{m(Al(NO_3)_3)}{m'_{\text{р-р}}} \cdot 100\% = \frac{21,3}{110,05} \cdot 100\% \approx 19,35\%$$

Ответ. $\omega(Al(NO_3)_3) \approx 19,35\%$

3. Один из возможных вариантов решения.

Смесь солей состоит из SrCO₃ и Ba(HS)₂.

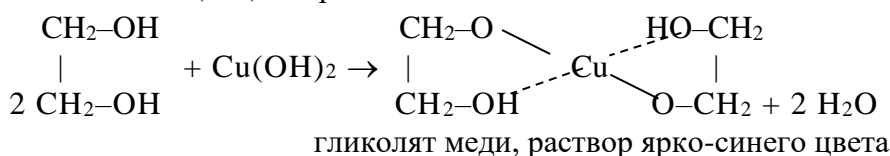
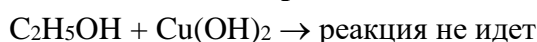


В растворе остаются только ионы H⁺ и SO₄²⁻ вещества, которое находится в избытке.

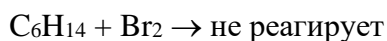
4. Один из вариантов решения.

1. При добавлении воды, растворяются этанол и этиленгликоль, остальные вещества не растворяются.

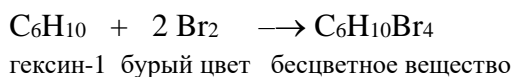
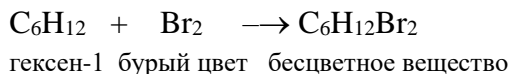
2. Добавлением **гидроксила меди (II)** различаем этанол и этиленгликоль:



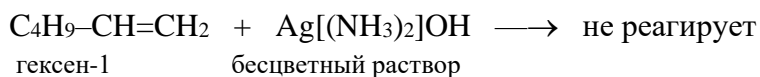
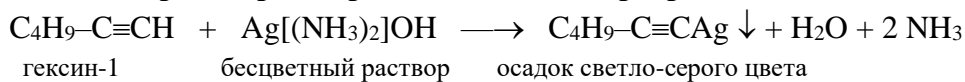
3. Гексан, гексен-1 и гексин-1 различаем по действию **бромной воды**, не реагирует только гексан.



гексан



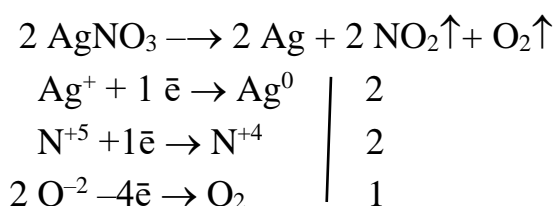
4. Гексин-1 можно отличить от гексена-1 по образованию осадка (бутилацетиленида серебра) под действием **раствора гидроксида диамина серебра**



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

5. Один из вариантов решения.

t°



6. Количество вещества магния составляет

$$v(\text{Mg}) = \frac{m(\text{Mg})}{M(\text{Mg})} = \frac{8,4}{24} = 0,35 \text{ моль} \qquad M(\text{Mg}) = 24 \text{ г/моль}$$

Масса соляной кислоты в растворе

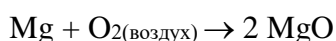
$$m_{\text{в-ва}}(\text{HCl}) = \frac{m_{\text{р-ра}}(\text{HCl}) \cdot \omega_{\text{р-ра}}(\text{HCl})}{100\%} = \frac{195 \cdot 15}{100} = 29,25 \text{ г}$$

Количество вещества соляной кислоты в растворе

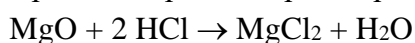
$$v(\text{HCl}) = \frac{m_{\text{в-ва}}(\text{HCl})}{M(\text{HCl})} = \frac{29,25}{36,5} \approx 0,8 \text{ моль} \qquad M(\text{HCl}) = 36,5 \text{ г/моль}$$

Уравнение окисления магния кислородом воздуха

t°



Уравнение реакции растворения оксида магния в соляной кислоте



1 моль – 2 моль – 1 моль

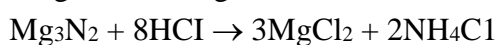
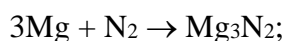
$$0,35 \text{ моль} - 0,7 \text{ моль} - 0,35 \text{ моль} = v(\text{MgCl}_2)$$

Количество вещества HCl необходимое для перевода оксида магния в раствор равно 0,7 моль.

При этом должно образоваться $v(\text{MgCl}_2) = 0,35 \text{ моль}$

В действительности на этот процесс израсходовалось 0,8 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

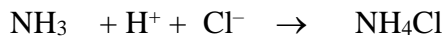


Следовательно, дополнительные 0,1 моль HCl пошли на образование хлорида аммония.

Чтобы перевести в раствор 0,35 моль Mg (все равно, через оксид или нитрид), требуется 0,7 моль HCl и при этом получается 0,35 моль хлорида магния



$$0,35 \text{ моль} \rightarrow 0,7 \text{ моль} \rightarrow 0,35 \text{ моль}$$

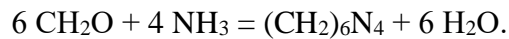


0,1 моль \leftarrow 0,1 моль \rightarrow 0,1 моль

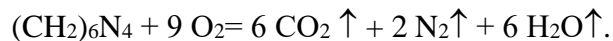
Таким образом, в результате реакции белого вещества с HCl получено 0,35 моль MgCl_2 и 0,1 моль NH_4Cl .

Ответ. $\nu(\text{MgCl}_2) = 0,35$ моль и $\nu(\text{NH}_4\text{Cl}) = 0,1$ моль.

7. Гексаметилентетрамин получают по реакции



Химическое уравнение горения уротропина



Для нагревания воды объемом 0,5 л или массой 500 г = 0,5 кг необходимо

$$Q = c \cdot m \cdot (100 \text{ }^\circ\text{C} - t \text{ }^\circ\text{C}) = 4200 \cdot 0,5 \cdot (90 - 18,5) = 150150 \text{ Дж/кг} = 150,15 \text{ кДж/кг}$$

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

Тогда для нагревания 0,5 кг воды до 90 $^\circ\text{C}$ понадобится

$$m_{\text{сух.сп.}} = Q/q = 150,15 / 30045 \approx 0,005 \text{ кг} = 5 \text{ г} \text{ или } 1 \text{ таблетка «сухого спирта»}.$$

Ответ. 1 таблетка «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