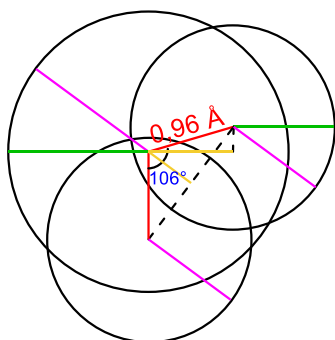


Химия 8 класс

1. Концентрация серной кислоты в растворе 20 % (по массе). Найдите концентрацию, выраженную в г/дм³, если плотность раствора составляет 1,14 г/см³? **(5 баллов)**

ОТВЕТ: Пусть $m(\text{р-ра}) = 100 \text{ г}$, тогда $V(\text{р-ра}) = 100/1,14 = 87,7 \text{ см}^3 = 0,0877 \text{ дм}^3$ **(1 балл)**, $m(\text{к-ты}) = 100 \cdot 0,2 = 20 \text{ г}$ **(1 балл)**. $C = 20/0,0877 = 228 \text{ г/дм}^3$ **(3 балла)**. ИТОГО **5 баллов**

2. Молекула воды имеет угловую форму с валентным углом 106° . Длина связи О–Н равна $0,96 \text{ \AA}$, а вандерваальсовы радиусы атомов $r_{\text{H}} = 1,19 \text{ \AA}$, $r_{\text{O}} = 1,52 \text{ \AA}$. Рассчитайте, каким должен быть минимальный размер пор, чтобы в них могла проникнуть молекула воды **(5 баллов)**



ОТВЕТ. Для ответа на вопрос лучше всего изобразить молекулу в поперечном сечении в виде трёх окружностей. Из рисунка видно, что наименьшее сечение молекула будет иметь либо при ориентации вдоль одной из связей, либо по биссектрисе угла между связями, сравним эти значения. $L_1 = r_{\text{O}} + r_{\text{H}} + r_{\text{OH}} \cdot \cos(106^\circ - 90^\circ)$ $L_2 = r_{\text{O}} + r_{\text{H}} + r_{\text{OH}} \cdot \cos(106^\circ/2)$. Так как $\cos 16^\circ > \cos 53^\circ$, вычисляем по второму уравнению. $L = 1,52 + 1,19 + 0,96 \cdot \cos 53^\circ = 3,29 \text{ \AA}$ **(5 баллов)**. *Корректное вычисление другого сечения оценивается в 2 балла.*

3. Колбу, содержащую 200 см^3 свежеприготовленной хлорной воды, оставили на солнечном свету. Выделившийся из раствора газ пропустили над нагретой медной сеткой, в результате чего произошло увеличение ее массы на $\sqrt{3},2 \text{ г}$. Приведите уравнения описанных реакций. Определите концентрацию вещества, оставшегося в колбе после выделения всего газа. Изменением объема раствора пренебречь. **(20 баллов)**

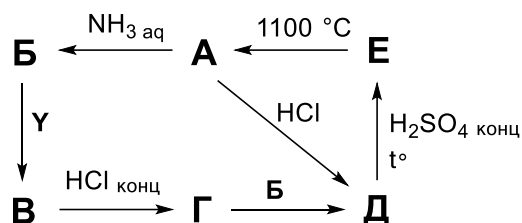
ОТВЕТ: $\text{Cl}_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{HCl} + \text{HClO}$ **(3 балла)**; $2\text{HClO} \xrightarrow{h\nu} 2\text{HCl} + \text{O}_2$ **(3 балла)**; $2\text{Cu} + \text{O}_2 \xrightarrow{t} 2\text{CuO}$ **(3 балла)**; $n(\text{O}_2) = 3,2/32 = 0,1 \text{ моль}$ **(3 балла)**; $n(\text{HCl}) = 0,4 \text{ моль}$ **(3 балла)**; $C(\text{HCl}) = 0,4/0,2 = 2 \text{ моль/дм}^3$ **(5 баллов)**. ИТОГО **20 баллов**

4. В одном из распространенных удобрений указано массовое содержание ключевых элементов: азота 10 %, фосфора 26 %, калия 26 %. Сообщается также, что оно подходит для всех типов почв. Дайте обоснованный ответ, является ли это удобрение индивидуальным соединением. Определите мольные доли ионов, входящих в состав удобрения. Чем обусловлена возможность применения данного удобрения на разных типах почв? **(20 баллов)**

ОТВЕТ. Вычислим соотношение числа атомов указанных элементов. $\text{K} : \text{N} : \text{P} = 26/39 : 10/14 : 26/31 = 0,667 : 0,714 : 0,839 = 1 : 1,07 : 1,26$ **(2 балла)**. Полученные значения не приводятся к целочисленным, то есть удобрение представляет собой смесь **(3 балла)**. Калий в удобрении может находиться только в форме катиона, а фосфор – только в форме аниона, вероятнее всего, фосфата **(2 балла)**. Так как количество калия меньше, чем фосфора, можно предположить, что азот тоже должен находиться в форме катиона – иона аммония **(2 балла)**. Тогда соотношение между катионами и анионами будет $(1 + 1,07) :$

$1,26 = 1,64 : 1$. То есть на один фосфат приходится между одним и двумя обозначенными катионами, значит в удобрении присутствует смесь гидрофосфатов и дигидрофосфатов (**3 балла**). Вычислим содержание ионов водорода, которое составляет утроенное количество фосфата за вычетом количества калия и аммония (используем относительные количества): $3 \cdot 1,26 - 1 - 1,07 = 1,71$. Теперь можно вычислить количество гидрофосфата и дигидрофосфата. Относительное количество дигидрофосфата $1,71 - 1,26 = 0,45$, гидрофосфата $1,26 - 0,45 = 0,81$. Рассчитаем мольные доли $\chi(K^+) = 1/(1 + 1,07 + 0,45 + 0,81) = 0,30$; $\chi(NH_4^+) = 1,07/3,33 = 0,32$; $\chi(HPO_4^{2-}) = 0,81/3,33 = 0,24$; $\chi(H_2PO_4^-) = 0,45/3,33 = 0,14$ (**5 баллов**). Почвы подразделяют по кислотности. Смесь гидрофосфатов и дигидрофосфатов имеет нейтральную реакцию при растворении и представляет собой буферную систему, то есть поддерживает нейтральный pH, поэтому подходит для всех видов почв (**3 балла**).

5. Ниже приведена схема превращений соединений элемента X. Соль E содержит 20 % серы по массе. Вещества A, B и D являются осадками красно-оранжевого, кирпично-красного и белого цвета соответственно. Соединения B и Г получаются в виде бесцветных растворов. Помимо газа Y, есть и другие газы с плотностью в диапазоне 1,16–1,52 г/л (н.у.), способные реагировать с B. С одним из них (Z₁) выпадает черный осадок, а с другим (Z₂) раствор приобретает темно-синюю окраску. Расшифруйте все вещества, приведите уравнения упомянутых реакций. (**20 баллов**)

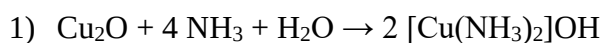


ОТВЕТ. По содержанию серы определим молярную массу E. $M = 32/0,2 = 160$ (г/моль) (**1 балл**). Так как соединение содержит серу и получено действием серной кислоты, можно предположить, что это сульфат. Оставшаяся масса (64 г/моль) соответствует меди (**1 балл**), для которой очень характерны перечисленные цвета осадков. Так как B – бесцветный раствор, можно предположить, что это соединение одновалентной меди, значит разложение сульфата прошло как ОВР. Плотности газов необходимо преобразовать в молярные массы через уравнение $M = \rho \cdot V_M$. Так как условия нормальные, можем воспользоваться величиной $V_M = 22,4$ л/моль, тогда газы Y и Z должны иметь молярную массу в диапазоне 26–34 г/моль. Черным осадком может быть сульфид меди, тогда газ Z₁ – сероводород, темносиняя окраска может быть обусловлена образованием комплекса меди(II), тогда газ Z₂ – окислитель, O₂. Кирпично-красный цвет имеет ацетиленид меди. Под действием соляной кислоты должен образовываться хлорид меди(I), осадок, но в концентрированной кислоте он способен растворяться с образованием комплексного аниона $[CuCl_2]^-$. Таким образом получаем:

Вещества (каждое по **1 баллу**):

A	B	B	Г	D	E	Y	Z ₁	Z ₂
Cu ₂ O	[Cu(NH ₃) ₂]OH	CuC≡CCu	H[CuCl ₂]	CuCl	CuSO ₄	HC≡CH	H ₂ S	O ₂

Уравнения реакций (каждое по **1 баллу**):



- 2) $2 [\text{Cu}(\text{NH}_3)_2]\text{OH} + \text{HC}\equiv\text{CH} \rightarrow \text{CuC}\equiv\text{CCu} + 2 \text{H}_2\text{O}$
- 3) $\text{CuC}\equiv\text{CCu} + 4 \text{HCl}_{(\text{конц})} \rightarrow \text{HC}\equiv\text{CH} + 2 \text{H}[\text{CuCl}_2]$
- 4) $\text{H}[\text{CuCl}_2] + [\text{Cu}(\text{NH}_3)_2]\text{OH} \rightarrow 2 \text{CuCl}$
- 5) $\text{Cu}_2\text{O} + 2 \text{HCl} \rightarrow 2 \text{CuCl} + \text{H}_2\text{O}$
- 6) $2 [\text{Cu}(\text{NH}_3)_2]\text{OH} + \text{H}_2\text{S} \rightarrow 2 \text{Cu}_2\text{S} + 2 \text{NH}_3 + 2 \text{H}_2\text{O}$
принимаются уравнения с NH_4HS и $(\text{NH}_4)_2\text{S}$
- 7) $4 [\text{Cu}(\text{NH}_3)_2]\text{OH} + \text{O}_2 + 2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 [\text{Cu}(\text{NH}_3)_4](\text{OH})_2 + 2 \text{Cu}(\text{OH})_2$ *или*
 $4 [\text{Cu}(\text{NH}_3)_2]\text{OH} + \text{O}_2 + 8 \text{NH}_3 + 2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 4 [\text{Cu}(\text{NH}_3)_4](\text{OH})_2$
- 8) $2 \text{CuCl} + 3 \text{H}_2\text{SO}_{4(\text{конц})} \rightarrow 2 \text{CuSO}_4 + \text{SO}_2 + 2 \text{H}_2\text{O} + 2 \text{HCl}$
- 9) $4 \text{CuSO}_4 \rightarrow 2 \text{Cu}_2\text{O} + 4 \text{SO}_2 + 3 \text{O}_2$ (1100 °C)

6. Семь сосудов пронумерованы от 1 до 7. В них находятся растворы веществ: AgNO_3 , K_2CO_3 , CH_3COOH , $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$, Na_2SO_4 , $\text{Ba}(\text{OH})_2$, ZnI_2 . Сульфат натрия находится в сосуде № 1. Карбонат калия взаимодействует с содержимым сосуда № 2 с выделением углекислого газа. Содержимое сосуда № 4 образует с содержимым сосуда № 1 белый осадок. Содержимое сосудов № 4 и 5 при сливании образуют осадок голубого цвета. Сливание содержимого сосудов № 6 и 7 приводит к образованию желтого осадка. Если к содержимому сосуда № 6 постепенно приливать содержимое сосуда № 4, то сперва выпадает белый осадок, который при дальнейшем добавлении раствора растворяется. Определите, какой реагент в каком сосуде находится. Приведите уравнения указанных реакций. **(30 баллов)**

ОТВЕТ: Na_2SO_4 - № 1 (0 баллов, соединение и сосуд указаны в условии); CH_3COOH - № 2 (2 балла); K_2CO_3 - № 3 (2 балла); $\text{Ba}(\text{OH})_2$ - № 4 (2 балла); $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ - № 5 (2 балла); ZnI_2 - № 6 (2 балла); AgNO_3 - № 7 (2 балла). $\text{K}_2\text{CO}_3 + 2\text{CH}_3\text{COOH} = 2\text{CH}_3\text{COOK} + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ (3 балла); $\text{Ba}(\text{OH})_2 + \text{Na}_2\text{SO}_4 = \text{BaSO}_4 + 2\text{NaOH}$ (3 балла); $\text{Ba}(\text{OH})_2 + \text{Cu}(\text{NO}_3)_2 = \text{Cu}(\text{OH})_2 + \text{Ba}(\text{NO}_3)_2$ (3 балла); $\text{ZnI}_2 + \text{AgNO}_3 = 2\text{AgI} + \text{Zn}(\text{NO}_3)_2$ (3 балла); $\text{ZnI}_2 + \text{Ba}(\text{OH})_2 = \text{Zn}(\text{OH})_2 + \text{BaI}_2$ (3 балла); $\text{Zn}(\text{OH})_2 + \text{Ba}(\text{OH})_2 = \text{Ba}[\text{Zn}(\text{OH})_4]$ (3 балла). ИТОГО 30 баллов

Химия 9 класс

1. Концентрация азотной кислоты в растворе 4 % (по массе). Найдите концентрацию, выраженную в г/дм³, если плотность раствора составляет 1,13 г/см³? **(5 баллов)**

ОТВЕТ: Пусть $m(\text{р-ра}) = 100 \text{ г}$, тогда $V(\text{р-ра}) = 100/1,13 = 88,5 \text{ см}^3 = 0,0885 \text{ дм}^3$ **(1 балл)**;
 $m(\text{к-ты}) = 100 \cdot 0,04 = 4 \text{ г}$ **(1 балл)**; $C(\text{к-ты}) = 4/0,0885 = 45,2 \text{ г/дм}^3$ **(3 балла)**. ИТОГО **5 баллов**

2. Напишите реакцию смешанного хлорид-гипохлорита кальция с соляной кислотой и с угольной кислотой. **(5 баллов)**

ОТВЕТ: $\text{Ca}(\text{ClO})\text{Cl} + 2 \text{HCl} = \text{CaCl}_2 + \text{Cl}_2 + \text{H}_2\text{O}$ **(2,5 балла)**; $2 \text{Ca}(\text{ClO})\text{Cl} + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{CaCO}_3 + \text{CaCl}_2 + 2 \text{HClO}$ **(2,5 балла)**.

3. Навеску 3,48 г, состоящую из двух гидроксидов хрома, растворили в избытке соляной кислоты. При добавлении к раствору избыточного количества щелочи образовался осадок (О1) массой 2,77 г. Через фильтрат пропустили углекислый газ до прекращения выпадения осадка (О2). Все реакции проведены в инертной атмосфере. Найдите массу осадка О2. Напишите уравнения реакций. **(20 баллов)**

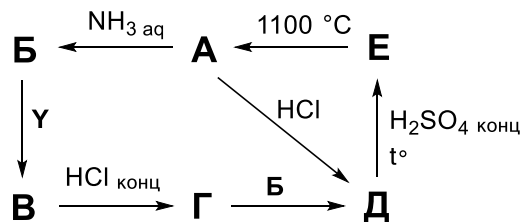
ОТВЕТ: $\text{Cr}(\text{OH})_2 + 2 \text{HCl} = \text{CrCl}_2 + 2 \text{H}_2\text{O}$ **(3 балла)**; $\text{Cr}(\text{OH})_3 + 3 \text{HCl} = \text{CrCl}_3 + 3 \text{H}_2\text{O}$ **(3 балла)**; $\text{CrCl}_2 + 2 \text{NaOH} = \text{Cr}(\text{OH})_2 + 2 \text{NaCl}$ **(3 балла)**; $\text{CrCl}_3 + 6 \text{NaOH} = \text{Na}_3[\text{Cr}(\text{OH})_6] + 3 \text{NaCl}$ **(3 балла)**; $2 \text{Na}_3[\text{Cr}(\text{OH})_6] + 3 \text{CO}_2 = 2 \text{Cr}(\text{OH})_3 + 3 \text{Na}_2\text{CO}_3 + 3 \text{H}_2\text{O}$ **(3 балла)**; О1 состоит из $\text{Cr}(\text{OH})_2$, О2 – из $\text{Cr}(\text{OH})_3$, поэтому $m(\text{О2}) = 3,48 - 2,77 = 0,71 \text{ г}$ **(5 баллов)**;
использование менее рационального решения при правильном ответе снижает балл). ИТОГО **20 баллов**

4. 41,8 г смеси солей, состоящей из карбоната, нитрата и сульфата натрия, обработали 20 %-ным раствором серной кислоты массой 98 г. При этом выделилось 2,24 л газа. При последующей обработке полученного раствора избытком хлорида бария выпал осадок массой 69,9 г. Определите количественный состав исходной смеси в мольных долях. **(20 баллов)**

ОТВЕТ: $\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 = \text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ **(2 балла)**; $\text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{BaCl}_2 = \text{BaSO}_4 + 2 \text{NaCl}$ и $\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{BaCl}_2 = \text{BaSO}_4 + 2 \text{HCl}$ **(2 балла)**; $n(\text{Na}_2\text{CO}_3) = n(\text{CO}_2) = 2,24/22,4 = 0,1 \text{ моль}$ **(1 балл)**;
 $n(\text{BaSO}_4) = 69,9/233 = 0,3 \text{ моль}$ **(1 балл)**; $n(\text{H}_2\text{SO}_4) = 98 \cdot 0,2/98 = 0,2 \text{ моль}$ **(1 балл)**; $n(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 0,3 - 0,2 = 0,1 \text{ моль}$ **(2 балла)**; $m(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 0,1 \cdot 106 = 10,6 \text{ г}$ **(1 балл)**; $m(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 0,1 \cdot 142 = 14,2 \text{ г}$ **(1 балл)**; $m(\text{NaNO}_3) = 41,8 - (10,6 + 14,2) = 17 \text{ г}$ **(2 балла)**; $n(\text{NaNO}_3) = 17/85 = 0,2 \text{ моль}$ **(1 балл)**;
 $X(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 0,1/(0,1 + 0,1 + 0,2) = 0,25 = 25 \%$ **(2 балла)**; $X(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 0,1/(0,1 + 0,1 + 0,2) = 0,25 = 25 \%$ **(2 балла)**; $X(\text{NaNO}_3) = 0,2/(0,1 + 0,1 + 0,2) = 0,5 = 50 \%$ **(2 балла)**. ИТОГО **20 баллов**

5. Ниже приведена схема превращений соединений элемента X. Соль E содержит 20% серы по массе. Вещества А, В и Д являются осадками красно-оранжевого, кирпично-красного и белого цвета соответственно. Соединения Б и Г получаются в виде бесцветных растворов. Помимо газа Y, есть и другие газы с плотностью в диапазоне 1,16–1,52 г/л (н.у.), способные реагировать с Б. С одним из них (Z1) выпадает черный осадок, а с

другим (Z_2) раствор приобретает тёмно-синюю окраску. Расшифруйте все вещества, приведите уравнения упомянутых реакций. (20 баллов)



ОТВЕТ. По содержанию серы определим молярную массу Е. $M = 32/0,2 = 160$ (г/моль) (1 балл). Так как соединение содержит серу и получено действием серной кислоты, можно предположить, что это сульфат. Оставшаяся масса (64 г/моль) соответствует меди (1 балл), для которой очень характерны перечисленные цвета осадков. Так как Б – бесцветный раствор, можно предположить, что это соединение одновалентной меди, значит разложение сульфата прошло как ОВР. Плотности газов необходимо преобразовать в молярные массы через уравнение $M = \rho \cdot V_M$. Так как условия нормальные, можем воспользоваться величиной $V_M = 22,4$ л/моль, тогда газы Y и Z должны иметь молярную массу в диапазоне 26–34 г/моль. Черным осадком может быть сульфид меди, тогда газ Z_1 – сероводород, темносиня окраска может быть обусловлена образованием комплекса меди(II), тогда газ Z_2 – окислитель, O_2 . Кирпично-красный цвет имеет ацетиленид меди. Под действием соляной кислоты должен образовываться хлорид меди(I), осадок, но в концентрированной кислоте он способен растворяться с образованием комплексного аниона $[\text{CuCl}_2]^-$. Таким образом получаем:

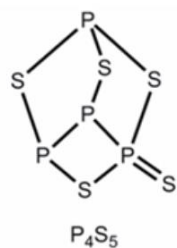
Вещества (каждое по 1 баллу):

А	Б	В	Г	Д	Е	Y	Z_1	Z_2
Cu_2O	$[\text{Cu}(\text{NH}_3)_2]\text{OH}$	$\text{CuC}\equiv\text{CCu}$	$\text{H}[\text{CuCl}_2]$	CuCl	CuSO_4	$\text{HC}\equiv\text{CH}$	H_2S	O_2

Уравнения реакций (каждое по 1 баллу):

- $\text{Cu}_2\text{O} + 4 \text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 [\text{Cu}(\text{NH}_3)_2]\text{OH}$
- $2 [\text{Cu}(\text{NH}_3)_2]\text{OH} + \text{HC}\equiv\text{CH} \rightarrow \text{CuC}\equiv\text{CCu} + 2 \text{H}_2\text{O}$
- $\text{CuC}\equiv\text{CCu} + 4 \text{HCl}_{(\text{конц})} \rightarrow \text{HC}\equiv\text{CH} + 2 \text{H}[\text{CuCl}_2]$
- $\text{H}[\text{CuCl}_2] + [\text{Cu}(\text{NH}_3)_2]\text{OH} \rightarrow 2 \text{CuCl}$
- $\text{Cu}_2\text{O} + 2 \text{HCl} \rightarrow 2 \text{CuCl} + \text{H}_2\text{O}$
- $2 [\text{Cu}(\text{NH}_3)_2]\text{OH} + \text{H}_2\text{S} \rightarrow 2 \text{Cu}_2\text{S} + 2 \text{NH}_3 + 2 \text{H}_2\text{O}$
принимаются уравнения с NH_4HS и $(\text{NH}_4)_2\text{S}$
- $4 [\text{Cu}(\text{NH}_3)_2]\text{OH} + \text{O}_2 + 2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 [\text{Cu}(\text{NH}_3)_4](\text{OH})_2 + 2 \text{Cu}(\text{OH})_2$ или
 $4 [\text{Cu}(\text{NH}_3)_2]\text{OH} + \text{O}_2 + 8 \text{NH}_3 + 2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 4 [\text{Cu}(\text{NH}_3)_4](\text{OH})_2$
- $2 \text{CuCl} + 3 \text{H}_2\text{SO}_{4(\text{конц})} \rightarrow 2 \text{CuSO}_4 + \text{SO}_2 + 2 \text{H}_2\text{O} + 2 \text{HCl}$
- $4 \text{CuSO}_4 \rightarrow 2 \text{Cu}_2\text{O} + 4 \text{SO}_2 + 3 \text{O}_2$ (1100 °C)

6. Головки спичек, которые можно зажечь о любую поверхность, содержат смесь сексвисульфида фосфора P_4S_3 и хлората калия KClO_3 . Напишите уравнение реакции, происходящую между этими двумя веществами при воспламенении спичечной головки. Рассчитайте массовое соотношение, в котором сексвисульфид фосфора и хлорат калия должны быть смешаны для оптимального состава спичечной головки.



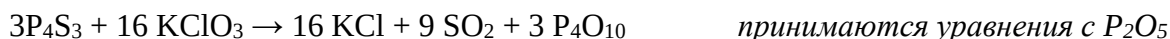
Сульфиды фосфора можно получить путем нагревания белого фосфора с серой. Когда эту реакцию проводят при низкой температуре, образуется ряд продуктов от P_4S_3 до P_4S_{10} . При этом структура продуктов основана на тетраэдрической структуре белого фосфора, на первых стадиях происходит постепенное внедрение атомов серы по связям P–P, а при более высоких степенях окисления фосфора происходит его частичный переход в пятивалентное состояние за счет образования двойной связи с серой. В качестве примера представлена структура P_4S_5 .

В изображенном примере все атомы отличаются друг от друга, нет симметрии, но в других соединениях она есть. Изобразите структурные формулы сульфидов фосфора исходя из следующих данных о них:

- 1) P_4S_3 имеет ось симметрии третьего порядка (молекула совмещается сама с собой при повороте на 120°).
- 2) P_4S_4 существует в виде двух изомеров, в одном из них есть только одна зеркальная плоскость, а в другом две; при этом во втором изомере все атомы фосфора и серы получают идентичны друг другу (накладываются при «отзеркаливании»).
- 3) P_4S_6 имеет одну плоскость симметрии и один пятивалентный атом фосфора.

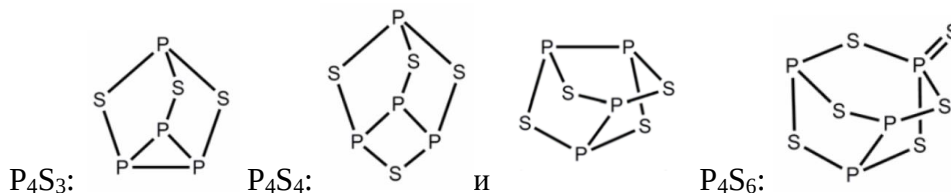
(30 баллов)

ОТВЕТ. Реакция окисления сексвисульфида фосфора хлоратом калия **(3 балла)**:



Для вычисления оптимального соотношения реагентов возьмем их в количестве, равном стехиометрическим коэффициентам. $m(P_4S_3) = 3 \cdot 220 = 660$ (г); $m(KClO_3) = 16 \cdot 122,5 = 1960$ (г). Тогда $\omega(P_4S_3) = 25\%$, а $\omega(KClO_3) = 75\%$ **(3 балла)**.

Структуры сульфидов (каждая по **6 баллов**):



Альтернативные структуры, удовлетворяющие требованиям симметрии оценивались по 2 балла.

Химия 10 класс

1. Концентрация фосфорной кислоты в растворе 11 моль/дм³. Плотность раствора 1,53 г/см³. Какова массовая доля фосфорной кислоты в этом растворе? **(5 баллов)**

ОТВЕТ: Пусть $V(\text{р-ра}) = 1 \text{ дм}^3$, тогда $n(\text{H}_3\text{PO}_4) = 11 \text{ моль}$ (**1 балл**); $m(\text{р-ра}) = 1000 \cdot 1,53 = 1530 \text{ г}$ (**1 балл**); $m(\text{H}_3\text{PO}_4) = 11 \cdot 98 = 1078 \text{ г}$ (**1 балл**); $\omega(\text{H}_3\text{PO}_4) = 1078 \cdot 100 / 1530 = 70,46 \%$ (**2 балла**). ИТОГО **5 баллов**

2. Медный купорос при прокаливании потерял 71,3% массы. Напишите формулу продукта прокаливания. **(5 баллов)**

ОТВЕТ: Медный купорос имеет формулу $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$. Рассчитаем массу, оставшуюся при прокаливании 1 моль купороса. $m = 249,5 \cdot 0,287 = 71,6 \text{ (г)}$. Учитывая, что медь не образует летучих соединений, вычтем её массу, останется около 8 г. Это соответствует половине моль кислорода, то есть после прокаливания остался оксид меди(I), Cu_2O . Ответ без расчета оценивался в **2 балла**.

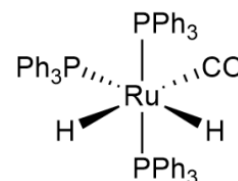
3. При проведении вольтамперометрического определения ионов металлов получают полярограммы, на которых концентрация металла в растворе (C) пропорциональна высоте полярографической волны (h):

$$C = K \cdot h$$

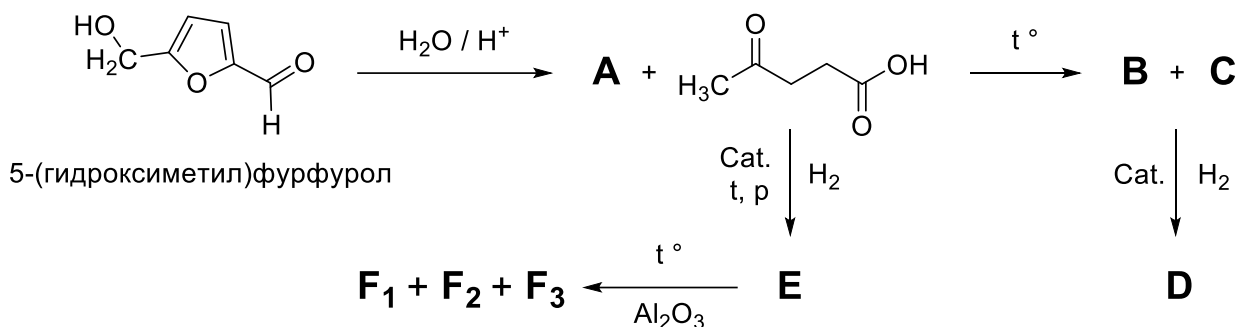
Для определения содержания ионов цинка воспользовались методом стандартного раствора. На полярограмме 100 см³ стандартного раствора хлорида цинка с концентрацией $1 \cdot 10^{-4} \text{ г/см}^3$ высота волны оказалась равна 55 мм. Навеску сплава, содержащего цинк, массой 0,521 г растворили в хлороводородной кислоте. При полярографировании 100 см³ полученного раствора высота волны составила 48 мм. По приведенным данным рассчитайте массовую долю в сплаве. **(20 баллов)**

ОТВЕТ: $C(\text{ZnCl}_2) = 1 \cdot 10^{-4} \cdot 48 / 55 = 8,73 \cdot 10^{-5} \text{ г/см}^3$ (**6 баллов**); $m(\text{Zn}) = C(\text{ZnCl}_2) \cdot V \cdot M(\text{Zn}) / M(\text{ZnCl}_2) = 8,73 \cdot 10^{-5} \cdot 100 \cdot 65 / 136 = 4,17 \cdot 10^{-3} \text{ г}$ (**6 баллов**); $\omega(\text{Zn}) = 4,17 \cdot 10^{-3} / 0,521 = 0,0080 = 0,80 \%$ (**8 баллов**). ИТОГО **20 баллов**. В случае решения без пересчета концентрации (или массы) хлорида цинка на цинк (ответ 1,68 %) максимум **15 баллов**.

4. Использование возобновляемых ресурсов для получения органических реагентов и топлива является важным направлением преобразования природопользования. Одним из первичных производных, получаемых из углеводов, является 5-(гидроксиметил)фурфурол, при кислотном гидролизе которого можно получить эквимольное количество соединения **A** (жидкость) и левулиновой кислоты. При сильном нагреве левулиновая кислота превращается в смесь изомерных соединений **B** и **C**, не проявляющих кислотных свойств, каталитическое гидрирование которых приводит к одному и тому же продукту **D**. При гидрировании левулиновой кислоты в жестких условиях получается производное **E**, способное при дегидратации давать три изомерных продукта. Изобразите структуру всех зашифрованных соединений. Слева представлен один из катализаторов гидрирования. Напишите степень окисления рутения в нем и все его

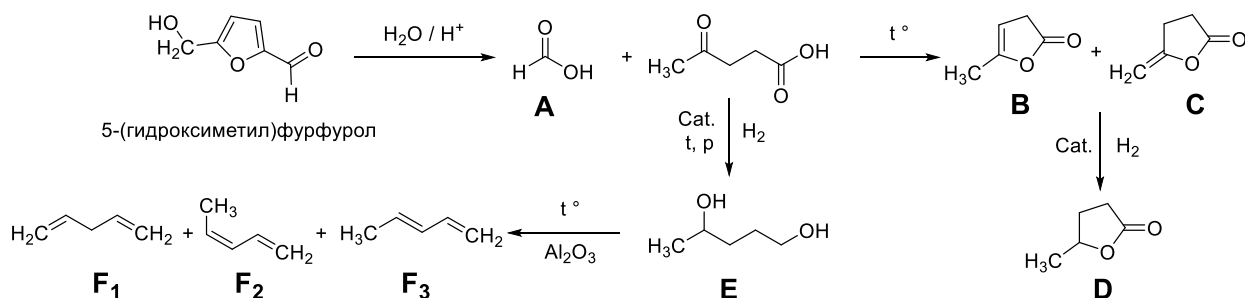


пространственные изомеры.

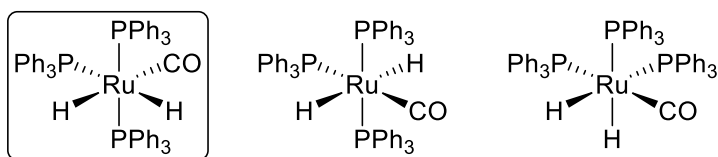


(20 баллов)

ОТВЕТ: Если вычесть из формулы 5-(гидроксиметил)фурфурола формулу левулиновой кислоты, окажется, что не хватает одного углерода, но есть лишний водород. Можно предположить, что должна присоединиться вода, но при добавлении одной молекулы для **A** получится формула CO, это не жидкость, при добавлении двух молекул получится H₂CO₂, что соответствует муравьиной кислоте. При нагревании левулиновой кислоты её карбоксильная группа должна прореагировать, в данном случае легче всего будет протекать присоединение к кетогруппе с последующим отщеплением воды. Жесткое гидрирование левулиновой кислоты приводит к двухатомному спирту, дегидратация которого дает 1,4- и 1,3-пентадиен. Последний может быть в форме *цис*- или *транс*-изомера. (структуры **A–C** и **F** оцениваются в 2 балла, **E** и **D** – по 1 баллу)



Для указанного катализатора можно изобразить ещё два пространственных изомера (по 2 балла, при изображении одинаковых вариантов в разной ориентации по 1 баллу):



В структуре катализатора фрагменты CO и PPh₃ представляют нейтральные частицы, а водороды – анионы H[–], тогда степень окисления рутения +2 (2 балла).

5. Вы наверняка слышали о радиоуглеродном методе датировки исторических объектов растительного происхождения. Он связан с измерением содержания радиоактивного изотопа ¹⁴C в объекте и основан на том, что этот изотоп не меняет концентрацию в природе, так как образуется постоянно из-за космического излучения, интенсивность которого мало менялась за последние десятки тысяч лет. Живое растение активно обменивает углерод с атмосферой и имеет природное содержание, а мертвое постепенно

теряет его из-за радиоактивного распада с $T_{1/2} = 5730$ лет. Число атомов ^{14}C , оставшихся к данному моменту в образце равно $N = N_0 \cdot (\frac{1}{2})^{t/T_{1/2}}$. Природное содержание ^{14}C характеризуется активностью 13,6 распадов в минуту в расчете на 1 г углерода. Активность образца, взятого из деревянного идола, составила 11,6 распадов в минуту в расчете на 1 г углерода. Учитывая погрешность измерения $\pm 0,2$ распада, определите возможный диапазон возраста идола. Какой максимальный возраст образца можно определить при такой точности? Какова мольная доля ^{14}C в природной смеси? Год примите за 365 дней. **(20 баллов)**

ОТВЕТ: Активность образца прямо пропорциональна числу радиоактивных атомов, поэтому зависимость активности от времени описывается тем же уравнением. Учитывая погрешность, реальная активность образца может иметь значение от 11,4 до 11,8. Подставим их в уравнение и рассчитаем время: $11,4 = 13,6 \cdot (\frac{1}{2})^{t/5730}$; $t_1 = 5730 \cdot (\ln 13,6 - \ln 11,4) / \ln 2 = 1459$ (лет) **(4 балла)**, $t_2 = 5730 \cdot (\ln 13,6 - \ln 11,8) / \ln 2 = 1174$ (лет) **(4 балла)**. При максимальном возрасте образец будет иметь минимальную активность, которую можно определить, то есть 0,2 распада в минуту, что соответствует $t_2 = 5730 \cdot (\ln 13,6 - \ln 0,2) / \ln 2 = 34881$ (лет) **(4 балла)**. *Засчитываются также ответы 1051 год и 1579 лет, учитывающие погрешность измерения природной активности, но эту величину следует всё же считать измеренной точно, так как она одинакова для всех образцов в мире.* Для оценки мольной доли вычислим число атомов изотопа ^{14}C в пробе. Вероятность распада у каждого атома одинаковая, поэтому число распадов пропорционально общему их количеству. Так как минута очень мала по сравнению с периодом полураспада, можно принять среднюю скорость за минуту мгновенной. $-\Delta N / \Delta t = \lambda N$, где λ – вероятность распада, которая связана с периодом полураспада соотношением $\lambda = \ln 2 / T_{1/2}$. Период полураспада необходимо перевести в минуты. $N(^{14}\text{C}) = 13,6 \cdot 5730 \cdot 365 \cdot 24 \cdot 60 / \ln 2 = 5,91 \cdot 10^{10}$. Всего в 1 г углерода $N(\text{C}) = 1 \cdot 6,02 \cdot 10^{23} / 12,011 = 5,01 \cdot 10^{22}$, то есть мольная доля составит $\chi(^{14}\text{C}) = 5,91 \cdot 10^{10} / 5,01 \cdot 10^{22} = 1,18 \cdot 10^{-12}$ **(8 баллов)**.

6. Если поместить некоторую соль аммония в коническую колбу и добавить умеренно концентрированного раствора соляной кислоты, то получится прозрачный раствор желтого цвета. При добавлении нескольких гранул цинка к полученному раствору, появляются пузырьки газа. Раствор постепенно меняет окраску на голубую, зеленую, и, наконец, фиолетовую при нагревании. Приведите уравнения протекающих при этом реакций. Назовите соединения, которые ответственны за окраску описанных растворов. **(30 баллов)**

ОТВЕТ: Желтый метаванадат аммония NH_4VO_3 **(3 балла)**; голубой хлорид ванадила VOCl_2 **(3 балла)**; зеленый хлорид ванадия (+3) **(3 балла)**; фиолетовый хлорид ванадия (+2) **(3 балла)**; $2\text{NH}_4\text{VO}_3 + \text{Zn} + 8\text{HCl} = 2\text{VOCl}_2 + \text{ZnCl}_2 + 2\text{NH}_4\text{Cl} + 4\text{H}_2\text{O}$ **(6 баллов)**; $2\text{VOCl}_2 + \text{Zn} + 4\text{HCl} = 2\text{VCl}_3 + \text{ZnCl}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$ **(6 баллов)**; $2\text{VCl}_3 + \text{Zn} = 2\text{VCl}_2 + \text{ZnCl}_2$ **(6 баллов)**.
ИТОГО **30 баллов**

Химия 11 класс

1. Концентрация хлорной кислоты в растворе 8 моль/дм³. Плотность раствора 1,47 г/см³. Какова массовая доля хлорной кислоты в этом растворе? **(5 баллов)**

ОТВЕТ: Пусть $V(p-pa) = 1 \text{ дм}^3$, тогда $n(\text{HClO}_4) = 8 \text{ моль}$ (**1 балл**); $m(p-pa) = 1000 \cdot 1,47 = 1470 \text{ г}$ (**1 балл**); $m(\text{HClO}_4) = 8 \cdot 100,5 = 804 \text{ г}$ (**1 балл**); $\omega(\text{HClO}_4) = 804 \cdot 100 / 1470 = 54,7 \%$ (**2 балла**). ИТОГО **5 баллов**

2. Бромид цезия имеет кубическую объемцентрированную кристаллическую решетку с ребром 0,429 нм (в каждой вершине куба один сорт ионов, в центре – противоион). Рассчитайте теоретическую плотность бромида цезия. **(5 баллов)**

ОТВЕТ: При построении кристалла из ячеек каждая вершина будет общей для 8 из них, а центральный атом принадлежит только одной, тогда в элементарную ячейку бромида цезия входит одна формульная единица. $6,02 \cdot 10^{23}$ (1 моль) ячеек бромида цезия будет весить 212,81 г, а плотность составит:

$$d = 212,81 \cdot 10^{-3} / ((0,429 \cdot 10^{-9})^3 \cdot 6,02 \cdot 10^{23}) = 4477 \text{ (кг/м}^3\text{)}.$$

3. Хлорид некоторого металла в растворе имеет фиолетовую окраску. Если к фиолетовому раствору данного хлорида добавлять небольшими порциями подкисленный раствор перманганата калия, то раствор постепенно меняет окраску сперва на зеленую, потом на голубую и, наконец, на желтую. Приведите уравнения реакций, протекающих при добавлении перманганата калия. Назовите соединения, которые ответственны за окраску описанных растворов. **(20 баллов)**

ОТВЕТ: Желтый метаванадат аммония NH_4VO_3 (**2 балла**); голубой хлорид ванадила VOCl_2 (**2 балла**); зеленый хлорид ванадия (+3) (**2 балла**); фиолетовый хлорид ванадия (+2) (**2 балла**); $5\text{VCl}_2 + \text{KMnO}_4 + 8\text{HCl} = 5\text{VCl}_3 + \text{MnCl}_2 + 4\text{H}_2\text{O} + \text{KCl}$ (**4 балла**); $5\text{VCl}_3 + \text{KMnO}_4 + \text{H}_2\text{O} = 5\text{VOCl}_2 + \text{MnCl}_2 + \text{KCl} + 2\text{HCl}$ (**4 балла**); $5\text{VOCl}_2 + \text{KMnO}_4 + 4\text{KCl} + 6\text{H}_2\text{O} = 6\text{KVO}_3 + \text{MnCl}_2 + 12\text{HCl}$ (**4 балла**). ИТОГО **20 баллов**

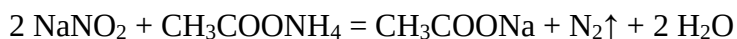
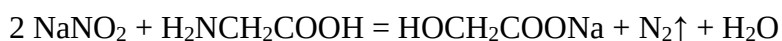
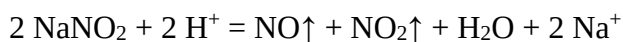
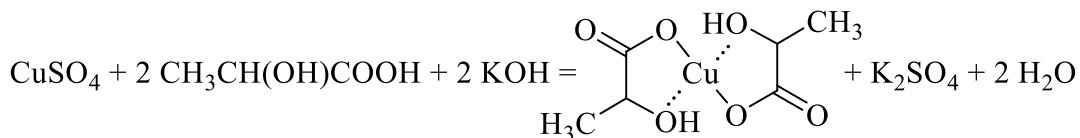
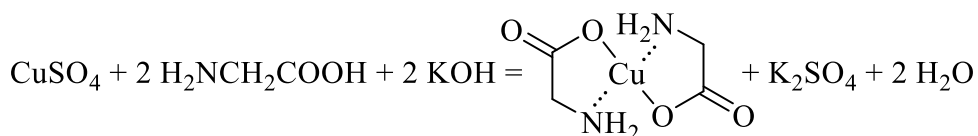
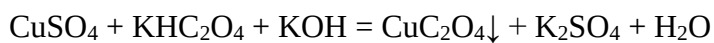
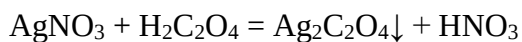
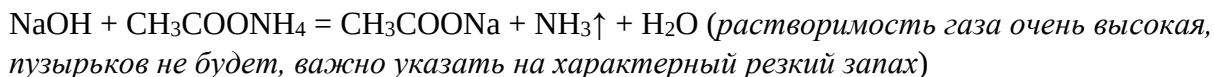
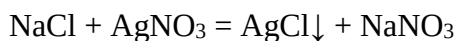
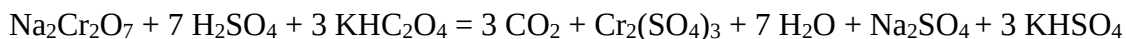
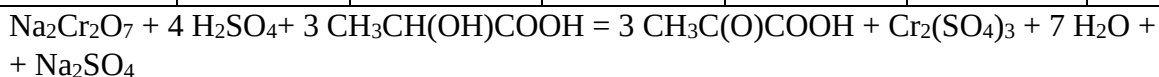
4. Две пластинки одинаковой массы изготовлены из одного металла. Этот металл в соединениях может проявлять степень окисления +2. Пластинки опустили в растворы солей меди и серебра одинаковой концентрации. Через некоторое время пластинки вынули, аккуратно промыли (чтобы весь осадок остался на пластинках), высушили и взвесили. Масса первой пластинки увеличилась на 0,8 %, второй – на 16 %. Из какого металла изготовлены пластинки? **(20 баллов)**

ОТВЕТ: $\text{Me} + \text{Cu}(\text{NO}_3)_2 = \text{Me}(\text{NO}_3)_2 + \text{Cu}$ (**2 балла**); $\text{Me} + 2\text{AgNO}_3 = \text{Me}(\text{NO}_3)_2 + 2\text{Ag}$ (**2 балла**); пусть $m(\text{пласт}) = 10 \text{ г}$, тогда $\Delta m(1) = 0,08 \text{ г}$, $\Delta m(2) = 1,6 \text{ г}$ (**2 балла**); $n(\text{Cu}) \cdot M(\text{Cu}) - n(\text{Me}) \cdot M(\text{Me}) = 0,08$ и $n(\text{Ag}) \cdot M(\text{Ag}) - n(\text{Me}) \cdot M(\text{Me}) = 1,6$ (**4 балла**); $n(\text{Cu}) = n(\text{Me})$; $n(\text{Ag}) = 2 \cdot n(\text{Me})$ (**1 балл**); $64 \cdot n(\text{Me}) - n(\text{Me}) \cdot M(\text{Me}) = 0,08$ и $216 \cdot n(\text{Me}) - n(\text{Me}) \cdot M(\text{Me}) = 1,6$, $n(\text{Me}) = 0,01 \text{ моль}$ (**3 балла**); $0,01 \cdot 64 - 0,01 \cdot M(\text{Me}) = 0,08$, $M(\text{Me}) = 56 \text{ г/моль}$ (**4 балла**); железо (Fe) (**2 балла**). ИТОГО **20 баллов**

5. Приведите уравнения реакций, с помощью которых можно отличить **водные растворы** уксусной кислоты, хлоруксусной кислоты, молочной (2-гидроксипропановой) кислоты, глицина (аминоуксусной кислоты), ацетата аммония и гидрооксалата калия. (20 баллов)

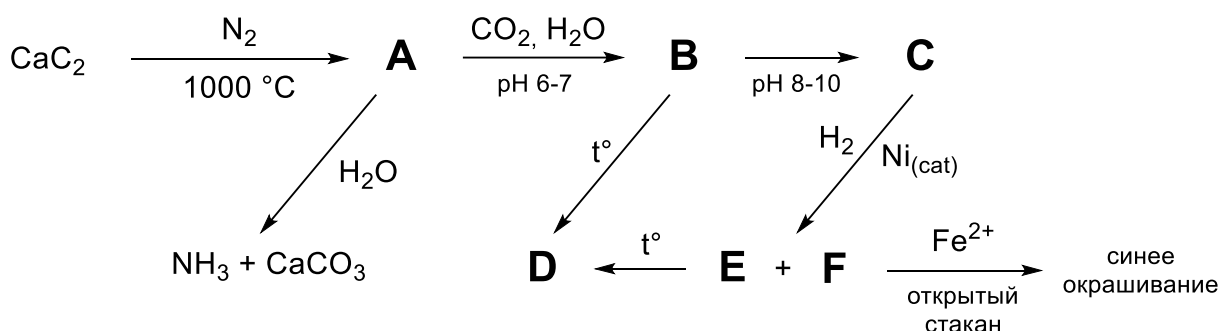
ОТВЕТ: Пример набора реагентов для распознавания (принимались и другие варианты):

	уксусная кислота	хлоруксусная кислота	молочная кислота	глицин	ацетат аммония	гидрооксалат калия
$\text{H}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ($\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + \text{H}_2\text{SO}_4$)	нет реакции	нет реакции	Изменение цвета раствора на изумрудно-зеленый	нет реакции	нет реакции	Изменение цвета раствора на изумрудно-зеленый (при нагревании)
1. NaOH 2. HNO_3 3. AgNO_3	нет реакции	3. Выпадение белого осадка	Без видимых изменений	Без видимых изменений	1. Появление резкого запаха	3. Выпадение белого осадка
$\text{CuSO}_4 + \text{KOH}$	нет реакции	нет реакции	усиление синей окраски	усиление синей окраски	Появление глубокой синей окраски	Светло-синий осадок
NaNO_2	Бурый газ	Бурый газ	Бурый газ	Бесцветный газ	Бесцветный газ	Бурый газ



По **3 балла** за каждое строго идентифицированное вещество, **2 балла** за составление таблицы (важно для понимания уникальности набора свойств в ряду). Использование реактивов, взаимодействующих с водой, не оценивалось. Реакции протекающие одинаково с несколькими веществами оценивались в **1 балл**. За ошибку в уравнении или отсутствие аналитического эффекта реакции **вычитался 1 балл**.

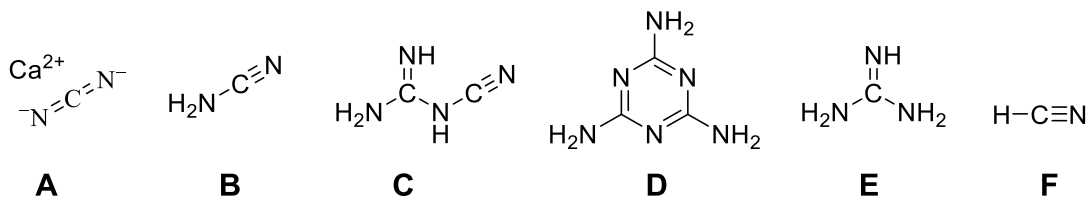
6. Карбид кальция способен поглощать азот при прокаливании до 1000 °С с образованием вещества **А**, которое отделяют от чёрного побочного продукта растворением в холодной воде. Вещество **А** при длительном контакте с водой или кипячении полностью гидролизуется, образуя только аммиак и карбонат кальция. Если через раствор **А** пропускать ток углекислого газа, поддерживая рН 6–7, образуется соединение **В**, способное димеризоваться в слабощелочной среде с образованием **С** и тримеризоваться при нагревании с образованием **Д**. Вещество **С** при каталитическом гидрировании превращается в **Е** и **Ф**. При добавлении к раствору **Ф** соли железа(II) в открытом стакане происходит его посинение, постепенно выпадает синий осадок. Соединение **Е** обладает основными свойствами, образуя соль даже с угольной кислотой, при этом переходит в катион, имеющий ось симметрии третьего порядка. При нагревании **Е** может превращаться в **Д**, также имеющее ось симметрии третьего порядка. Изобразите структурные формулы соединений **А–Ф**, напишите реакции образования **А** и **В** и взаимодействия **Е** с угольной кислотой. Какое непромышленное применение имело соединение **А**? Соединение **Д** с избытком формальдегида образует полимер, изобразите его примерную структуру.



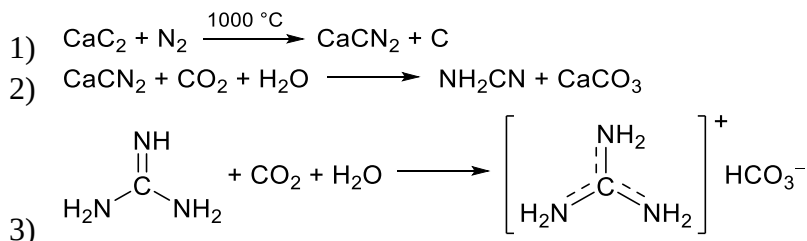
(30 баллов)

ОТВЕТ: Исходя из реакции, вещество **А** может содержать только кальций, углерод и азот. Так как при гидролизе ОВР, обычно, не происходит, углерод должен иметь степень окисления +4, кальций +2, азот –3. Тогда простейший вариант формулы соединения **А** – CaCN_2 , что соответствует цианамиду кальция. Черный побочный продукт – углерод. При взаимодействии с водой цианамид гидролизуется с сильным повышением рН среды, поэтому гидролиз идет до конца. В слабокислой среде идет простая реакция обмена с образованием цианамида **В**, который при осторожном повышении рН димеризуется за счет присоединения аминогруппы одной молекулы к нитрильной другой молекулы. При нагревании цианамид тримеризуется по тройным связям подобно ацетилену с образованием меламина **Д**. Ион Fe^{2+} в открытом стаканчике частично окисляется кислородом до Fe^{3+} , при их совместном присутствии синее окрашивание появляется в присутствии цианида, значит гидрирование произошло по связи N–CN. Двойная связь в гуанидине **Е** делокализована за счет сопряжения, поэтому образующийся при протонировании катион является полностью симметричным, а положительный заряд в нём равномерно распределён по всем шести водородам, что и обеспечивает его высокую устойчивость.

Структуры зашифрованных соединений (по 3 балла):



Уравнения реакций (по 2 балла):



Так как цианамид кальция при гидролизе постепенно выделяет аммиак, важный нутриент для растений, его использовали в качестве удобрения (**3 балла**). Кроме того, он нейтрализует pH кислых почв за счет основных свойств.

Меламин **D** взаимодействует с формальдегидом с образованием аминального фрагмента, связывающего молекулы в полимерную сеть (**3 балла**). Такой полимер, меламинаформальдегидная смола, довольно прочен, а за счет атомов азота хорошо сорбирует полярные соединения, и используется, например, в производстве меламиновых губок.

