

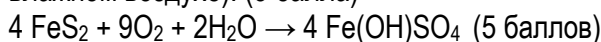
## 1 вариант

Время выполнения задания – 180 минут. Максимальное количество баллов – 100

**Задание 1. (20 баллов)** Во времена золотой лихорадки американские золотоискатели промывали в реках и озёрах песок в надежде увидеть блеск золотого песка или самородков в лучах солнца. Многим везло - они намывали темно-золотые чешуйки. Но через час они чернели и становились более похожи на железные опилки. Что находили старатели? Объясните причину изменения цвета с химической точки зрения.

**Решение:** Пирит (2 балла), он же золото дураков (1 балл)/ железный колчедан (1балл) / серный колчедан (1 балл) – минерал, дисульфид железа (1 балл)  $\text{FeS}_2$  (1 балл).

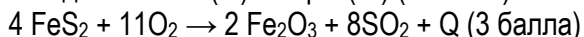
В природе пирит медленно окисляется до сернистых солей железа в присутствии воды (или во влажном воздухе): (3 балла)



Процесс протекает только на поверхности минерала.

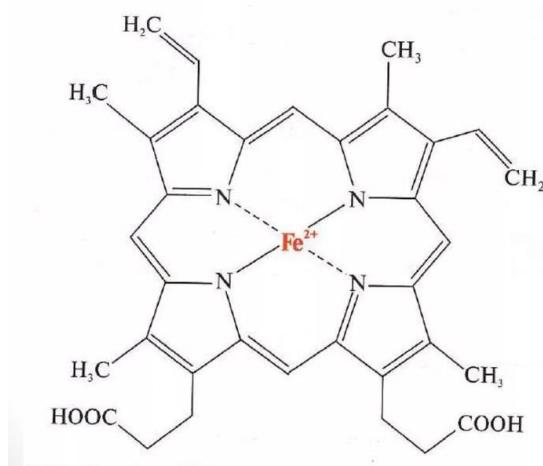
Цвет меняется из золотисто-желтого в коричневый и темно-бурый.

В промышленности процесс окисления пирита проводят при температуре 800 °С с получением оксидов железа (III) и серы (IV) (2 балла):



**Задание 2. (20 баллов)** Для всех вполне привычно и естественно, что цвет крови человека определяется комплексом гемоглобина железа. Объясните с химической точки зрения изменение ее цвета на разных стадиях процесса дыхания. Поясните особенности окисления железа в гемоглобине?

**Решение:** Гемоглобин крови, содержащий кислород, в организме выполняет функцию переносчика кислорода (1 балл). В состав молекулы гемоглобина входят четыре иона железа в степени окисления +2. Каждый из них способен соединяться с молекулой кислорода ( $\text{O}_2$ ) (5 баллов). Данная реакция обратима: кислород поглощается в легких (повышенная концентрация кислорода) и освобождается в клетках (пониженное содержание кислорода) (1 балла). При этом происходит изменение цвета крови: гемоглобин в присутствии кислорода имеет ярко-красный цвет, в присутствии углекислого газа – темно-красный (1 балла). В ходе процесса дыхания и транспорта кислорода к клеткам степень окисления железа не изменяется (5 баллов). Если железо окислится до +3, то гемоглобин приобретет коричневый цвет – процесс наблюдается в месте пореза или иного ранения – цвет спёкшейся крови (3 балла). Написана формула гемоглобина + 4 балла



**Задание 3. (14 баллов)** Водные растворы солей марганца (II), железа (II), кобальта (II), никеля (II), меди (II) и цинка (II) имеют разную окраску. Почему? Назовите цвета растворов.

**Решение:** Водные комплексы марганца (II), железа (II), кобальта (II), никеля (II), меди (II) и цинка (II) имеют одинаковую (октаэдрическую) конфигурацию, но разное число d-электронов на внешнем электронном уровне, а, следовательно, и разную окраску (6 баллов).

Водный комплекс соли цинка имеет полностью заполненные d-уровень, поэтому раствор бесцветен. Изменение количества электронов на внешнем энергетическом уровне приводит к смещению полосы поглощения и изменению цвета раствора.

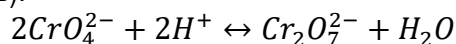
Ион	Кол-во электронов (d-уровень)	Атомный номер	Цвет раствора
Mn <sup>2+</sup>	5	25	Бесцветный
Fe <sup>2+</sup>	6	26	Желтый
Co <sup>2+</sup>	7	27	Розовый
Ni <sup>2+</sup>	8	28	Зеленый
Cu <sup>2+</sup>	9	29	Синий
Zn <sup>2+</sup>	10	30	Бесцветный

По 1 баллу за каждый цвет

**Задание 4. (13 баллов)** В своей лаборатории профессор Знайкин изучал свойства соединений хрома. Он приготовил лимонно-желтый однопроцентный раствор неорганической соли хрома, разлил его в два цилиндра, первый использовал для сравнения, а во второй добавил несколько мл 1 н раствора хлористоводородной кислоты - цвет раствора во втором цилиндре стал оранжевым. Поясните эксперимент химически.

**Решение:** Ионы хрома в щелочной среде находятся в форме хромата  $CrO_4^{2-}$  (лимонно-желтый раствор). При понижении pH (подкислении раствора) наблюдается протонизация хромат-иона с образованием ионов  $HCr_2O_7^-$ . В результате образования дихромата раствор становится оранжевым (6 баллов).

Уравнения реакций (6 баллов):



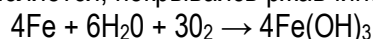
**Задание 5. (15 баллов)** Около 5000 лет назад этот металл уже был известен всюду – от Китая до Египта и стран древней Европы. Однако его широкое использование и применение началось спустя более 2000 лет, поскольку добыча его руд и получение чистого металла были очень тяжелым процессом. Известно, что впервые промышленное производство этого металла началось на территории современной Турции. О чем идет речь? Приведите основные физические и химические характеристики данного металла, приведите реакции.

**Решение:** Данный металл – железо, технология его обработки сложнее, чем у меди и золота, и в земной коре он распространен в виде руд.

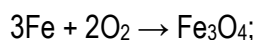
Физические свойства: Железо – металл серебристо-белого цвета с металлическим блеском (0,5 балла). Хорошо проводит тепло и электрический ток (0,5 балла). Металл притягивается магнитом и после отключения внешнего магнитного поля сохраняет намагниченность (0,5 балла). Пластичен, хорошо поддается ковке и прокатке (0,5 балла). Не растворяется в воде, имеет плотность 7.9 г/см<sup>3</sup> (0,5 балла). Имеет высокую температуру плавления – более 1500 °C (0,5 балла).

Химические свойства: (по 1 баллу за правильно написанную реакцию, 0,5 – если не расставлены коэффициенты, 0,1 – если просто названо свойство, без реакции)

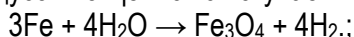
- на воздухе и в воде легко окисляется, покрываясь ржавчиной



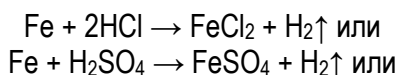
- в кислороде накаливая проволока горит (при этом образуется окалина в виде оксида железа)

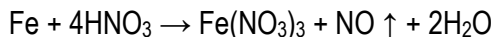


- при температуре 700–900 градусов по Цельсию вступает в реакцию с парами воды

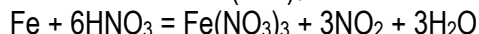
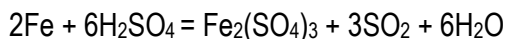


- вступает в реакции с разбавленными кислотами, в результате получают соли железа и водород

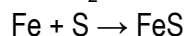
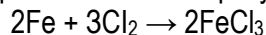




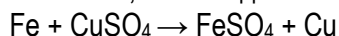
- При обычных условиях концентрированные (до 70 мас. %) серная и азотная кислоты пассивируют железо. При нагревании возможно взаимодействие с образованием солей железа (III):



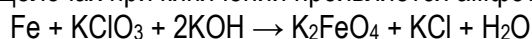
- реагирует с галогенами и серой при высокой температуре:



- способно вытеснить металлы из растворов их солей (железный гвоздь, в растворе медного купороса, покрывается красным налетом, - это выделяется медь)

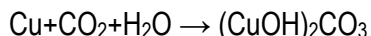


- в концентрированных щелочах при кипячении проявляется амфотерность железа:



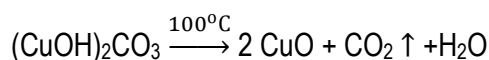
**Задание 6. (18 баллов)** В старой части Европы можно встретить много зданий с зелёными крышами. Объясните причину данного явления. Предложите способ восстановления цвета химическим способом, который не будет повреждать крышу, здание, окружающую территорию и экологию. Охарактеризуйте и распишите все механизмы реализации.

**Решение:** Раньше крыши покрывали медными листами. Медь, как цветной металл, обладает уникальным свойством – «автозатуханием» процесса «ржавления». Намеренно употребляем термин «ржавление» в отличие от «окисления», так как продукт взаимодействия с внешней средой – медная «ржавчина» или патина, представляет собой нечто большее, чем окисление. На воздухе при наличии влаги и углекислого газа медь медленно окисляется, покрываясь пленкой патины зеленого цвета, которая является щелочным карбонатом меди  $(\text{CuOH})_2\text{CO}_3$ . Эта пленка в определенной мере защищает медь от дальнейшей коррозии. Патина герметизирует поверхность, преграждает дальнейший доступ кислорода и других веществ к меди. В отличие от железа – там процесс ржавления происходит лавинообразно – чем больше ржавчины, тем больше и быстрее процесс продолжается. Вот это принципиальное и уникальное отличие патины от ржавчины (3 балла).



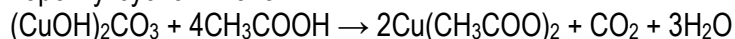
Как возможно убрать патину (максимум 10 баллов, по 2 балла за метод, если учтен экологический аспект):

- Патина разлагается горячей водой (метод трудно осуществим – крыши невозможно вымыть кипятком):



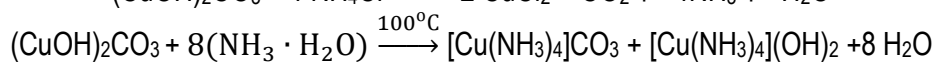
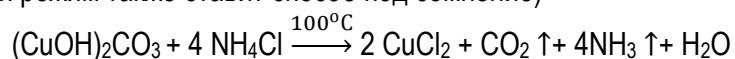
- Патина реагирует с кислотами (обработка даже слабыми растворами кислот опасна для экологии):

Реакция с раствором уксусной кислоты

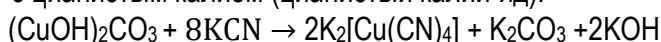


Допустимо написание реакции с лимонной кислотой

- Патина реагирует с солями аммония и раствором аммиака (неприятный запах, температурный режим также ставит способ под сомнение)



- Патина реагирует с цианистым калием (цианистый калий-яд):



- Экологически безопасно и технологически не вредит зданию – покрывать их лаками и полимерными материалами. Однако, поскольку слой патины сам по себе защищает медь от дальнейшего разрушения, дополнительная защита не нужна.

## 2 вариант

**Задание 1. (10 баллов) При взаимодействии 9,6 г оксида металла (III) с серной кислотой образуется 24 г сульфата металла (III). Определите металл.**

**Решение:**  $\text{Me}_2\text{O}_3 + 3\text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{Me}_2(\text{SO}_4)_3 + 3\text{H}_2\text{O}$  (3 балла)

Сначала выразим кол-во вещества оксида и сульфата (масса  $\text{Me}=x$ ):

$$9.6/48+2x$$

$$24/288+2x$$

Приравняем их (коэффициент 1:1, поэтому ничего не нужно добавлять)

$$9.6/48+2x=24/288+2x$$

далее решаем:

$$9.6*(288+2x)=24*(48+2x)$$

$$2764.8+19.2x=1152+48x$$

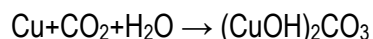
$$28.8x=1612.8$$

$$x=56 \text{ (5 баллов)}$$

Ищем в таблице Менделеева элемент с такой массой - Fe(железо) (2 балла)

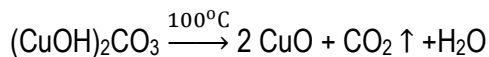
**Задание 2. (18 баллов) В старой части Европы можно встретить много зданий с зелёными крышами. Объясните причину данного явления. Предложите способ восстановления цвета химическим способом, который не будет повреждать крышу, здание, окружающую территорию и экологию. Охарактеризуйте и распишите все механизмы реализации.**

**Решение:** Раньше крыши покрывали медными листами. Медь, как цветной металл, обладает уникальным свойством – «автозатуханием» процесса «ржавления». Намеренно употребляем термин «ржавление» в отличие от «окисления», так как продукт взаимодействия с внешней средой – медная «ржавчина» или патина, представляет собой нечто большее, чем окисление. На воздухе при наличии влаги и углекислого газа медь медленно окисляется, покрываясь пленкой патины зеленого цвета, которая является щелочным карбонатом меди  $(\text{CuOH})_2\text{CO}_3$ . Эта пленка в определенной мере защищает медь от дальнейшей коррозии. Патина герметизирует поверхность, преграждает дальнейший доступ кислорода и других веществ к меди. В отличие от железа – там процесс ржавления происходит лавинообразно – чем больше ржавчины, тем больше и быстрее процесс продолжается. Вот это принципиальное и уникальное отличие патины от ржавчины.



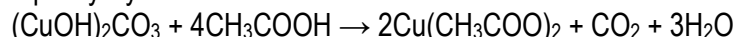
Как возможно убрать патину (максимум 10 баллов, по 2 балла за метод, если учтен экологический аспект):

- Патина разлагается горячей водой (метод трудно осуществим – крыши невозможно вымыть кипятком):



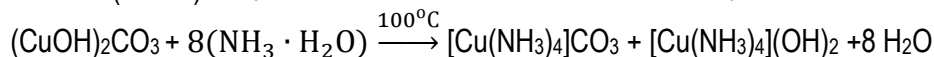
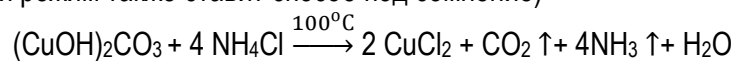
- Патина реагирует с кислотами (обработка даже слабыми растворами кислот опасна для экологии):

Реакция с раствором уксусной кислоты

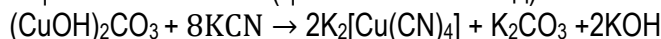


Допустимо написание реакции с лимонной кислотой

- Патина реагирует с солями аммония и раствором аммиака (неприятный запах, температурный режим также ставит способ под сомнение)



- Патина реагирует с цианистым калием (цианистый калий-яд):

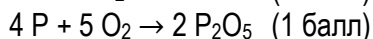
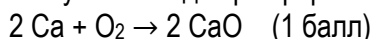


- Экологически безопасно и технологически не вредит зданию – покрывать их лаками и полимерными материалами. Однако, поскольку слой патины сам по себе защищает медь от дальнейшего разрушения, дополнительная защита не нужна.

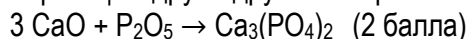
**Задание 3. (5 баллов) Напишите уравнения реакций, при помощи которых, используя простые вещества кальций, фосфор и кислород, можно получить фосфат кальция.**

**Решение:** Фосфат кальция  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$  (1 балл)

Сначала получим оксиды фосфора и кальция:

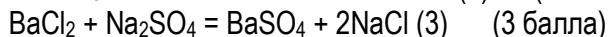
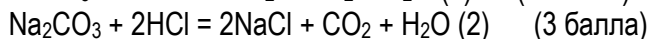
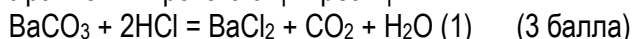


Затем оксиды вступают в реакцию друг с другом с образованием фосфата кальция:



**Задание 4. (20 баллов) 50 г смеси карбонатов бария и натрия растворили в избытке соляной кислоты. Добавление к полученному в результате реакций раствору избытка раствора сульфата натрия приводит к выпадению 46,6 г осадка. Напишите уравнения протекающих реакций и определите массовые доли (в %) карбонатов в смеси.**

**Решение:** Уравнения протекающих реакций:



По массе осадка  $\text{BaSO}_4$  и уравнениям реакций (3) и (1) определим массу  $\text{BaCO}_3$ .

По уравнению реакции (3) рассчитаем количество вещества  $\text{BaCl}_2$ :

$$n(\text{BaCl}_2) = n(\text{BaSO}_4) = 46,6 / 233 = 0,2 \text{ моль} \quad (2 \text{ балла})$$

По уравнению реакции (1) рассчитаем количество вещества  $\text{BaCO}_3$  и затем его массу:

$$n(\text{BaCO}_3) = n(\text{BaCl}_2) = 0,2 \text{ моль [из уравнения реакции (3)]} \quad (2 \text{ балла})$$

$$m(\text{BaCO}_3) = 0,2 * 197 = 39,4 \text{ г} \quad (2 \text{ балла})$$

Определим массовые доли карбонатов в смеси:

$$w(\text{BaCO}_3) = 39,4 / 50 = 0,788 \text{ или } 78,8\% \quad (3 \text{ балла})$$

$$w(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 100 - 78,8 = 21,2\% \quad (2 \text{ балла})$$

$$\text{Ответ: } w(\text{BaCO}_3) = 78,8\% \quad w(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 21,2\%$$

**Задание 5. (14 баллов) Водные растворы солей марганца (II), железа (II), кобальта (II), никеля (II), меди (II) и цинка (II) имеют разную окраску. Почему? Назовите цвета растворов.**

**Решение:** Водные комплексы марганца (II), железа (II), кобальта (II), никеля (II), меди (II) и цинка (II) имеют одинаковую (октаэдрическую) конфигурацию, но разное число d-электронов на внешнем электронном уровне, а, следовательно, и разную окраску (6 баллов).

Водный комплекс соли цинка имеет полностью заполненные d-уровень, поэтому раствор бесцветен. Изменение количества электронов на внешнем энергетическом уровне приводит к смещению полосы поглощения и изменению цвета раствора.

Ион	Кол-во электронов (d-уровень)	Атомный номер	Цвет раствора
$\text{Mn}^{2+}$	5	25	Бесцветный
$\text{Fe}^{2+}$	6	26	Желтый
$\text{Co}^{2+}$	7	27	Розовый
$\text{Ni}^{2+}$	8	28	Зеленый
$\text{Cu}^{2+}$	9	29	Синий
$\text{Zn}^{2+}$	10	30	Бесцветный

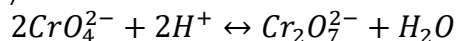
По 1 баллу за каждый цвет.

**Задание 6. (13 баллов) В своей лаборатории профессор Знайкин изучал свойства соединений хрома. Он приготовил лимонно-желтый однопроцентный раствор неорганической соли хрома, разлил его в два цилиндра, первый использовал для сравнения, а во второй добавил несколько мл 1 н раствора**

хлористоводородной кислоты - цвет раствора во втором цилиндре стал оранжевым. Поясните эксперимент химически

**Решение:** Ионы хрома в щелочной среде находятся в форме хромата  $CrO_4^{2-}$  (лимонно-желтый раствор). При понижении pH (подкислении раствора) наблюдается протонизация хромат-иона с образованием ионов  $HCr_2O_7^-$ . В результате образования дихромата раствор становится оранжевым (6 баллов).

Уравнения реакций (6 баллов):



**Задание 7. (20 баллов)** Металл А реагирует с простым газообразным веществом Б, образуя твёрдое соединение В, которое растворяется в избытке соляной кислоты, образуя соли Г и Д. Соль Г взаимодействует с раствором щёлочи с выделением газа Е. Назовите перечисленные соединения, если известно, что соль Д содержит 25,26% металла А.

**Решение:** Судя по реакции со щёлочью с выделением газа, соль Г — соль аммония, в данном случае, хлорид аммония. Образование соли аммония одновременно с солью металла указывает на то, что соединение В — нитрид металла. Действительно, нитрид образуется при реакции металла с простым газообразным веществом (азотом). Таким образом, соль Д представляет собой хлорид металла. Пусть молярная масса металла х. Тогда молярная масса хлорида ( $x + 35,5n$ ), где n — валентность металла в хлориде.

$$[x/(x + 35,5n)]100 = 25,26 \quad (2 \text{ балла})$$

Отсюда  $x = 12n$ . При  $n = 1$  такого металла нет. При  $n = 2$  это магний. При  $n = 3$  металла нет. Для  $n = 4$  масса соответствует титану (48), однако титан не вступает в описанные реакции и  $TiCl_4$  не существует в водном растворе.

Таким образом:

А — Mg магний (2 балла)

Б —  $N_2$  азот (2 балла)

В —  $Mg_3N_2$  нитрид магния (2 балла)

Г —  $MgCl_2$  хлорид аммония (2 балла)

Д —  $NH_4Cl$  хлорид аммония (2 балла)

Е —  $NH_3$  аммиак (2 балла)

