

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**



**ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ
«ГРАНИТ НАУКИ»**

ХИМИЯ

**Методические указания для подготовки к заключительному туру
олимпиады в 2023/2024 учебном году
для 10-11 класса**

Санкт-Петербург

2024

Методические указания для подготовки участников к очному заключительному туру олимпиады по предмету Химия / Санкт-Петербургский горный университет. СПб., 2023. 15 с.

Методические указания составлены для участников очного заключительного тура олимпиады по предмету Химия, проводимого в письменной форме.

Основное назначение настоящих методических указаний – дать достаточно полное представление об уровне и специфике требований очного заключительного тура олимпиады по предмету Химия.

Методические указания включают теоретические сведения, методы решения задач и примеры заданий по химии, по содержанию и трудности, приближенные к олимпиадным заданиям.

Научный редактор проф. *О.В. Черемисина*

Введение

Основными целями очного заключительного тура олимпиады по химии среди школьников являются популяризация олимпиадного движения, демонстрация значимости химических знаний, развитие интереса к химии, активизация инициативности и самостоятельности учащихся в работе с дополнительной литературой.

Задания олимпиады охватывают все разделы химии. Работа выполняется письменно в течение трёх астрономических часов (180 минут).

Основное внимание будет обращено на понимание сути явлений, умение пользоваться периодической системой элементов и связывать химические свойства элементов и их соединений с положением в периодической таблице. Необходимо знать современную номенклатуру, принципы классификации неорганических и органических соединений, основные понятия и законы химии, свойства элементов и их соединений, уметь производить расчёты по уравнениям химических реакций и формулам химических соединений с применением понятий «массовая доля», «молярная концентрация».

Все необходимые вспомогательные материалы: периодическая система элементов, таблица растворимости соединений, таблица стандартных электродных потенциалов (ряд активности металлов). Черновик работы проверке не подлежит.

Методические указания к выполнению работы

При выполнении олимпиадных заданий требуется дать краткое теоретическое обоснование каждого выбранного решения и привести соответствующие уравнения реакций.

Билет содержит задания следующих типов:

- окислительно-восстановительная реакция без указания продуктов;
- цепочка химических реакций по общей и неорганической химии с неизвестными компонентами;
- цепочка химических реакций по органической химии с неизвестными компонентами;
- творческая задача по неорганической химии;
- сложная задача по органической химии;
- задача по общей и неорганической химии повышенной сложности.

Составляя цепочку химических превращений по свойствам элементов и классов неорганических соединений, необходимо соответствующие реакции уравнивать, записать в молекулярной и ионной формах. Окислительно-восстановительные реакции требуется уравнивать, используя метод электронного баланса или метод полу-реакций, указать процессы окисления и восстановления, окислитель и восстановитель.

В цепочке превращений по свойствам органических соединений реакции следует уравнивать, а также показать условия их проведения (температура, катализатор и т.д.).

При составлении цепочек по органической и неорганической химии с неизвестными компонентами необходимо назвать полученные соединения, используя систематическую номенклатуру.

Решение творческих задач и задач повышенной сложности должно сопровождаться представлением реакции химического процесса, описанного в условии, обоснованными переходами между действиями, ссылками на законы и правила. Все полученные расчетные величины должны быть указаны с единицами измерений. При выполнении такого типа заданий особенно приветствуется представление оригинального решения. Для успешного решения задачи необходимы не только знания фактического материала, но умение участников логически мыслить и их химическая интуиция.

Содержание, структура и форма проведения работы

Работа выполняется письменно. Продолжительность вступительного испытания составляет 3 (три) астрономических часа. Все необходимые вспомогательные материалы: периодическая система элементов, таблица растворимости соединений, таблица стандартных электродных потенциалов (ряд активности металлов) предоставляются.

Билет олимпиады по химии содержит 6 заданий. Структура всех билетов одинакова. Каждый билет содержит задания, оцениваемые в 5, 15, 20 и 25 баллов. За каждый правильный ответ при решении задания участник получает эквивалентное правильному решению количество баллов. Итоговая оценка (максимум 100 баллов) определяется суммарным количеством набранных баллов за каждое правильно решенное задание или за его часть.

Например, если задача или цепочка химических реакций выполнена частично: правильно составлено уравнение химической реакции или точно установлено количество вещества, то каждый правильный промежуточный результат оценивается эквивалентным количеством баллов.

Билет состоит из следующих заданий:

1. Для предложенной окислительно-восстановительной реакции определить продукты, закончить реакцию и уравнять её, пользуясь методом электронного баланса или методом полу-реакций. Реакцию представить в молекулярной и, для реакции, протекающей в растворе, сокращенной ионной форме.

2. Выполнить практическое задание, включающее составление цепочки химических превращений с неизвестными продуктами, соответствующих неорганическому синтезу. Соответствующие реакции необходимо уравнивать. При уравнивании окислительно-

восстановительных реакций воспользоваться методом электронного баланса или методом полу-реакций. Все реакции представить в молекулярной и, для реакций, протекающих в растворе, сокращенной ионной форме.

3. Решить задачу из курса органической химии, требующей знаний химических свойств, способов получения и практического применения основных классов органических соединений.

4. Решить задачу из курса общей или неорганической химии, требующей умений проведения расчетов по химическим формулам и уравнениям реакции.

5. Выполнить практическое задание, включающее составление цепочки химических превращений с неизвестными продуктами, соответствующих органическому синтезу. Составляя цепочку химических превращений по свойствам классов органических соединений, необходимо соответствующие реакции уравнивать и указать условия их протекания.

6. Решить задачу из курса общей или неорганической химии, требующей знаний химических свойств металлов/неметаллов, кислотно-основных свойств оксидов и гидроксидов, отличительных особенностей простых и сложных веществ, качественных реакций катионов и анионов.

Разделы дисциплины, рассматриваемые в заданиях

Раздел 1. Общая химия

1. Атомно-молекулярное учение. Атомы. Молекулы. Моль – единица количества вещества.

2. Современное представление о строении атома. Строение электронных оболочек атомов элементов периодической системы. Изотопы.

3. Периодический закон и периодическая система элементов Д.И. Менделеева. Их значение для развития химии, физики и технологии.

4. Валентность элементов. Объяснение валентности с точки зрения учения о строении атома. Понятие о степени окисления.

5. Ковалентная связь. Типы ковалентной связи, примеры.

6. Химические формулы, их графическое изображение.

7. Классификация химических реакций: соединения, разложения, замещения, обмена.

8. Тепловой эффект химических реакций. Эндо- и экзотермические превращения. Примеры.

9. Окислительно-восстановительные реакции. Окислитель и восстановитель. Уравнивание окислительно-восстановительных реакций.

10. Обратимость химических реакций. Химическое равновесие и условия его смещения.

11. Скорость химической реакции. Факторы, влияющие на скорость реакции: природа реагирующих веществ, концентрация, температура. Катализ и катализаторы.

12. Закон Авогадро. Следствия из закона Авогадро (число Авогадро, относительная плотность газов, молярный объем).

13. Растворы. Растворимость веществ. Зависимость растворимости веществ от их природы, температуры и давления. Насыщенные и ненасыщенные растворы. Численное выражение концентрации растворов.

14. Классификация оксидов. Основные способы получения и химические свойства оксидов.

15. Основания. Их типы. Основные химические свойства и получение. Особенности щелочей. Неорганические и органические основания, их строение и свойства.

16. Свойства кислот, оснований, солей согласно теории электролитической диссоциации. Сильные и слабые электролиты. Степень диссоциации.

17. Кислоты. Их общие свойства и способы получения. Реакция нейтрализации.

18. Соли, их классификация. Основные химические свойства и способы получения.

19. Электролиз водных растворов и расплавов солей. Процессы, протекающие у катода и анода.

Раздел 2. Неорганическая химия

Классификация неорганических соединений.

Металлы, их положение в периодической системе, физические и химические свойства. Основные способы получения металлов. Коррозия металлов и борьба с ней.

Щелочные металлы, их характеристика на основе положения в периодической системе и строения атома. Основные химические свойства, их соединения в природе.

Общая характеристика элементов II группы главной подгруппы периодической системы, их соединения в природе.

Алюминий. Характеристика элемента и его соединений на основе положения в периодической системе и строения атома. Амфотерность оксида и гидроксида алюминия. Способы получения металлического алюминия.

Железо. Его оксиды и гидроксиды, зависимость их свойств от степени окисления железа. Химические реакции, лежащие в основе получения чугуна и стали.

Общая характеристика элементов IV группы главной подгруппы периодической системы.

Углерод, его аллотропные формы. Химические свойства углерода. Оксиды

углерода (II) и (IV), их химические свойства. Угольная кислота, ее химические свойства. Свойства солей угольной кислоты.

Кремний. Его физические и химические свойства. Оксид кремния и кремниевая кислота.

Общая характеристика элементов V группы главной подгруппы периодической системы.

Азот. Его основные физические и химические свойства и важнейшие соединения. Оксиды азота и азотная кислота. Химические особенности азотной кислоты. Соли азотной кислоты.

Аммиак. Реакции, лежащие в основе его промышленного синтеза, физические и химические свойства. Соли аммония. Качественная реакция на ион аммония.

Фосфор. Его аллотропные формы, физические и химические свойства. Оксид фосфора (V), фосфорная кислота и ее соли.

Общая характеристика элементов VI группы главной подгруппы периодической системы.

Кислород, его физические и химические свойства, аллотропия. Способы получения.

Сера, ее физические и химические свойства. Основные физические и химические свойства сероводорода и оксидов серы.

Серная кислота, ее свойства. Химические основы получения серной кислоты контактным способом. Качественная реакция на сульфат-ион.

Общая характеристика элементов VII группы главной подгруппы периодической системы. Сравнение их химических свойств. Соединения галогенов в природе.

Галогеноводороды. Их свойства и получение.

Вода, ее физические и химические свойства (взаимодействие с оксидами, металлами, солями). Гидролиз солей.

Жесткость воды. Способы ее устранения.

Раздел 3. Органическая химия

1. Теория строения органических веществ А.М. Бутлерова. Зависимость свойств органических веществ от их строения. Изомерия.

2. Теория химического строения органических соединений А.М. Бутлерова. Электронная природа химических связей в молекулах органических соединений, способы разрыва связей. Понятие о свободных радикалах.

3. Именные реакции в органической химии и их значение. Реакции А.М. Бутлерова, Н.Н. Зинина, Н.Д. Зелинского, М.Г. Кучерова, Ш.А. Вюрца.

4. Природные источники углеводородов. Нефть, способы ее переработки

(перегонка, крекинг нефтепродуктов).

5. Основные классы органических соединений.
6. Генетическая связь между классами органических соединений.
7. Гомологический ряд предельных углеводородов (алканов), их электронное и пространственное строение, тип гибридизации. Номенклатура. Физические и химические свойства. Получение. Применение.
8. Карбиды металлов. Их получение и использование в органическом синтезе.
9. Алкены. Тип гибридизации, σ - и π -связи. Номенклатура. Физические и химические свойства. Получение. Применение.
10. Алкадиены. Особенности их строения. Номенклатура. Физические и химические свойства. Получение. Применение.
11. Алкины. Особенности их строения (тип гибридизации, тройная связь). Номенклатура. Физические и химические свойства. Получение. Применение.
12. Реакции полимеризации и поликонденсации. Их практическое использование.
13. Общие понятия химии высокомолекулярных соединений: мономер, полимер, элементарное звено, степень полимеризации. Полиэтилен. Природный и синтетический каучук.
14. Спирты. Строение. Номенклатура. Физические и химические свойства. Получение. Применение. Водородная связь и ее влияние на физические свойства спиртов.
15. Альдегиды. Строение. Номенклатура. Физические и химические свойства. Получение. Применение.
16. Карбоновые кислоты. Строение карбоксильной группы. Номенклатура. Физические и химические свойства. Получение. Применение.
17. Арены. Электронное строение. Номенклатура. Физические и химические свойства. Получение. Применение.
18. Фенол. Строение. Взаимное влияние атомов в молекуле фенола. Химические свойства в сопоставлении со свойствами алифатических спиртов.
19. Нитросоединения. Физические и химические свойства. Получение. Применение.
20. Жиры как представители сложных эфиров. Строение. Получение по реакции этерификации. Химические свойства.
21. Глюкоза. Строение. Химические свойства. Гидролиз.
22. Амины. Химические свойства. Получение. Применение.

Примеры решения и оформления заданий типового билета

Задание № 1 (5 баллов)

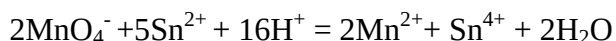
Закончите и уравняйте окислительно-восстановительную реакцию:



Решение:

1. Степени окисления изменяются у марганца Mn^{+7} и олова Sn^{+2} . Олово окисляется до хлорида олова (IV). Учитывая, что реакция протекает в сернокислой среде, конечными продуктами реакции будут сульфаты всех металлов, а ионы водорода образуют воду.

2. Составим уравнение баланса электронов методом полу-реакций:



или методом электронного баланса:



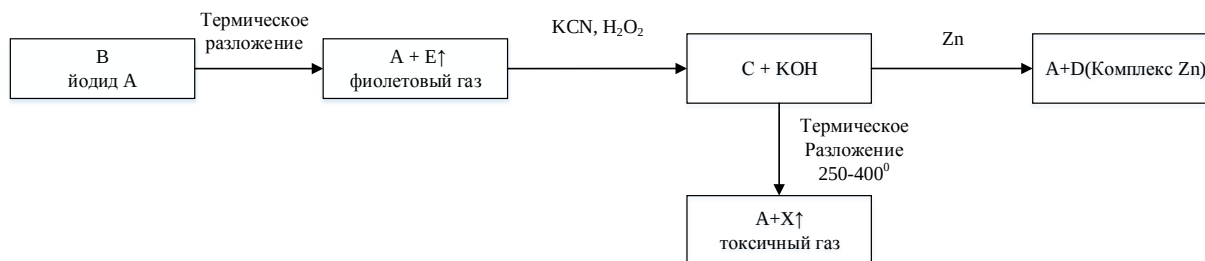
3. Расставим полученные коэффициенты в левую и правую части исходного уравнения. Недостаток сульфат-ионов слева компенсируют 8 моль серной кислоты. В последнюю очередь уравнивают реакцию по водороду (8 H_2O). Проверку следует вести по кислороду (по 40 атомов слева и справа).

4. Окончательно получаем:



Задание № 2 (10 баллов)

В результате термического разложения соли **В** элемента **А** ($\omega\% \text{А в В} = 45,95\%$) выделяется характерный фиолетовый газ **Е** и образуется простое вещество **А**. При растворении простого вещества **А** в растворе цианида калия с добавлением окислителя (H_2O_2) образуется раствор соли **С** с $\text{pH} > 7$. При добавлении к раствору соли **С** металлического цинка выделяется чистое вещество **А** с образованием в растворе комплексной соли цинка **Д**. Если 9,95 г соли **С** подвергнуть термическому разложению при температуре от 250 до 400 °С, получится 5,40 г простого вещества **А** и 0,56 л бесцветного высокотоксичного и огнеопасного газа **Х** с резким запахом. Составьте уравнения реакций согласно приведённой схеме и определите неизвестные вещества



Решение

1. Соль **В** – йодид серебра. При термическом разложении по реакции



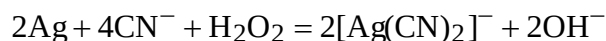
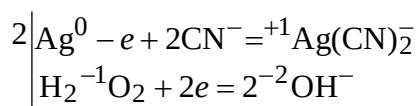
образуется элементарное серебро (простое вещество **А**) и газообразный йод (характерный фиолетовый газ **Е**).

2. Значение массовой доли серебра в йодиде серебра

$$\omega_{\text{AgI}}^{\text{Ag}} = \frac{M_{\text{Ag}}}{M_{\text{AgI}}} \cdot 100\% = \frac{108}{235} \cdot 100 = 45,95\%,$$

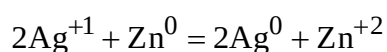
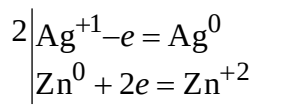
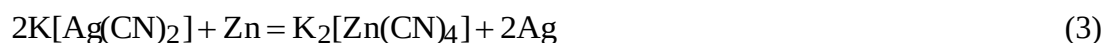
полностью соответствует условию задачи.

3. Серебро в присутствии окислителя (H_2O_2) растворяется в растворе цианида калия с образованием дицианоаргентата (I) калия (вещество **С**) по реакции

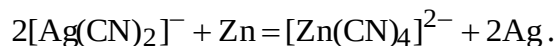


с образованием KOH, что и обеспечивает щелочную ($\text{pH} > 7$) среду раствора. В данном случае сумма полуреакций дает сокращенное ионное уравнение.

4. При добавлении к раствору дицианоаргентата (I) калия металлического цинка выделяется серебро с образованием в растворе тетрацианоцинка калия $\text{K}_2[\text{Zn}(\text{CN})_4]$ (вещество **Д**)

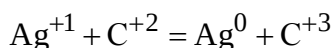
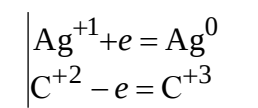
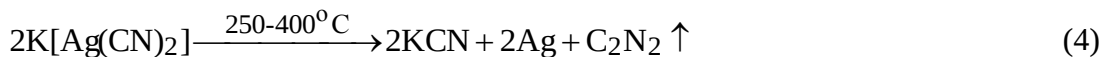


Реакция уравнена методом баланса электронов. Её следует дополнить ионной формой уравнения реакции



5. При термическом разложении дицианоаргентата (I) калия в температурном интервале от 250 до 400 °С образуется элементарное серебро и выделяется циан C_2N_2

(газ X) – бесцветный, высокотоксичный, огнеопасный газ с резким запахом



Реакция протекает не в растворе, следовательно, ионное уравнение не требуется.

6. Согласно уравнению реакции (4)

$$n_{\text{Ag}} = n_{\text{K}[\text{Ag}(\text{CN})_2]} \text{ и } n_{\text{C}_2\text{N}_2} = 0,5 \cdot n_{\text{K}[\text{Ag}(\text{CN})_2]}$$

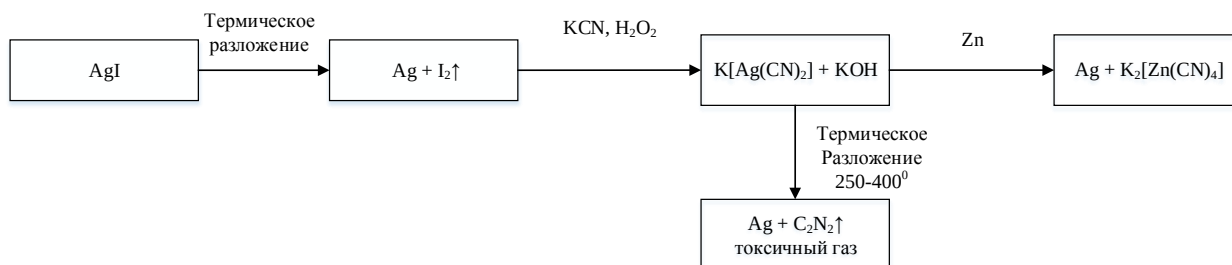
$$7. M_{\text{K}[\text{Ag}(\text{CN})_2]} = M_{\text{K}} + M_{\text{Ag}} + 2M_{\text{C}} + 2M_{\text{N}} = 39 + 108 + 2 \cdot 12 + 2 \cdot 14 = 199 \text{ г/моль}$$

$$8. M_{\text{C}_2\text{N}_2} = 2M_{\text{C}} + 2M_{\text{N}} = 2 \cdot 12 + 2 \cdot 14 = 52 \text{ г/моль}$$

$$9. n_{\text{K}[\text{Ag}(\text{CN})_2]} = \frac{m_{\text{K}[\text{Ag}(\text{CN})_2]}}{M_{\text{K}[\text{Ag}(\text{CN})_2]}} = \frac{9,95}{199} = 0,05 \text{ моль}$$

$$10. n_{\text{Ag}} = \frac{m_{\text{Ag}}}{M_{\text{Ag}}} = \frac{5,40}{108} = 0,05 \text{ моль} = n_{\text{K}[\text{Ag}(\text{CN})_2]} \text{ - соответствует балансу.}$$

$$11. n_{\text{C}_2\text{N}_2} = \frac{m_{\text{C}_2\text{N}_2}}{V_M} = \frac{0,56}{22,4} = 0,025 \text{ моль} = 0,5n_{\text{K}[\text{Ag}(\text{CN})_2]}$$

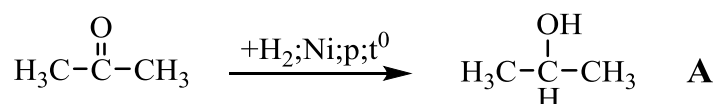


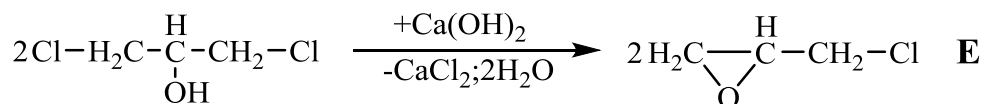
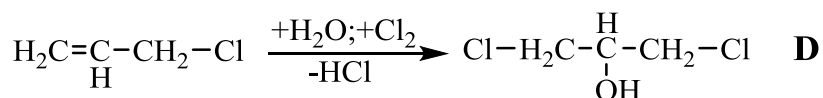
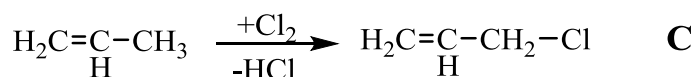
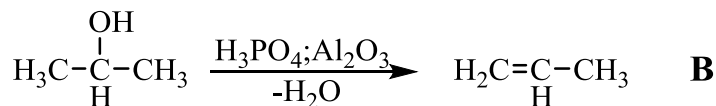
Ответ: А – Ag; В – AgI; С – K[Ag(CN)₂]; D – K₂[Zn(CN)₄]; E – I₂; X – C₂N₂.

Задание № 3 (15 баллов)

Гидрирование ацетона в жидкой фазе на никельсодержащем катализаторе при давлении 0,7 – 1,0 МПа и температуре 70 – 120 °С даёт вещество **А**, которое при действии на него ортофосфорной кислоты на носителе Al₂O₃ переходит в соединение **В**. Высушенное газообразное соединение **В** идет в реактор, где подвергается газофазному хлорированию с образованием вещества **С**. После очистки последнего его диспергируют в воде, охлаждают и вторично обрабатывают хлором до получения вещества **Д**, которое взаимодействуя с известковым молоком, образует вещество **Е**.

Решение





Задание № 4 (20 баллов)

Лаборант приготовил раствор 10%-ный раствор фосфорной кислоты из 21,3 г оксида фосфора (V) и воды. После чего пропустил через него 6,72 л (н. у.) аммиака. От полученного раствора он отобрал порцию массой 49,85 г, а к оставшемуся раствору добавил 70 г гидроксида бария и нагрел его до прекращения выделения газа (испарением воды пренебречь). Вычислите массовую долю гидроксида бария в итоговом растворе.

Решение:

Оксид фосфора растворяется в воде по реакции (1):



Определим массу исходного раствора:

$$n(\text{P}_2\text{O}_5) = m : M = 21,3 : 142 = 0,15 \text{ моль}$$

$$n(\text{H}_3\text{PO}_4) = 2 \cdot n(\text{P}_2\text{O}_5) = 0,3 \text{ моль}$$

$$m(\text{H}_3\text{PO}_4) = n \cdot M = 0,3 \cdot 98 = 29,4 \text{ г}$$

$$m(\text{H}_3\text{PO}_4)_{\text{исходного раствора}} = m(\text{H}_3\text{PO}_4) : \omega(\text{H}_3\text{PO}_4) = 29,4 : 0,1 = 294 \text{ г}$$

При взаимодействии фосфорной кислоты и аммиака могут образовываться следующие кислые соли, реакция 2 и 3:



Для определения механизма, по которому идет взаимодействие сопоставим количество моль аммиака и фосфорной кислоты:

$$n(\text{NH}_3) = V : V_M = 6,72 : 22,4 = 0,3 \text{ моль}$$

$n(\text{H}_3\text{PO}_4) : n(\text{NH}_3) = 0,3 : 0,3 = 1 : 1 \Rightarrow$ идет реакция (2), вещества реагируют полностью и образуется дигидрофосфат аммония

$$n(\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4) = n(\text{H}_3\text{PO}_4) = 0,3 \text{ моль}$$

Для определения остатка соли после отбора порции, нужно найти массу раствора, полученного после реакции с аммиаком.

$$m(\text{NH}_3) = n \cdot M = 0,3 \cdot 17 = 5,1 \text{ г}$$

$$m(\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4)\text{раствора после добавления NH}_3 = 294 + 5,1 = 299,1 \text{ г}$$

Найдем соотношение между массой раствора и массой порции:

$$m(\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4)\text{раствора после добавления NH}_3 : m_{\text{порции}} = 299,1 : 49,85 = 6$$

Таким образом, отлили 1/6 часть раствора, в сосуде осталось 5/6.

$$n(\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4)\text{осталось в растворе} = (5/6) \cdot 0,3 = 0,25 \text{ моль}$$

При добавлении к раствору гидроксида бария протекает реакция (4):



Определим сколько гидроксида бария осталось:

$$n(\text{Ba}(\text{OH})_2) = m : M = 70 : 171 = 0,41 \text{ моль}$$

$$n(\text{Ba}(\text{OH})_2)\text{прореагировало} = (3/2) \cdot n(\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4)\text{осталось в растворе} = 0,375 \text{ моль}$$

$$n(\text{Ba}(\text{OH})_2)\text{осталось} = n(\text{Ba}(\text{OH})_2) - n(\text{Ba}(\text{OH})_2)\text{прореагировало} = 0,41 - 0,375 = 0,035 \text{ моль}$$

$$m(\text{Ba}(\text{OH})_2)\text{осталось} = n \cdot M = 0,035 \cdot 171 = 5,985 \text{ г}$$

Вычислим массу конечного раствора и массовую долю гидроксида бария в нем. Масса конечного раствора увеличилась за счет добавки гидроксида бария и уменьшилась за счет отбора порции, выделения аммиака и осаждения фосфата бария.

$$m_{\text{порции}} = 49,85 \text{ г}$$

$$m(\text{Ba}(\text{OH})_2) = 70 \text{ г}$$

$$m(\text{NH}_3) = n \cdot M = 0,25 \cdot 17 = 4,25 \text{ г}$$

$$m(\text{Ba}_3(\text{PO}_4)_2) = n \cdot M = 0,125 \cdot 601 = 75,125 \text{ г}$$

Масса конечного раствора:

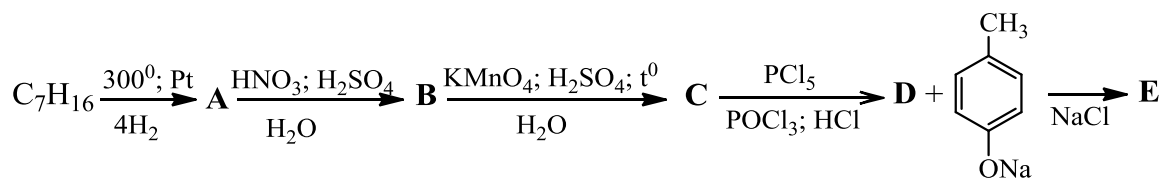
$$m(\text{раствора})_{\text{конечный}} = 299,1 - 49,85 + 70 - 4,25 - 75,125 = 239,875 \text{ г}$$

Содержание гидроксида бария в конечном растворе

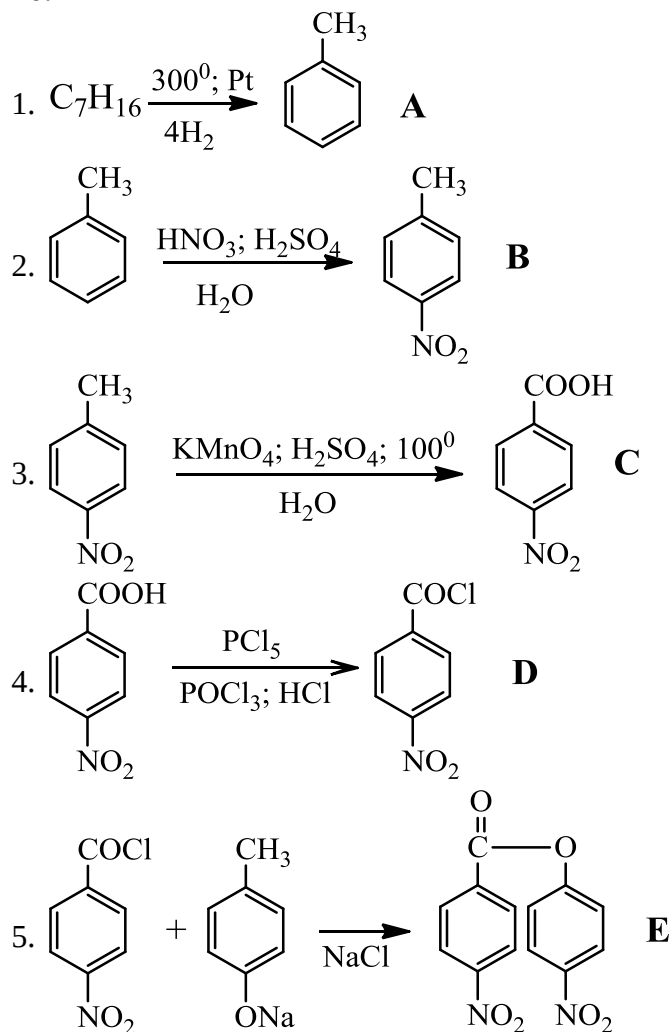
$$\omega(\text{Ba}(\text{OH})_2) = 5,985 : 239,875 \cdot 100\% = 2,5\%$$

Задание № 5 (20 баллов)

Напишите полные уравнения всех последовательных реакций, соответствующих схеме



Решение:



Задание № 6 (30 баллов)

Осаждение меди в виде химических соединений используют для селективной очистки растворов или получения обогащенных полупродуктов. Наибольшее распространение получили способы осаждения меди в виде гидратов, карбонатов, основных солей, купороса. Концентрат сульфидного медного сырья массой 140 000 т, содержащий массовую долю халькозина (сульфид меди (I)) 16,8 % и ковеллина (сульфид меди (II)) 9,3 % подвергли сульфатизации – обработке концентрированной серной кислотой (массовая доля серной кислоты 98 %, плотность 1,84 г/см³) объемом 90 000 м³ при температуре 600 °С, провели выщелачивание водой и получили раствор объемом 700 000 м³ плотностью 1,11 г/см³. Рассчитайте состав полученного раствора, моль/л. К этому раствору прибавили 250 000 м³ раствора соды концентрацией 26 % (плотность

1,2 г/см³). Определите массу осадка и состав (массовые доли) конечного раствора.

Решение



3. $m_{\text{Cu}_2\text{S}} = \frac{\omega_{\text{Cu}_2\text{S}}}{100} m_{\Sigma} = \frac{16,8}{100} \cdot 140\,000 = 23\,520 \text{ т.}$

4. $m_{\text{CuS}} = \frac{\omega_{\text{CuS}}}{100} m_{\Sigma} = \frac{9,3}{100} \cdot 140\,000 = 13\,020 \text{ т.}$

5. $M_{\text{Cu}_2\text{S}} = 2M_{\text{Cu}} + M_{\text{S}} = 2 \cdot 63,5 + 32 = 159 \text{ г/моль.}$

6. $M_{\text{CuS}} = M_{\text{Cu}} + M_{\text{S}} = 63,5 + 32 = 95,5 \text{ г/моль.}$

7. $n_{\text{Cu}_2\text{S}} = \frac{m_{\text{Cu}_2\text{S}}}{M_{\text{Cu}_2\text{S}}} = \frac{23\,520 \cdot 10^6}{159} = 147,9 \cdot 10^6 \text{ моль.}$

8. $n_{\text{CuS}} = \frac{m_{\text{CuS}}}{M_{\text{CuS}}} = \frac{13\,020 \cdot 10^6}{95,5} = 136,3 \cdot 10^6 \text{ моль.}$

9. По реакции [1] $n_{\text{H}_2\text{SO}_4}^{\text{Cu}_2\text{S}} = 6n_{\text{Cu}_2\text{S}} = 6 \cdot 147,9 \cdot 10^6 = 887,4 \cdot 10^6 \text{ моль.}$

10. По реакции [2] $n_{\text{H}_2\text{SO}_4}^{\text{CuS}} = 4n_{\text{CuS}} = 4 \cdot 136,3 \cdot 10^6 = 545,2 \cdot 10^6 \text{ моль.}$

11. Всего требуется

$$n_{\text{H}_2\text{SO}_4}^R = n_{\text{H}_2\text{SO}_4}^{\text{Cu}_2\text{S}} + n_{\text{H}_2\text{SO}_4}^{\text{CuS}} = 887,4 \cdot 10^6 + 545,2 \cdot 10^6 = 1432,6 \cdot 10^6 \text{ моль.}$$

12. $m_{\text{p-p}}^{\text{H}_2\text{SO}_4} = V_{\text{p-p}}^{\text{H}_2\text{SO}_4} \cdot d_{\text{p-p}}^{\text{H}_2\text{SO}_4} = 90\,000 \cdot 10^6 \cdot 1,84 = 165\,600 \cdot 10^6 \text{ г} = 165\,600 \text{ т.}$

13. $m_{\text{H}_2\text{SO}_4}^i = \frac{\omega_{\text{H}_2\text{SO}_4}}{100} m_{\text{p-p}}^{\text{H}_2\text{SO}_4} = \frac{98}{100} \cdot 165\,600 = 162\,288 \text{ т.}$

14. $M_{\text{H}_2\text{SO}_4} = 2M_{\text{H}} + M_{\text{S}} + 2M_{\text{O}} = 98 \text{ г/моль.}$

15. $n_{\text{H}_2\text{SO}_4}^i = \frac{m_{\text{H}_2\text{SO}_4}^i}{M_{\text{H}_2\text{SO}_4}} = \frac{162\,288 \cdot 10^6}{98} = 1\,656 \cdot 10^6 \text{ моль.}$

16. $n_{\text{H}_2\text{SO}_4}^i = 1\,656 \cdot 10^6 \text{ моль} > n_{\text{H}_2\text{SO}_4}^R = 1\,432,6 \cdot 10^6 \text{ моль.}$

17. $n_{\text{H}_2\text{SO}_4}^k = n_{\text{H}_2\text{SO}_4}^i - n_{\text{H}_2\text{SO}_4}^R = (1\,656 - 1\,432,6) \cdot 10^6 = 223,4 \cdot 10^6 \text{ моль.}$

18. По реакции [1] $n_{\text{H}_2\text{SO}_4}^{\text{Cu}_2\text{S}} = 2n_{\text{Cu}_2\text{S}} = 2 \cdot 147,9 \cdot 10^6 = 295,8 \cdot 10^6 \text{ моль.}$

19. По реакции [2] $n_{\text{H}_2\text{SO}_4}^{\text{CuS}} = n_{\text{CuS}} = 136,3 \cdot 10^6 \text{ моль.}$

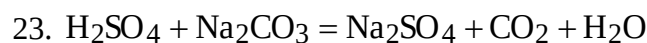
20. $n_{\text{CuSO}_4} = n_{\text{H}_2\text{SO}_4}^{\text{Cu}_2\text{S}} + n_{\text{H}_2\text{SO}_4}^{\text{CuS}} = (295,8 + 136,3) \cdot 10^6 \text{ моль} = 432,1 \cdot 10^6 \text{ моль.}$

Состав раствора после сульфатизации и выщелачивания

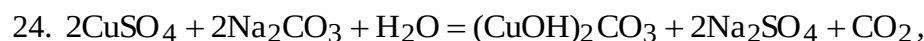
$$21. C_M^{\text{H}_2\text{SO}_4} = \frac{n_{\text{H}_2\text{SO}_4}^k}{V_{\text{p-p}}} = \frac{223,4 \cdot 10^6}{700\,000 \cdot 10^3} = 0,319 \text{ моль/л}.$$

$$22. C_M^{\text{CuSO}_4} = \frac{n_{\text{CuSO}_4}}{V_{\text{p-p}}} = \frac{432,1 \cdot 10^6}{700\,000 \cdot 10^3} = 0,617 \text{ моль/л}.$$

При добавлении соды протекают реакции нейтрализации серной кислоты



и гидролитического осаждения меди по реакции взаимного усиления гидролиза



образуется осадок карбоната гидроксомеди

$$25. \text{ По реакции [23] } n_{\text{Na}_2\text{CO}_3}^{\text{H}_2\text{SO}_4} = n_{\text{H}_2\text{SO}_4} = 223,4 \cdot 10^6 \text{ моль}.$$

$$26. \text{ По реакции [24] } n_{\text{Na}_2\text{CO}_3}^{\text{CuSO}_4} = n_{\text{CuSO}_4} = 432,1 \cdot 10^6 \text{ моль}.$$

27. Всего на протекание реакций [23] и [24] требуется соды

$$n_{\text{Na}_2\text{CO}_3}^R = n_{\text{Na}_2\text{CO}_3}^{\text{H}_2\text{SO}_4} + n_{\text{Na}_2\text{CO}_3}^{\text{CuSO}_4} = 223,4 \cdot 10^6 + 432,1 \cdot 10^6 = 655,5 \cdot 10^6 \text{ моль}.$$

$$28. m_{\text{p-p}}^{\text{Na}_2\text{CO}_3} = V_{\text{p-p}}^{\text{Na}_2\text{CO}_3} \cdot d_{\text{p-p}}^{\text{Na}_2\text{CO}_3} = 250\,000 \cdot 10^6 \cdot 1,2 = 300\,000 \cdot 10^6 \text{ г} = 300\,000 \text{ т}.$$

$$29. m_{\text{Na}_2\text{CO}_3}^i = \frac{\omega_{\text{Na}_2\text{CO}_3}}{100} m_{\text{p-p}}^{\text{Na}_2\text{CO}_3} = 0,26 \cdot 300\,000 = 78\,000 \text{ т}.$$

$$30. M_{\text{Na}_2\text{CO}_3} = 2M_{\text{Na}} + M_{\text{C}} + 3M_{\text{O}} = 106 \text{ г/моль}.$$

$$31. n_{\text{Na}_2\text{CO}_3}^i = \frac{m_{\text{Na}_2\text{CO}_3}^i}{M_{\text{Na}_2\text{CO}_3}} = \frac{78\,000 \cdot 10^6}{106} = 735,85 \cdot 10^6 \text{ моль}.$$

$$32. n_{\text{Na}_2\text{CO}_3}^i = 735,85 \cdot 10^6 \text{ моль} > n_{\text{Na}_2\text{CO}_3}^R = 655,5 \cdot 10^6 \text{ моль}, \text{ т.е. сода взята в}$$

избытке

33. Количество «избытка» соды:

$$n_{\text{Na}_2\text{CO}_3}^k = n_{\text{Na}_2\text{CO}_3}^i - n_{\text{Na}_2\text{CO}_3}^R = (735,85 - 655,5) \cdot 10^6 = 80,35 \cdot 10^6 \text{ моль}.$$

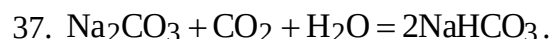
Расчёт массы осадка - карбоната гидроксомеди

$$34. \text{ По реакции [24] } n_{(\text{CuOH})_2\text{CO}_3} = 0,5n_{\text{CuSO}_4} = 216,05 \cdot 10^6 \text{ моль}.$$

$$35. M_{(\text{CuOH})_2\text{CO}_3} = 2M_{\text{Cu}} + M_{\text{C}} + 2M_{\text{H}} + 5M_{\text{O}} = 221 \text{ г/моль}.$$

$$36. m_{(\text{CuOH})_2\text{CO}_3} = n_{(\text{CuOH})_2\text{CO}_3} \cdot M_{(\text{CuOH})_2\text{CO}_3} = 216,05 \cdot 10^6 \cdot 221 = 47747,05 \text{ т}.$$

С «избытком» соды реагирует CO₂, который образуется по реакциям [23] и [24]



$$38. \text{ По реакции [23] } n_{\text{CO}_2}^{\text{H}_2\text{SO}_4} = n_{\text{H}_2\text{SO}_4} = 223,4 \cdot 10^6 \text{ моль} .$$

$$39. \text{ По реакции [24] } n_{\text{CO}_2}^{\text{CuSO}_4} = 1/2 n_{\text{CuSO}_4} = 216,05 \cdot 10^6 \text{ моль} .$$

$$40. n_{\text{CO}_2}^i = n_{\text{CO}_2}^{\text{H}_2\text{SO}_4} + n_{\text{CO}_2}^{\text{CuSO}_4} = 223,4 \cdot 10^6 + 216,05 \cdot 10^6 = 439,45 \cdot 10^6 \text{ моль} .$$

$$41. \text{ По реакции [37] } n_{\text{CO}_2} = n_{\text{Na}_2\text{CO}_3} .$$

42. $n_{\text{CO}_2}^i = 439,45 \cdot 10^6 \text{ моль} > n_{\text{Na}_2\text{CO}_3}^k = 80,35 \cdot 10^6 \text{ моль}$ - сода находится в недостатке по отношению к углекислому газу, следовательно

$$43. \text{ По реакции [37] образуется}$$

$$n_{\text{NaHCO}_3} = 2n_{\text{Na}_2\text{CO}_3} = 2 \cdot 80,35 \cdot 10^6 = 160,7 \cdot 10^6 \text{ моль} .$$

$$44. M_{\text{NaHCO}_3} = M_{\text{Na}} + M_{\text{H}} + M_{\text{C}} + 3M_{\text{O}} = 84 \text{ г/моль} .$$

$$45. m_{\text{NaHCO}_3} = n_{\text{NaHCO}_3} \cdot M_{\text{NaHCO}_3} = 160,7 \cdot 10^6 \cdot 84 = 13\,498,8 \text{ т} .$$

$$46. \text{ По реакции [23] } n_{\text{Na}_2\text{SO}_4}^{\text{H}_2\text{SO}_4} = n_{\text{H}_2\text{SO}_4} = 223,4 \cdot 10^6 \text{ моль} .$$

$$47. \text{ По реакции [24] } n_{\text{Na}_2\text{SO}_4}^{\text{CuSO}_4} = n_{\text{CuSO}_4} = 432,1 \cdot 10^6 \text{ моль} .$$

$$48. n_{\text{Na}_2\text{SO}_4} = n_{\text{Na}_2\text{SO}_4}^{\text{H}_2\text{SO}_4} + n_{\text{Na}_2\text{SO}_4}^{\text{CuSO}_4} = 223,4 \cdot 10^6 + 432,1 \cdot 10^6 = 655,5 \cdot 10^6 \text{ моль} .$$

$$49. M_{\text{Na}_2\text{SO}_4} = 2M_{\text{Na}} + M_{\text{S}} + 4M_{\text{O}} = 142 \text{ г/моль} .$$

$$50. m_{\text{Na}_2\text{SO}_4} = n_{\text{Na}_2\text{SO}_4} \cdot M_{\text{Na}_2\text{SO}_4} = 655,5 \cdot 10^6 \cdot 142 = 93\,081 \text{ т} .$$

$$51. \text{ Качественный состав конечного раствора: } \text{NaHCO}_3 \text{ и } \text{Na}_2\text{SO}_4 .$$

Расчёт массы конечного раствора

$$52. m_{\text{p-p}}^k = m_{\text{p-p}}^{\text{CuSO}_4} + m_{\text{p-p}}^{\text{Na}_2\text{CO}_3} - m_{(\text{CuOH})_2\text{CO}_3} - m_{\text{CO}_2}^k = \\ = 777\,000 + 300\,000 - 47\,747 - 15\,800 = 1\,013\,453 \text{ т} .$$

$$53. m_{\text{p-p}}^{\text{CuSO}_4} = V_{\text{p-p}}^{\text{CuSO}_4} \cdot d_{\text{p-p}}^{\text{CuSO}_4} = 700\,000 \cdot 10^6 \cdot 1,11 = 777\,000 \text{ т} .$$

$$54. \text{ По реакции [37] } n_{\text{CO}_2}^R = n_{\text{Na}_2\text{CO}_3} = 80,35 \cdot 10^6 \text{ моль} .$$

$$55. n_{\text{CO}_2}^k = n_{\text{CO}_2}^i - n_{\text{CO}_2}^R = 439,45 \cdot 10^6 - 80,35 \cdot 10^6 = 359,1 \cdot 10^6 \text{ моль} .$$

$$56. M_{\text{CO}_2} = 2M_{\text{O}} + M_{\text{C}} = 44 \text{ г/моль} .$$

$$57. m_{\text{CO}_2}^k = n_{\text{CO}_2}^k \cdot M_{\text{CO}_2} = 359,1 \cdot 10^6 \cdot 44 = 15\,800,4 \text{ т} .$$

Расчёт состава (массовые доли) конечного раствора

$$58. \omega_{\text{Na}_2\text{SO}_4} = \frac{m_{\text{Na}_2\text{SO}_4}}{m_{\text{p-p}}^k} = \frac{93\,081}{1\,013\,453} \cdot 100 = 9,2 \% .$$

$$59. \omega_{\text{NaHCO}_3} = \frac{m_{\text{NaHCO}_3}}{m_{\text{p-p}}^k} = \frac{13\,498,8}{1013\,453} \cdot 100 = 1,3 \, \% .$$

Список рекомендованной литературы

1. Василевская Е.И., Свиридова Т.В. Методы решения задач по общей химии: учеб. Пособие / Минск: Высш.шк., 2007, 128 с.
2. Габриелян О.С. Химия: пособие для школьников старших классов и поступающих в ВУЗы. - М.: Дрофа, 2006, 704 с.
3. Глазкова О.В., Ивлев В.И., Сысманова Н.Ю. Азбука химии / Учебное пособие - Саранск: Референт, 2012, 42 с.2.
4. Кузьменко Н.Е., Еремин В.В. 2500 задач по химии с решениями для поступающих в вузы. – М.: Мир и образование, 2007, 560 с.
5. Кузьменко Н.Е., Еремин В.В., Попков В.А. Начала химии. Современный курс для поступающих в вузы. – М.: Экзамен, 2010, 768 с.
6. Кузьменко Н.Е., Еремин В.В., Чуранов С.С. Сборник конкурсных задач по химии. – М.: Экзамен, 2008, 464 с.
7. Левицкий М.М. О химии серьезно и с улыбкой / М., Издательство «ИКЦ «Академкнига», 2005, 287 с.
8. Леенсон И.А. Удивительная химия / М., Издательство «НЦ ЭНАС», 2006, 176 с.
9. Степин Б.Д., Алиакберова Л.Ю. Занимательные задания по химии / М., Издательство «Дрофа», 2006, 430 с.
10. Хомченко Г. П. Пособие по химии для поступающих в ВУЗы - М., 2002, 480 с.
11. Цветков Л.А. Органическая химия: учебник для учащихся 10 - 11 кл. общеобразовательных учеб. заведений / М., 2012, 271 с.

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

Заведующий кафедрой физической химии

О.В. Черемисина

Согласовано:

Проректор по учебно-методической работе

доцент

Т.А. Петрова

Начальник учебно-методического управления

Е.Л. Мезенцева

Декан факультета переработки минерального

сырья, доцент

П.А. Петров

Начальник отдела образовательных программ

и стандартов, доцент

В.В. Глазков

Начальник отдела методического

обеспечения образовательного процесса и

дополнительных компетенций

П.В. Иванова