

**Межрегиональная олимпиада школьников**  
**«Будущие исследователи – будущее науки» - 2023/24**  
**Химия. Финальный тур. Время выполнения заданий – 180 минут.**  
**11 класс**

**Задача 11-1**

Два минерала **А** и **Б** имеют одинаковый качественный элементный состав. Цвет минерала **А** длительное время считался одним из самых редких и красивых. Он вдохновлял великих художников и иконописцев, его сияние на протяжении веков освещает своды Сикстинской капеллы Ватикана. Минерал **Б** используется как дорогой поделочный камень, пилястры и предметы декора из которого украшают залы московского Кремля.

На полное растворение измельченного **А** требуется в 1.5 раза больше водного раствора сильной минеральной кислоты, чем на растворение такого же количества вещества **Б**. При этом выделяется одинаковый объем бесцветного газа без запаха, не поддерживающего горение, и образуется водный раствор, содержащий только одно вещество. Если для растворения использовать соляную кислоту, то этим веществом является **В**. При полном электролизе 100 г 5% раствора **В** со 100% выходом по току масса катода увеличивается на 2.36 г.

1. Установите химические формулы минералов **А** и **Б**, если молярная масса **А** в 1.441 раза больше, чем **Б**. Ответ поясните соответствующими рассуждениями и расчетами. Запишите уравнения реакций растворения **А** и **Б** в соляной кислоте.
2. Запишите реакции, протекающие на платиновых электродах и в электролизере при электролизе раствора **В**. Установите формулу **В**. Ответ подтвердите расчетами.

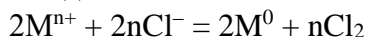
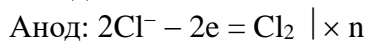
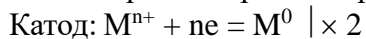
Вычислите объем выделившегося на аноде газа при 25°C и давлении 745 мм рт.ст.

В расчетах атомные массы элементов округляйте до десятых.

**Решение**

По описанию газа, выделяющегося при растворении **А** и **Б**, можно предположить, что это  $\text{CO}_2$ , то есть в состав минералов входит карбонат. Тот факт, что на растворение одинаковых количеств **А** и **Б** требуется разный объем водного раствора сильной минеральной кислоты и при этом образуется только одно вещество может свидетельствовать о том, что в состав минералов входят гидроксиды. Также в состав обоих минералов входят катионы одного и того же металла. Природу металла можно найти по данным электролиза вещества **В**. Там как **В** образуется при растворении **А** и **Б** в соляной кислоте, то **В** – это хлорид некоторого металла, в общем виде его формулу можно записать  $\text{MCl}_n$ , где  $n$  – это степень окисления металла.

При электролизе протекают следующие реакции на электродах и в электролизере:



Найдем количество вещества  $\text{MCl}_n$ , подвергшееся электролизу:

$$n(\text{MCl}_n) = 100 \cdot 0.05 / (M(M) + 35.5n).$$

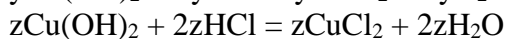
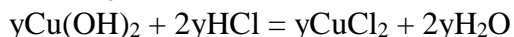
При этом на катоде выделилось такое же количество металла  $M$  массой:

$$M(M) \cdot [100 \cdot 0.05 / (M(M) + 35.5n)] \text{ или } 2.36 \text{ г:}$$

$$M(M) \cdot [100 \cdot 0.05 / (M(M) + 35.5n)] = 2.36.$$

При  $n = 2$  получаем  $M(M) = 63.5$  г/моль. Металл  $M$  – это **медь**.

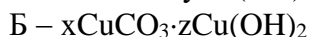
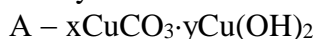
Общую формулу **А** и **Б** можно представить в виде  $x\text{CuCO}_3 \cdot y\text{Cu}(\text{OH})_2$  и  $x\text{CuCO}_3 \cdot z\text{Cu}(\text{OH})_2$ .



$$(2x+2y) / (2x + 2z) = 1.5$$

$$2x+2y = 3x+3z$$

$$x = 2y - 3z$$



$$M(\text{CuCO}_3) = 123.5 \text{ г/моль}, M(\text{Cu}(\text{OH})_2) = 97.5 \text{ г/моль}.$$

$$(123.5x+97.5y) / (123.5x+97.5z) = 1.441$$

$$123.5x+97.5y = 178x + 140.5z$$

$$54.5x = 97.5y-140.5z$$

$$54.5(2y - 3z) = 97.5y-140.5z$$

$$109y - 163.5z = 97.5y-140.5z$$

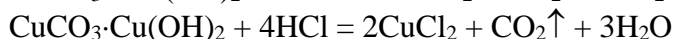
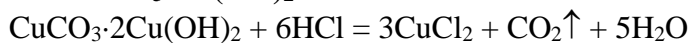
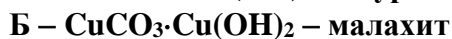
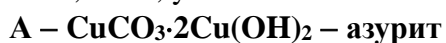
$$11.5y = 23z$$

$$y = 2z$$

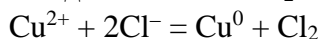
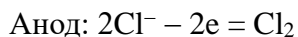
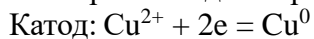
$$x = 2y - 3z = 4z - 3z = z$$

$$(123.5z+97.5 \cdot 2z) / (123.5z+97.5z) = 1.441$$

$$z = 1, x = 1, y = 2.$$



Электролиз водного раствора хлорида меди (II):

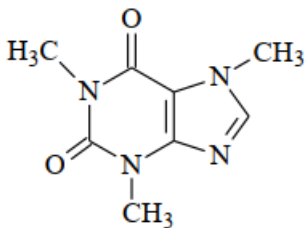


$$V(\text{Cl}_2) = nRT/P = [100 \cdot 0.05 / (63.5 + 2 \cdot 35.5)] \cdot 8.314 \cdot 298 / [(745/760) \cdot 101.3 \cdot 10^3] = 0.0009275 \text{ м}^3 \text{ или } 0.9275 \text{ л}.$$

### Разбалловка:

- |   |       |
|---|-------|
| 1. За установление веществ <b>А</b> и <b>Б</b> по 5 б.          | 10 б. |
| 2. За реакции растворения <b>А</b> и <b>Б</b> в кислоте по 2 б. | 4 б.  |
| 3. За установление формулы <b>В</b>                             | 4 б.  |
| 4. За реакции на электродах и в электролизере (1+1+2)           | 4 б.  |
| 5. За расчет объема газа на аноде                               | 3 б.  |
| Итого:  | 25 б. |

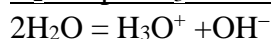
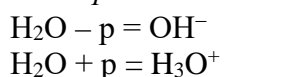
## Задача 11-2



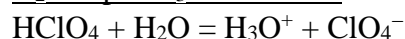
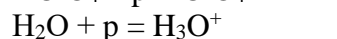
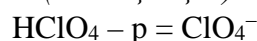
Кофеин (см. формулу) является основным тонизирующим компонентом чая и кофе. Он стимулирует психическую деятельность, повышает умственную и физическую работоспособность, двигательную активность. Однако большие дозы кофеина угнетающе действуют на организм человека, поэтому очень важно определять его содержание в продуктах. В классической аналитической химии для определения кофеина используют кислотно-основное титрование.

Кислотно-основное титрование кофеина проводится в неводной среде, поскольку в воде кофеин проявляет слабые основные свойства и не титруется кислотой. Использование ледяной (концентрированной) уксусной кислоты в качестве растворителя (вместо воды) позволяет усилить основные свойства кофеина и титровать его раствором хлорной кислоты в уксусной кислоте. Уравнение реакции, которая протекает при титровании, можно записать в рамках протолитической теории. Эта теория в отличие от теории Аррениуса рассматривает ион водорода  $H^+$  (протон  $p$ ) как частицу, не способную к самостоятельному существованию в растворе. Все кислотно-основные реакции в рамках этой теории сопровождаются переносом  $p$  от одной молекулы (иона) к другой. Для того, чтобы кислотно-основная реакция прошла, необходимо, чтобы одна молекула (или ион) отдала  $p$ , а другая приняла. Например, распад на ионы воды и хлорной кислоты в воде можно представить следующим образом:

*автопротолиз воды*



*распад на ионы (диссоциация) хлорной кислоты в воде*



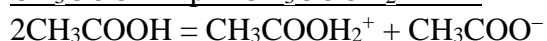
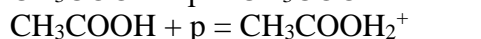
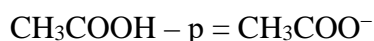
Напишите уравнения реакции автопротолиза уксусной кислоты, реакции распада на ионы (диссоциации) хлорной кислоты в растворе ледяной уксусной кислоты в рамках протолитической теории. Используя полученный результат, запишите уравнение реакции, протекающей при титровании кофеина уксуснокислым раствором хлорной кислоты, учитывая, что реакция протекает в молярном отношении 1:1.

Вычислите массовую долю кофеина в чае, если анализ чая проводили следующим образом. Кофеин количественно извлекли из 5 г чая в 50 мл уксуснокислого раствора. На титрование 20 мл этого раствора потребовалось 15.5 мл 0.01 моль/л уксуснокислого раствора хлорной кислоты.

Сколько чашек такого чая можно выпить в сутки, чтобы не превысить установленный в РФ максимальный уровень безопасного суточного потребления кофеина (150 мг). На одну чашку расходуется 2 г чая, кофеин в раствор извлекается полностью.

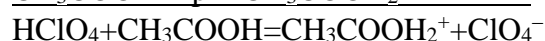
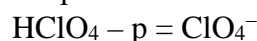
## Решение

Автопротолиз уксусной кислоты

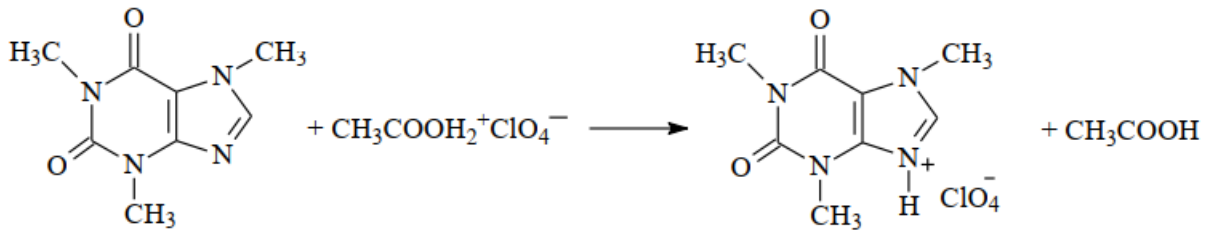


распад на ионы (диссоциация)

хлорной кислоты в уксусной кислоте



Реакция при титровании кофеина уксуснокислым раствором хлорной кислоты:



Найдем массовую долю кофеина в чае:

$$n(\text{HClO}_4) = 0.0155 \text{ л} \cdot 0.01 \text{ моль/л} = 0.000155 \text{ моль}$$

$$n(\text{кофеина в 20 мл раствора}) = 0.000155 \text{ моль}$$

$$n(\text{кофеина в 50 мл раствора}) = 0.000155 \text{ моль} \cdot 2.5 = 0.0003875 \text{ моль}$$

$$m(\text{кофеина в 5 г чая}) = m(\text{кофеина в 50 мл раствора}) = 0.0003875 \text{ моль} \cdot 194 \text{ г/моль} = 0.075175 \text{ г}$$

$$\omega(\text{кофеина в чае}) = 0.075175 \text{ г} / 5 \text{ г} = 0.015 \text{ или } 1.5\%.$$

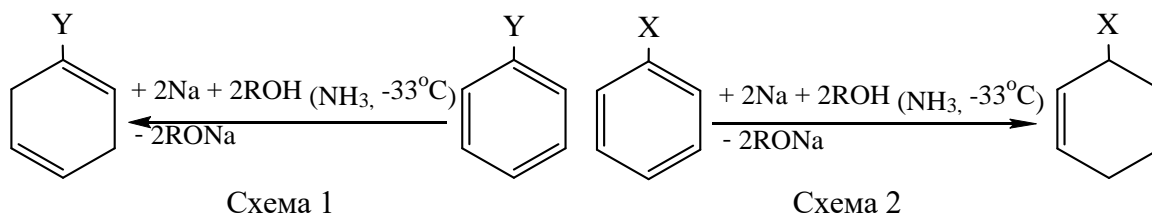
В 2 г чая содержится  $0.075175 \text{ г} / 2.5 = 0.03 \text{ г}$  кофеина, то есть одна чашка чая содержит 0.03 г или 30 мг кофеина. 150 мг кофеина содержится в 5 чашках чая.

### Разбалловка:

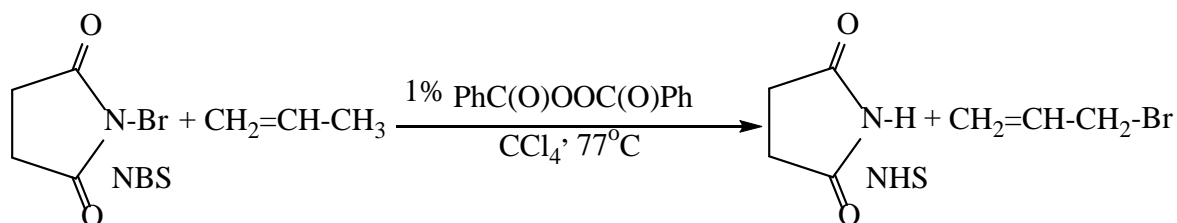
- |                                    |       |
|------------------------------------|-------|
| 1. За уравнения реакций по 5 б.    | 15 б. |
| 2. За расчет массовой доли кофеина | 5 б.  |
| 3. За расчет числа чашек чая       | 5 б.  |
| Итого:                             | 25 б. |

### Задача 11-3

В 1944 г. австралийским химиком Артуром Берчем открыта реакция восстановления аренов и их производных под действием натрия и спирта в жидком аммиаке до 1,4-циклогексадиенов. При этом электроноакцепторные группы (EWG) и электронодонорные группы (EDG) в бензольном кольце оказывают противоположный стереохимический эффект, как показано на схемах 1 и 2. Принадлежность заместителей X, Y к классам EWG или EDG Вам предстоит определить.

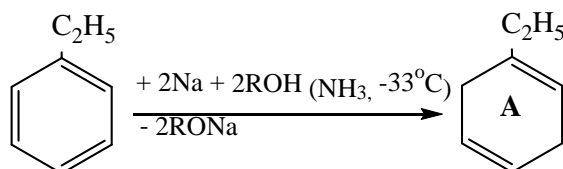


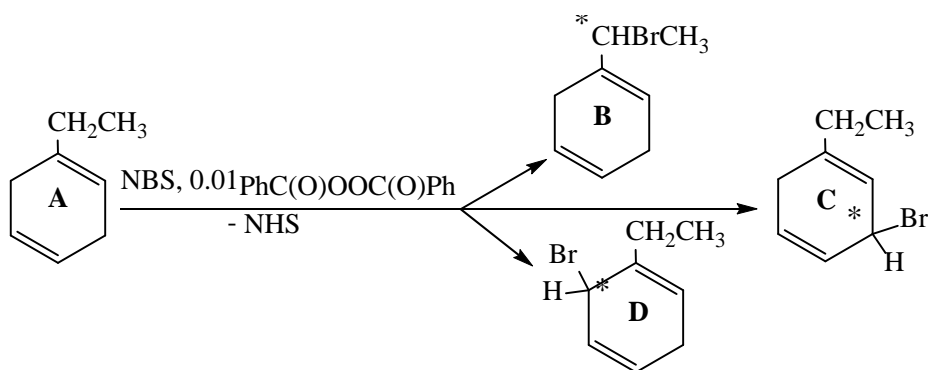
Например, этилбензол восстанавливается по Берчу до углеводорода А ( $C_8H_{12}$ ) в качестве основного продукта. Дальнейшее свободнорадикальное аллильное бромирование вещества А с помощью N-бромсукцинимид (NBS) приводит к одновременному образованию трех изомерных монобромпроизводных В, С, D ( $C_8H_{11}Br$ ), причем каждый из них может существовать в виде двух оптических (зеркальных) изомеров. На следующей схеме показан характерный пример использования NBS для аллильного бромирования алкена в кипящем  $CCl_4$  в присутствии малых количеств радикального инициатора – пероксида бензоила:



1. Определите вещества А, В, С, D, составьте их структурные формулы.
2. Напишите 4 уравнения получения А, В, С, D по изложенной в задаче схеме.
3. Определите принадлежность к классам электроноакцепторов EWG и электронодоноров EDG таких заместителей в бензольном кольце, как  $C_2H_5$ ,  $OCH_3$ ,  $C(O)NH_2$ . Укажите, какие индукционные (+I или -I) и мезомерные (+M или -M) эффекты каждый из них оказывает на бензольное кольцо.
4. Отнесите к EWG или EDG группу Y на схеме 1 и X на схеме 2.
5. Предположите, по какой причине бензальдегид не восстанавливают по Берчу.

### Решение





Этильная группа – электронодонорный заместитель EDG (+I), так как атом углерода в  $sp^3$ -гибридном состоянии менее электроотрицателен, чем в  $sp^2$ -состоянии. Продуктом А является 1-этилгексадиен-1,4. Именно он при аллильном бромировании может давать 3 изомера В, С, D, каждый из которых имеет в молекуле по одному асимметрическому атому углерода и может существовать в виде двух оптических изомеров (R, S). Итак, этилбензол реагирует по схеме 1, Y = EDG. Если бы этилбензол реагировал бы по схеме 2, то в этом случае после аллильного бромирования получились бы не 3, а только 2 изомерных монобромпроизводных, которые не имеют асимметрических атомов углерода и не образуют оптических изомеров.

Метокси-группа OCH<sub>3</sub> в бензольном кольце относится к EDG за счет положительного мезомерного эффекта, кроме этого она оказывает слабый отрицательный индукционный эффект (+M, -I).

Амидная группа C(O)NH<sub>2</sub> относится к EWG за счет отрицательных индукционного и мезомерного эффектов (-I, -M).

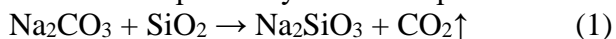
Бензальдегид не восстанавливают по Берчу, так как альдегидная группа сама способна легко восстанавливаться системой (Na + ROH) до соответствующей спиртовой группы.

### Разбалловка

За определение эффектов и принадлежности заместителей	
C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> (+I) и OCH <sub>3</sub> (+M, -I) к классу EDG, а C(O)NH <sub>2</sub> (-I, -M) к EWG по 2 б.	6 б.
За 4 уравнения по 2 б.	8 б.
За структурные формулы А, В, С, D по 2 б.	8 б.
За указание, что Y = EDG на схеме 1, а X = EWG на схеме 2	1 б.
За причину того, что бензальдегид не восстанавливают по Берчу	2 б.
Итого:	25 б.

### Задача 11-4

Силикат натрия получается нагреванием кварцевого песка и соды:



С другой стороны, известно, что при пропускании углекислоты через водный раствор силиката натрия в стандартных условиях наблюдается обратное протекание приведенной выше реакции:



1. Определите стандартное изменение энтальпии прямой реакции (1), если известны значения мольных стандартных энтальпий образования  $\Delta_f H^\circ$  (кДж/моль) = -1131 для  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , -911 для  $\text{SiO}_2$ , -1561 для  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ , -394 для  $\text{CO}_2$ .
2. Эта реакция является экзо- или эндотермической?
3. Определите тепловой эффект такого процесса с участием 6 г песка и 12 г карбоната натрия при выходе 100%.
4. Определите стандартное изменение энтропии обратной реакции (2), если известны значения мольных стандартных энтропий образования  $\Delta_f S^\circ$  (Дж/моль·град) = 114 для  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ , 198 для  $\text{CO}_2$ , 135 для  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , 42 для  $\text{SiO}_2$ .
5. Известно, что у самопроизвольно протекающих при температуре T(K) изменение энергии Гиббса ( $\Delta G = \Delta H - T \cdot \Delta S$ ) имеет отрицательное значение. Вычислите для реакции (1)  $\Delta G$  и сделайте заключение о возможности или невозможности самопроизвольного протекания ее при 25°C и при 1600°C.
6. Приведите по одному примеру промышленных процессов, в основу которых положены указанные выше прямая и обратная реакции.

### Решение

1. Для прямой реакции  $\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{SiO}_2 \rightarrow \text{Na}_2\text{SiO}_3 + \text{CO}_2 \uparrow$

$$\Delta H^\circ = \Delta_f H^\circ(\text{Na}_2\text{SiO}_3) + \Delta_f H^\circ(\text{CO}_2) - \Delta_f H^\circ(\text{Na}_2\text{CO}_3) - \Delta_f H^\circ(\text{SiO}_2) = -1561 - 394 + 1131 + 911 = 87 \text{ кДж.}$$

2. Реакция эндотермическая,  $Q^\circ = -87 \text{ кДж.}$

3. Определим тепловой эффект такого процесса с участием 6г песка и 12 г соды.

$n(\text{SiO}_2) = 6/60 = 0.1 \text{ моль. } n(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 12/106 = 0.113 \text{ моль.}$  В недостатке  $\text{SiO}_2$ .

$$\Delta H^\circ = 87 \cdot 0.1 = 8.7 \text{ кДж (} Q^\circ = -8.7 \text{ кДж).}$$

4. Для обратной реакции  $\text{Na}_2\text{SiO}_3 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{SiO}_2$

$$\Delta S^\circ = \Delta_f S^\circ(\text{Na}_2\text{CO}_3) + \Delta_f S^\circ(\text{SiO}_2) - \Delta_f S^\circ(\text{Na}_2\text{SiO}_3) - \Delta_f S^\circ(\text{CO}_2) = 135 + 42 - 114 - 198 = -135 \text{ Дж/град.}$$

Значит для прямой реакции  $\Delta S^\circ = 135 \text{ Дж/град.}$

5. Определим значение  $\Delta G^\circ$  для прямой реакции:

$$\Delta G^\circ(298\text{K}) = \Delta H - 298 \cdot \Delta S = 87 - 298 \cdot 0.135 = +46.77 \text{ кДж.}$$
 Прямая реакция термодинамически невыгодна, не пойдет.

$$\Delta G^\circ(1873\text{K}) = \Delta H - 1873 \cdot \Delta S = 87 - 1873 \cdot 0.135 = -165.86 \text{ кДж.}$$
 Прямая реакция термодинамически выгодна, пойдет.

Более правильно говорить, что равновесие обратимой реакции сдвинуто в ту или иную сторону.

6. Прямая реакция соды с песком протекает при выплавке стекла, например:



Обратная реакция силиката натрия с  $\text{CO}_2$  протекает при отверждении смоченных силикатным клеем песчаных форм, предназначенных для разливки расплавленных металлов.

### Разбалловка

За расчет $\Delta H^\circ = 87 \text{ кДж}$ реакции (1)	4 б.
За указание на эндотермичность реакции (1)	1 б.
За расчет $\Delta H^\circ = 8.7 \text{ кДж}$ или $Q = -8.7 \text{ кДж}$ реакции (1) на 6г песка	4 б.
За расчет $\Delta S^\circ = -135 \text{ Дж/град}$ для обратной реакции (2)	4 б.

За расчет $\Delta G^\circ(298\text{K}) = +46.77$ кДж и вывод, что прямая реакция не пойдет	4 б.
За расчет $\Delta G^\circ(1873\text{K}) = -165.86$ кДж и вывод, что прямая реакция пойдет	4 б.
За 2 примера промышленных процессов реакций (1) и (2) по 2 б.	4 б.
Всего	25 б.



**Межрегиональная олимпиада школьников**  
**«Будущие исследователи – будущее науки» - 2023/24**  
**Химия. Финальный тур. Время выполнения заданий – 180 минут.**  
**10 класс**

**Задача 10-1**

Два минерала **А** и **Б** имеют одинаковый качественный элементный состав. Цвет минерала **А** длительное время считался одним из самых редких и красивых. Он вдохновлял великих художников и иконописцев, его сияние на протяжении веков освещает своды Сикстинской капеллы Ватикана. Минерал **Б** используется как дорогой поделочный камень, пилястры и предметы декора из которого украшают залы московского Кремля.

На полное растворение измельченного **А** требуется в 1.5 раза больше водного раствора сильной минеральной кислоты, чем на растворение такого же количества вещества **Б**. При этом выделяется одинаковый объем бесцветного газа без запаха, не поддерживающего горение, и образуется водный раствор, содержащий только одно вещество. Если для растворения использовать соляную кислоту, то этим веществом является **В**. При полном электролизе 100 г 5% раствора **В** со 100% выходом по току масса катода увеличивается на 2.36 г.

3. Установите химические формулы минералов **А** и **Б**, если молярная масса **А** в 1.441 раза больше, чем **Б**. Ответ поясните соответствующими рассуждениями и расчетами. Запишите уравнения реакций растворения **А** и **Б** в соляной кислоте.

4. Запишите реакции, протекающие на платиновых электродах и в электролизере при электролизе раствора **В**. Установите формулу **В**. Ответ подтвердите расчетами.

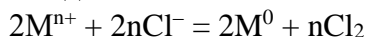
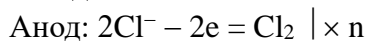
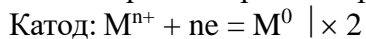
Вычислите объем выделившегося на аноде газа при 25°C и давлении 745 мм рт.ст.

В расчетах атомные массы элементов округляйте до десятых.

**Решение**

По описанию газа, выделяющегося при растворении **А** и **Б**, можно предположить, что это  $\text{CO}_2$ , то есть в состав минералов входит карбонат. Тот факт, что на растворение одинаковых количеств **А** и **Б** требуется разный объем водного раствора сильной минеральной кислоты и при этом образуется только одно вещество может свидетельствовать о том, что в состав минералов входят гидроксиды. Также в состав обоих минералов входят катионы одного и того же металла. Природу металла можно найти по данным электролиза вещества **В**. Там как **В** образуется при растворении **А** и **Б** в соляной кислоте, то **В** – это хлорид некоторого металла, в общем виде его формулу можно записать  $\text{MCl}_n$ , где  $n$  – это степень окисления металла.

При электролизе протекают следующие реакции на электродах и в электролизере:



Найдем количество вещества  $\text{MCl}_n$ , подвергшееся электролизу:

$$n(\text{MCl}_n) = 100 \cdot 0.05 / (M(\text{M}) + 35.5n).$$

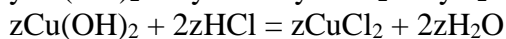
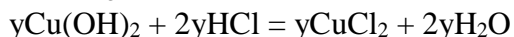
При этом на катоде выделилось такое же количество металла  $\text{M}$  массой:

$$M(\text{M}) \cdot [100 \cdot 0.05 / (M(\text{M}) + 35.5n)] \text{ или } 2.36 \text{ г:}$$

$$M(\text{M}) \cdot [100 \cdot 0.05 / (M(\text{M}) + 35.5n)] = 2.36.$$

При  $n = 2$  получаем  $M(\text{M}) = 63.5$  г/моль. Металл  $\text{M}$  – это **медь**.

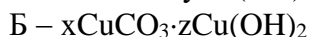
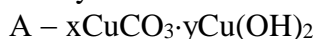
Общую формулу **А** и **Б** можно представить в виде  $x\text{CuCO}_3 \cdot y\text{Cu}(\text{OH})_2$  и  $x\text{CuCO}_3 \cdot z\text{Cu}(\text{OH})_2$ .



$$(2x+2y) / (2x + 2z) = 1.5$$

$$2x+2y = 3x+3z$$

$$x = 2y - 3z$$



$$M(\text{CuCO}_3) = 123.5 \text{ г/моль}, M(\text{Cu}(\text{OH})_2) = 97.5 \text{ г/моль}.$$

$$(123.5x+97.5y) / (123.5x+97.5z) = 1.441$$

$$123.5x+97.5y = 178x + 140.5z$$

$$54.5x = 97.5y-140.5z$$

$$54.5(2y - 3z) = 97.5y-140.5z$$

$$109y - 163.5z = 97.5y-140.5z$$

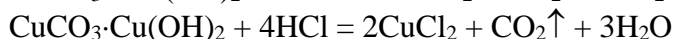
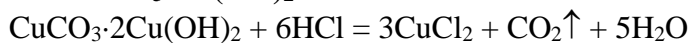
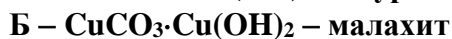
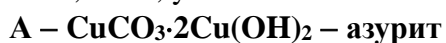
$$11.5y = 23z$$

$$y = 2z$$

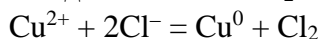
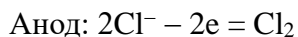
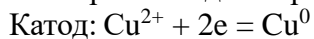
$$x = 2y - 3z = 4z - 3z = z$$

$$(123.5z+97.5 \cdot 2z) / (123.5z+97.5z) = 1.441$$

$$z = 1, x = 1, y = 2.$$



Электролиз водного раствора хлорида меди (II):

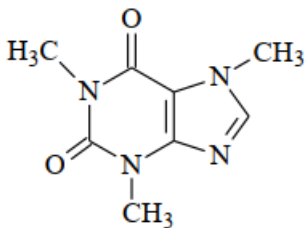


$$V(\text{Cl}_2) = nRT/P = [100 \cdot 0.05 / (63.5 + 2 \cdot 35.5)] \cdot 8.314 \cdot 298 / [(745/760) \cdot 101.3 \cdot 10^3] = 0.0009275 \text{ м}^3 \text{ или } 0.9275 \text{ л}.$$

### Разбалловка:

- |   |       |
|---|-------|
| 1. За установление веществ <b>А</b> и <b>Б</b> по 5 б.          | 10 б. |
| 2. За реакции растворения <b>А</b> и <b>Б</b> в кислоте по 2 б. | 4 б.  |
| 3. За установление формулы <b>В</b>                             | 4 б.  |
| 4. За реакции на электродах и в электролизере (1+1+2)           | 4 б.  |
| 5. За расчет объема газа на аноде                               | 3 б.  |
| Итого:  | 25 б. |

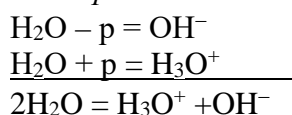
## Задача 10-2



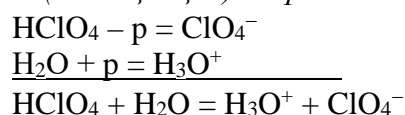
Кофеин (см. формулу) является основным тонизирующим компонентом чая и кофе. Он стимулирует психическую деятельность, повышает умственную и физическую работоспособность, двигательную активность. Однако большие дозы кофеина угнетающе действуют на организм человека, поэтому очень важно определять его содержание в продуктах. В классической аналитической химии для определения кофеина используют кислотно-основное титрование.

Кислотно-основное титрование кофеина проводится в неводной среде, поскольку в воде кофеин проявляет слабые основные свойства и не титруется кислотой. Использование ледяной (концентрированной) уксусной кислоты в качестве растворителя (вместо воды) позволяет усилить основные свойства кофеина и титровать его раствором хлорной кислоты в уксусной кислоте. Уравнение реакции, которая протекает при титровании, можно записать в рамках протолитической теории. Эта теория в отличие от теории Аррениуса рассматривает ион водорода  $H^+$  (протон  $p$ ) как частицу, не способную к самостоятельному существованию в растворе. Все кислотно-основные реакции в рамках этой теории сопровождаются переносом  $p$  от одной молекулы (иона) к другой. Для того, чтобы кислотно-основная реакция прошла, необходимо, чтобы одна молекула (или ион) отдала  $p$ , а другая приняла. Например, распад на ионы воды и хлорной кислоты в воде можно представить следующим образом:

*автопротолиз воды*



*распад на ионы (диссоциация) хлорной кислоты в воде*



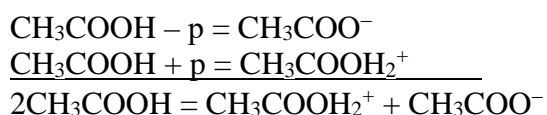
Напишите уравнения реакции автопротолиза уксусной кислоты, реакции распада на ионы (диссоциации) хлорной кислоты в растворе ледяной уксусной кислоты в рамках протолитической теории. Используя полученный результат, запишите уравнение реакции, протекающей при титровании кофеина уксуснокислым раствором хлорной кислоты, учитывая, что реакция протекает в молярном отношении 1:1.

Вычислите массовую долю кофеина в чае, если анализ чая проводили следующим образом. Кофеин количественно извлекли из 5 г чая в 50 мл уксуснокислого раствора. На титрование 20 мл этого раствора потребовалось 15.5 мл 0.01 моль/л уксуснокислого раствора хлорной кислоты.

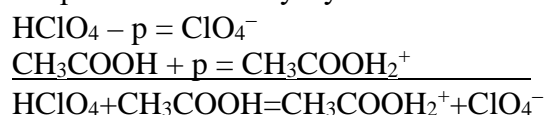
Сколько чашек такого чая можно выпить в сутки, чтобы не превысить установленный в РФ максимальный уровень безопасного суточного потребления кофеина (150 мг). На одну чашку расходуется 2 г чая, кофеин в раствор извлекается полностью.

## Решение

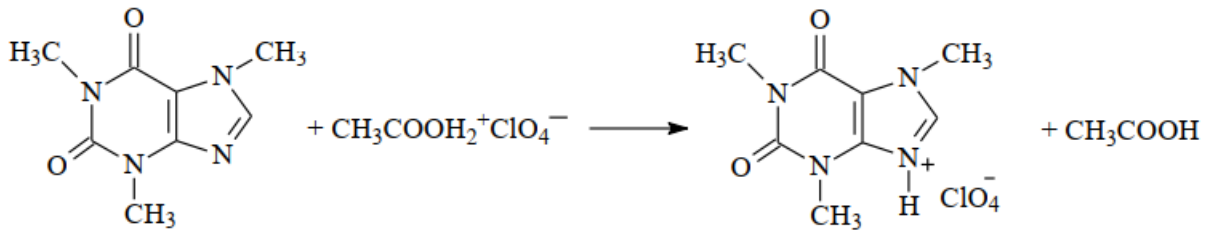
Автопротолиз уксусной кислоты



распад на ионы (диссоциация)  
хлорной кислоты в уксусной кислоте



Реакция при титровании кофеина уксуснокислым раствором хлорной кислоты:



Найдем массовую долю кофеина в чае:

$$n(\text{HClO}_4) = 0.0155 \text{ л} \cdot 0.01 \text{ моль/л} = 0.000155 \text{ моль}$$

$$n(\text{кофеина в 20 мл раствора}) = 0.000155 \text{ моль}$$

$$n(\text{кофеина в 50 мл раствора}) = 0.000155 \text{ моль} \cdot 2.5 = 0.0003875 \text{ моль}$$

$$m(\text{кофеина в 5 г чая}) = m(\text{кофеина в 50 мл раствора}) = 0.0003875 \text{ моль} \cdot 194 \text{ г/моль} = 0.075175 \text{ г}$$

$$\omega(\text{кофеина в чае}) = 0.075175 \text{ г} / 5 \text{ г} = 0.015 \text{ или } 1.5\%.$$

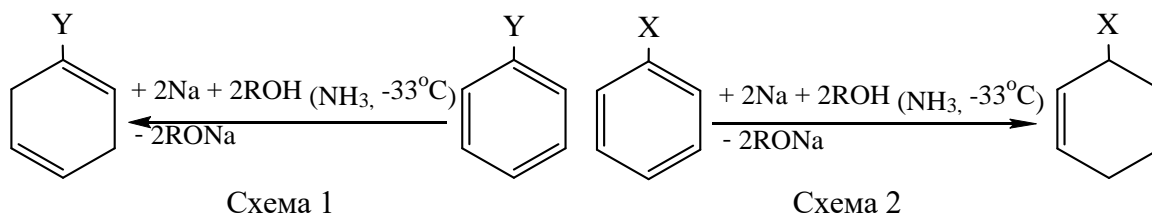
В 2 г чая содержится  $0.075175 \text{ г} / 2.5 = 0.03 \text{ г}$  кофеина, то есть одна чашка чая содержит 0.03 г или 30 мг кофеина. 150 мг кофеина содержится в 5 чашках чая.

#### Разбалловка:

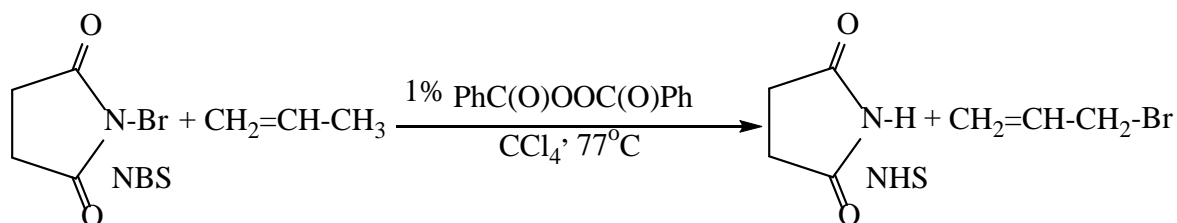
- |                                    |       |
|------------------------------------|-------|
| 1. За уравнения реакций по 5 б.    | 15 б. |
| 2. За расчет массовой доли кофеина | 5 б.  |
| 3. За расчет числа чашек чая       | 5 б.  |
| Итого:                             | 25 б. |

### Задача 10-3

В 1944 г. австралийским химиком Артуром Берчем открыта реакция восстановления аренов и их производных под действием натрия и спирта в жидком аммиаке до 1,4-циклогексадиенов. При этом электроноакцепторные группы (EWG) и электронодонорные группы (EDG) в бензольном кольце оказывают противоположный стереохимический эффект, как показано на схемах 1 и 2. Принадлежность заместителей X, Y к классам EWG или EDG Вам предстоит определить.

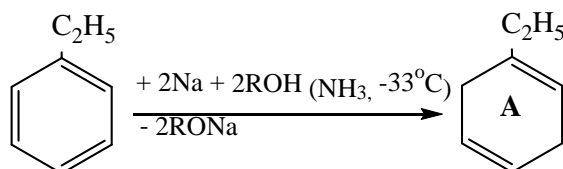


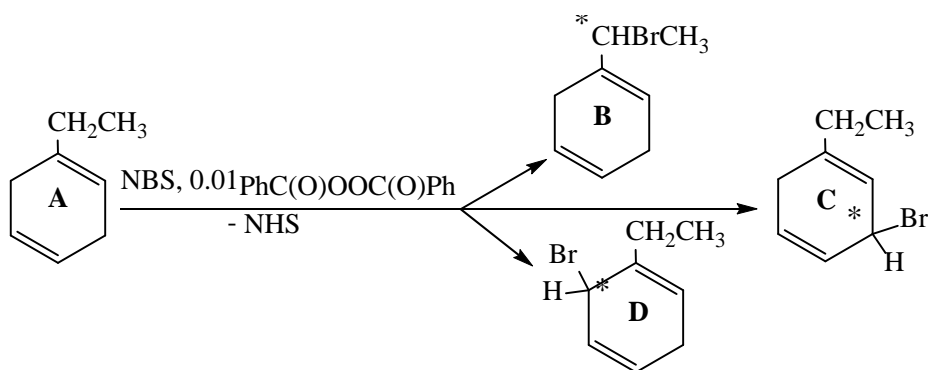
Например, этилбензол восстанавливается по Берчу до углеводорода А ( $C_8H_{12}$ ) в качестве основного продукта. Дальнейшее свободнорадикальное аллильное бромирование вещества А с помощью N-бромсукцинимида (NBS) приводит к одновременному образованию трех изомерных монобромпроизводных В, С, D ( $C_8H_{11}Br$ ), причем каждый из них может существовать в виде двух оптических (зеркальных) изомеров. На следующей схеме показан характерный пример использования NBS для аллильного бромирования алкена в кипящем  $CCl_4$  в присутствии малых количеств радикального инициатора – пероксида бензоила:



5. Определите вещества А, В, С, D, составьте их структурные формулы.
6. Напишите 4 уравнения получения А, В, С, D по изложенной в задаче схеме.
7. Определите принадлежность к классам электроноакцепторов EWG и электронодоноров EDG таких заместителей в бензольном кольце, как  $C_2H_5$ ,  $OCH_3$ ,  $C(O)NH_2$ . Укажите, какие индукционные (+I или -I) и мезомерные (+M или -M) эффекты каждый из них оказывает на бензольное кольцо.
8. Отнесите к EWG или EDG группу Y на схеме 1 и X на схеме 2.
9. Предположите, по какой причине бензальдегид не восстанавливают по Берчу.

### Решение





Этильная группа – электронодонорный заместитель EDG (+I), так как атом углерода в  $sp^3$ -гибридном состоянии менее электроотрицателен, чем в  $sp^2$ -состоянии. Продуктом А является 1-этилгексадиен-1,4. Именно он при аллильном бромировании может давать 3 изомера В, С, D, каждый из которых имеет в молекуле по одному асимметрическому атому углерода и может существовать в виде двух оптических изомеров (R, S). Итак, этилбензол реагирует по схеме 1, Y = EDG. Если бы этилбензол реагировал бы по схеме 2, то в этом случае после аллильного бромирования получились бы не 3, а только 2 изомерных монобромпроизводных, которые не имеют асимметрических атомов углерода и не образуют оптических изомеров.

Метокси-группа OCH<sub>3</sub> в бензольном кольце относится к EDG за счет положительного мезомерного эффекта, кроме этого она оказывает слабый отрицательный индукционный эффект (+M, -I).

Амидная группа C(O)NH<sub>2</sub> относится к EWG за счет отрицательных индукционного и мезомерного эффектов (-I, -M).

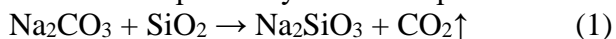
Бензальдегид не восстанавливают по Берчу, так как альдегидная группа сама способна легко восстанавливаться системой (Na + ROH) до соответствующей спиртовой группы.

### Разбалловка

За определение эффектов и принадлежности заместителей C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> (+I) и OCH <sub>3</sub> (+M, -I) к классу EDG, а C(O)NH <sub>2</sub> (-I, -M) к EWG по 2 б.	6 б.
За 4 уравнения по 2 б.	8 б.
За структурные формулы А, В, С, D по 2 б.	8 б.
За указание, что Y = EDG на схеме 1, а X = EWG на схеме 2	1 б.
За причину того, что бензальдегид не восстанавливают по Берчу	2 б.
Итого:	25 б.

### **Задача 10-4**

Силикат натрия получается нагреванием кварцевого песка и соды:



С другой стороны, известно, что при пропускании углекислоты через водный раствор силиката натрия в стандартных условиях наблюдается обратное протекание приведенной выше реакции:



1. Определите стандартное изменение энтальпии прямой реакции (1), если известны значения мольных стандартных энтальпий образования  $\Delta_f H^\circ$  (кДж/моль) = -1131 для  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , -911 для  $\text{SiO}_2$ , -1561 для  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ , -394 для  $\text{CO}_2$ .
2. Эта реакция является экзо- или эндотермической?
3. Определите тепловой эффект такого процесса с участием 6 г песка и 12 г карбоната натрия при выходе 100%.
4. Определите стандартное изменение энтропии обратной реакции (2), если известны значения мольных стандартных энтропий образования  $\Delta_f S^\circ$  (Дж/моль·град) = 114 для  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ , 198 для  $\text{CO}_2$ , 135 для  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , 42 для  $\text{SiO}_2$ .
5. Известно, что у самопроизвольно протекающих при температуре T(К) изменение энергии Гиббса ( $\Delta G = \Delta H - T \cdot \Delta S$ ) имеет отрицательное значение. Вычислите для реакции (1)  $\Delta G$  и сделайте заключение о возможности или невозможности самопроизвольного протекания ее при 25°C и при 1600°C.
6. Приведите по одному примеру промышленных процессов, в основу которых положены указанные выше прямая и обратная реакции.

### **Решение**

1. Для прямой реакции  $\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{SiO}_2 \rightarrow \text{Na}_2\text{SiO}_3 + \text{CO}_2 \uparrow$   
 $\Delta H^\circ = \Delta_f H^\circ(\text{Na}_2\text{SiO}_3) + \Delta_f H^\circ(\text{CO}_2) - \Delta_f H^\circ(\text{Na}_2\text{CO}_3) - \Delta_f H^\circ(\text{SiO}_2) = -1561 - 394 + 1131 + 911 = 87$  кДж.
2. Реакция эндотермическая,  $Q^\circ = -87$  кДж.
3. Определим тепловой эффект такого процесса с участием 6 г песка и 12 г соды.  
 $n(\text{SiO}_2) = 6/60 = 0.1$  моль.  $n(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 12/106 = 0.113$  моль. В недостатке  $\text{SiO}_2$ .  
 $\Delta H^\circ = 87 \cdot 0.1 = 8.7$  кДж ( $Q^\circ = -8.7$  кДж).
4. Для обратной реакции  $\text{Na}_2\text{SiO}_3 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{SiO}_2$   
 $\Delta S^\circ = \Delta_f S^\circ(\text{Na}_2\text{CO}_3) + \Delta_f S^\circ(\text{SiO}_2) - \Delta_f S^\circ(\text{Na}_2\text{SiO}_3) - \Delta_f S^\circ(\text{CO}_2) = 135 + 42 - 114 - 198 = -135$  Дж/град.  
Значит для прямой реакции  $\Delta S^\circ = 135$  Дж/град.
5. Определим значение  $\Delta G^\circ$  для прямой реакции:  
 $\Delta G^\circ(298\text{K}) = \Delta H - 298 \cdot \Delta S = 87 - 298 \cdot 0.135 = +46.77$  кДж. Прямая реакция термодинамически невыгодна, не пойдет.  
 $\Delta G^\circ(1873\text{K}) = \Delta H - 1873 \cdot \Delta S = 87 - 1873 \cdot 0.135 = -165.86$  кДж. Прямая реакция термодинамически выгодна, пойдет.
6. Прямая реакция соды с песком протекает при выплавке стекла, например:  
 $\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{CaCO}_3 + 6\text{SiO}_2 \rightarrow \text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot \text{CaSiO}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 + 2\text{CO}_2 \uparrow$   
Обратная реакция силиката натрия с  $\text{CO}_2$  протекает при отверждении смоченных силикатным клеем песчаных форм, предназначенных для заливки расплавленных металлов.

### **Разбалловка**

- |  |       |
|--|-------|
| За расчет $\Delta H^\circ = 87$ кДж реакции (1)  | 4 б.  |
| За указание на эндотермичность реакции (1)   | 1 б.  |
| За расчет $\Delta H^\circ = 8.7$ кДж или $Q = -8.7$ кДж реакции (1) на 6г песка            | 4 б.  |
| За расчет $\Delta S^\circ = -135$ Дж/град для обратной реакции (2)                         | 4 б.  |
| За расчет $\Delta G^\circ(298\text{K}) = +46.77$ кДж и вывод, что прямая реакция не пойдет | 4 б.  |
| За расчет $\Delta G^\circ(1873\text{K}) = -165.86$ кДж и вывод, что прямая реакция пойдет  | 4 б.  |
| За 2 примера промышленных процессов реакций (1) и (2) по 2 б.                              | 4 б.  |
| Итого:   | 25 б. |

**Межрегиональная олимпиада школьников**  
**«Будущие исследователи – будущее науки» - 2023/24**  
**Химия. Финальный тур. Время выполнения заданий – 180 минут.**

**9 класс**

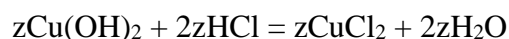
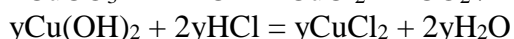
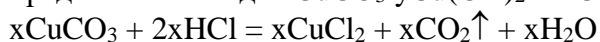
**Задача 9-1**

Два минерала **А** и **Б** имеют одинаковый качественный элементный состав. Синий цвет минерала **А** длительное время считался одним из самых редких и красивых. Он вдохновлял великих художников и иконописцев, его сияние на протяжении веков освещает своды Сикстинской капеллы Ватикана. Зеленый минерал **Б** используется как дорогой поделочный камень, пилястры и элементы декора из которого украшают залы московского Кремля.

На полное растворение измельченного **А** требуется в 1.5 раза больше водного раствора сильной минеральной кислоты, чем на растворение такого же количества вещества **Б**. При этом выделяется одинаковый объем бесцветного газа без запаха, не поддерживающего горение, и образуется водный раствор, содержащий только одно вещество. Если для растворения использовать соляную кислоту, то этим веществом является **В**. Установите химические формулы **А** и **Б**, если молярная масса **А** в 1.441 раза больше, чем **Б** и оба минерала можно рассматривать как смешанный гидроксид и карбонат металла в степени окисления +2. Ответ поясните соответствующими расчетами и рассуждениями. Запишите уравнения реакций растворения **А** и **Б** в соляной кислоте.

**Решение**

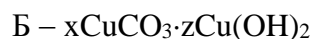
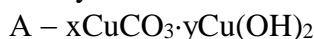
Цвет минералов указывает на соединения меди (II). Общую формулу **А** и **Б** можно представить в виде  $x\text{CuCO}_3 \cdot y\text{Cu}(\text{OH})_2$  и  $x\text{CuCO}_3 \cdot z\text{Cu}(\text{OH})_2$ .



$$(2x+2y) / (2x + 2z) = 1.5$$

$$2x+2y = 3x+3z$$

$$x = 2y - 3z$$



$$M(\text{CuCO}_3) = 123.5 \text{ г/моль}, M(\text{Cu}(\text{OH})_2) = 97.5 \text{ г/моль}.$$

$$(123.5x+97.5y) / (123.5x+97.5z) = 1.441$$

$$123.5x+97.5y = 178x + 140.5z$$

$$54.5x = 97.5y - 140.5z$$

$$54.5(2y - 3z) = 97.5y - 140.5z$$

$$109y - 163.5z = 97.5y - 140.5z$$

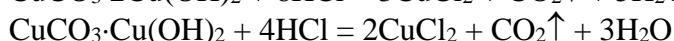
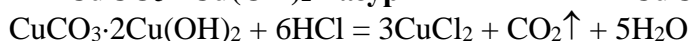
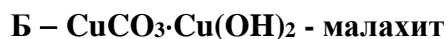
$$11.5y = 23z$$

$$y = 2z$$

$$x = 2y - 3z = 4z - 3z = z$$

$$(123.5z+97.5 \cdot 2z) / (123.5z+97.5z) = 1.441$$

$$z = 1, x = 1, y = 2.$$

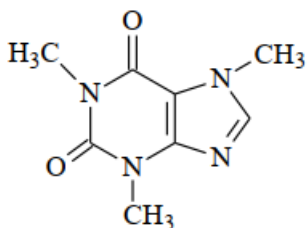


**Разбалловка:**

- |   |       |
|---|-------|
| 1. За установление веществ <b>А</b> , <b>Б</b> и <b>В</b> по 5 б. | 15 б. |
| 2. За реакции растворения <b>А</b> и <b>Б</b> в кислоте по 2 б.   | 4 б.  |
| 3. За расчеты и пояснения   | 6 б.  |
| Итого:  | 25 б. |



### Задача 9-2



Кофеин ( $C_8H_{10}N_4O_2$ ) является основным тонизирующим компонентом чая и кофе. Он стимулирует психическую деятельность, повышает умственную и физическую работоспособность, двигательную активность. Однако большие дозы кофеина угнетающе действуют на организм человека, поэтому очень важно определять его содержание в продуктах. В классической аналитической химии для определения кофеина используют реакцию взаимодействия с хлорной кислотой  $HClO_4$ .

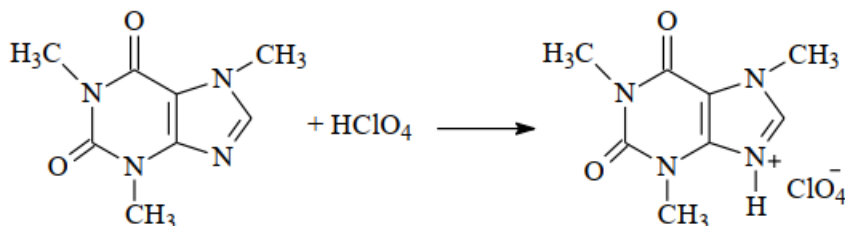
Напишите уравнение реакции между кофеином и хлорной кислотой, учитывая, что они взаимодействуют в молярном соотношении 1:1 и при этом образуется один продукт по донорно-акцепторному механизму (как хлорид аммония  $NH_4^+Cl^-$  из  $NH_3$  и  $HCl$ ). При написании уравнения реакции используйте графическую формулу кофеина и продукта реакции.

Вычислите массовую долю кофеина в чае, если анализ чая проводили следующим образом. Кофеин количественно извлекли из 5 г чая в 50 мл раствора. На реакцию с 20 мл этого раствора потребовалось 15.5 мл 0.01 моль/л раствора хлорной кислоты.

Сколько чашек такого чая можно выпить в сутки, чтобы не превысить установленный в РФ максимальный уровень безопасного суточного потребления кофеина (150 мг). На одну чашку расходуется 2 г чая, кофеин в раствор извлекается полностью.

### Решение

Реакция взаимодействия кофеина с раствором хлорной кислоты:



Найдем массовую долю кофеина в чае:

$$n(HClO_4) = 0.0155 \text{ л} \cdot 0.01 \text{ моль/л} = 0.000155 \text{ моль}$$

$$n(\text{кофеина в 20 мл раствора}) = 0.000155 \text{ моль}$$

$$n(\text{кофеина в 50 мл раствора}) = 0.000155 \text{ моль} \cdot 2.5 = 0.0003875 \text{ моль}$$

$$m(\text{кофеина в 5 г чая}) = m(\text{кофеина в 50 мл раствора}) = 0.0003875 \text{ моль} \cdot 194 \text{ г/моль} = 0.075175 \text{ г}$$

$$\omega(\text{кофеина в чае}) = 0.075175 \text{ г} / 5 \text{ г} = 0.015 \text{ или } 1.5\%$$

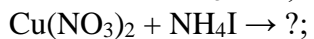
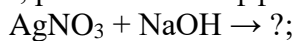
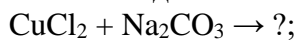
В 2 г чая содержится  $0.075175 \text{ г} / 2.5 = 0.03 \text{ г}$  кофеина, то есть одна чашка чая содержит 0.03 г или 30 мг кофеина. 150 мг кофеина содержится в 5 чашках чая.

### Разбалловка:

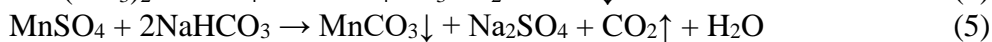
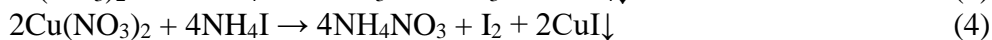
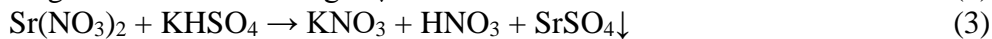
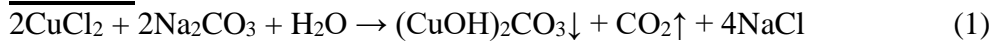
- |                                    |       |
|------------------------------------|-------|
| 1. За уравнение реакции            | 10 б. |
| 2. За расчет массовой доли кофеина | 8 б.  |
| 3. За расчет количества чашек чая  | 7 б.  |
| Итого:                             | 25 б. |

### Задача 9-3

Допишите формулы продуктов 6 реакций, протекающих при сливании водных растворов солей с выделением осадков, расставьте коэффициенты.



### Решение



### Разбалловка

За уравнения 1-5 по 4 б.

20 б.

За уравнение 6

5 б.

Всего

25 б.

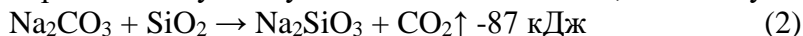
### Задача 9-4

Современная технология выплавки силикатного стекла включает ряд реакций, в том числе взаимодействие кварцевого песка и сульфата натрия:



1. Определите тепловой эффект реакции (1), если известны значения молярных стандартных теплот образования  $Q_{\text{обр.}}(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 1390$  кДж/моль,  $Q_{\text{обр.}}(\text{SiO}_2) = 911$  кДж/моль,  $Q_{\text{обр.}}(\text{Na}_2\text{SiO}_3) = 1561$  кДж/моль,  $Q_{\text{обр.}}(\text{CO}_2) = 394$  кДж/моль,  $Q_{\text{обр.}}(\text{SO}_2) = 297$  кДж/моль.

Чтобы узнать, как связаны значения теплового эффекта реакции и молярных теплот образования участвующих в ней веществ, используйте известные данные для реакции:



$Q_{\text{обр.}}$ (кДж/моль) = 1131 для  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , 911 для  $\text{SiO}_2$ , 1561 для  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ , 394 для  $\text{CO}_2$ .

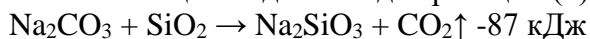
2. Определите, экзо- или эндотермической является реакция (1).

3. Определите, сколько кДж теплоты выделится (или поглотится), если для реакции (1) использовали смесь 30 г сульфата натрия, 1.2 г угля и 12 г песка.

4. Найдите объем выделившихся газов при нагревании смеси 30г сульфата натрия, 1.2г угля и 12г песка, измеренный при давлении 405200 Па и температуре 819°C.

### Решение

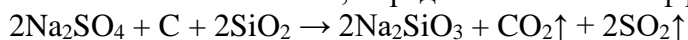
1. По имеющимся данным для реакции (2)



определим тепловой эффект реакции:

$$Q = Q_{\text{обр.}}(\text{Na}_2\text{SiO}_3) + Q_{\text{обр.}}(\text{CO}_2) - Q_{\text{обр.}}(\text{Na}_2\text{CO}_3) - Q_{\text{обр.}}(\text{SiO}_2) = 1561 + 394 - 1131 - 911 = -87 \text{ кДж}$$

Воспользовавшись этим, определим тепловой эффект реакции (1):



$$Q = 2Q_{\text{обр.}}(\text{Na}_2\text{SiO}_3) + Q_{\text{обр.}}(\text{CO}_2) + 2Q_{\text{обр.}}(\text{SO}_2) - 2Q_{\text{обр.}}(\text{Na}_2\text{SO}_4) - Q_{\text{обр.}}(\text{C}) - 2Q_{\text{обр.}}(\text{SiO}_2) = 2 \cdot 1561 + 394 + 2 \cdot 297 - 2 \cdot 1390 - 0 - 2 \cdot 911 = 3122 + 394 + 594 - 2780 - 1822 = -492 \text{ кДж.}$$

2. Реакция **эндотермическая**.

2. Определим тепловой эффект такого процесса с участием 30г сульфата натрия, 1.2 г угля и 12 г песка.

$n(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 30/142 = 0.211$  моль.  $n(\text{C}) = 1.2/12 = 0.1$  моль.  $n(\text{SiO}_2) = 12/60 = 0.2$  моль. В избытке взят сульфат натрия, в недостатке взяты  $\text{SiO}_2$  и углерод.

3. Тепловой эффект определяем по углероду, который в недостатке.  $Q = (-492) \cdot 0.1 = -49.2$  кДж.

4. Объем газов ( $\text{CO}_2$  и  $\text{SO}_2$ ) определяем по углероду, который в недостатке.

$n(\text{CO}_2) = n(\text{C}) = 0.1$  моль.  $n(\text{SO}_2) = 2n(\text{C}) = 0.2$  моль. Общее количество газов  $n(\text{CO}_2 + \text{SO}_2) = 0.3$  моль.  $T = 819 + 273 = 1092\text{K}$ .

Объем газов определим с помощью уравнения Менделеева-Клапейрона:

$$V(\text{CO}_2 + \text{SO}_2) = nRT/P = 0.3 \cdot 8.314 \cdot 1092/405200 = 0.00672 \text{ м}^3 = \mathbf{6.72 \text{ л.}}$$

### Разбалловка

За расчет $Q = -492$ кДж реакции (1)	10 б.
За указание на эндотермичность реакции (1)	5 б.
За расчет $Q = -49.2$ кДж реакции (1) на 12г песка	5 б.
За расчет $V(\text{CO}_2 + \text{SO}_2) = 6.72$ л	5 б.
Всего	25 б.

**Межрегиональная олимпиада школьников**  
**«Будущие исследователи – будущее науки» - 2023/24**  
**Химия. Финальный тур. Время выполнения заданий – 180 минут.**  
**8 класс**

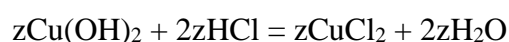
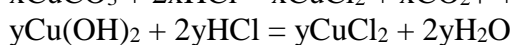
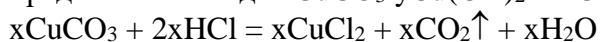
**Задача 8-1**

Два минерала **А** и **Б** имеют одинаковый качественный элементный состав. Синий цвет минерала **А** длительное время считался одним из самых редких и красивых. Он вдохновлял великих художников и иконописцев, его сияние на протяжении веков освещает своды Сикстинской капеллы Ватикана. Зеленый минерал **Б** используется как дорогой поделочный камень, пилястры и элементы декора из которого украшают залы московского Кремля.

На полное растворение измельченного **А** требуется в 1.5 раза больше водного раствора сильной минеральной кислоты, чем на растворение такого же количества вещества **Б**. При этом выделяется одинаковый объем бесцветного газа без запаха, не поддерживающего горение, и образуется водный раствор, содержащий только одно вещество. Если для растворения использовать соляную кислоту, то этим веществом является **В**. Установите химические формулы **А** и **Б**, если молярная масса **А** в 1.441 раза больше, чем **Б** и оба минерала можно рассматривать как смешанный гидроксид и карбонат металла в степени окисления +2. Ответ поясните соответствующими расчетами и рассуждениями. Запишите уравнения реакций растворения **А** и **Б** в соляной кислоте.

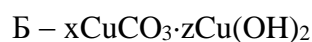
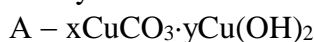
**Решение**

Цвет минералов указывает на соединения меди (II). Общую формулу **А** и **Б** можно представить в виде  $x\text{CuCO}_3 \cdot y\text{Cu}(\text{OH})_2$  и  $x\text{CuCO}_3 \cdot z\text{Cu}(\text{OH})_2$ .



$$(2x+2y) / (2x + 2z) = 1.5$$

$$2x+2y = 3x+3z \quad x = 2y - 3z$$



$$M(\text{CuCO}_3) = 123.5 \text{ г/моль}, M(\text{Cu}(\text{OH})_2) = 97.5 \text{ г/моль}.$$

$$(123.5x+97.5y) / (123.5x+97.5z) = 1.441$$

$$123.5x+97.5y = 178x + 140.5z$$

$$54.5x = 97.5y-140.5z$$

$$54.5(2y - 3z) = 97.5y-140.5z$$

$$109y - 163.5z = 97.5y-140.5z$$

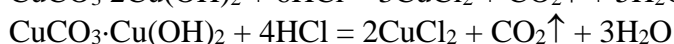
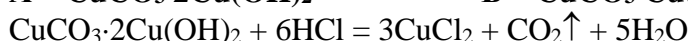
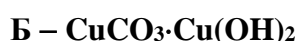
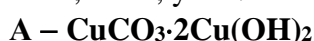
$$11.5y = 23z$$

$$y = 2z$$

$$x = 2y - 3z = 4z - 3z = z$$

$$(123.5z+97.5 \cdot 2z) / (123.5z+97.5z) = 1.441$$

$$z = 1, x = 1, y = 2.$$

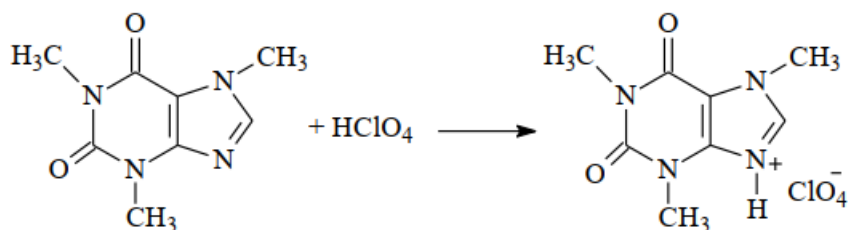


**Разбалловка:**

- |   |       |
|---|-------|
| 1. За установление веществ <b>А</b> , <b>Б</b> и <b>В</b> по 5 б. | 15 б. |
| 2. За реакции растворения <b>А</b> и <b>Б</b> в кислоте по 2 б.   | 4 б.  |
| 3. За расчеты и пояснения   | 6 б.  |
| Итого:  | 25 б. |

### Задача 8-2

Кофеин ( $C_8H_{10}N_4O_2$ ) является основным тонизирующим компонентом чая и кофе. Он стимулирует психическую деятельность, повышает умственную и физическую работоспособность, двигательную активность. Однако большие дозы кофеина угнетающе действуют на организм человека, поэтому очень важно определять его содержание в продуктах. В классической аналитической химии для определения кофеина используют реакцию взаимодействия с хлорной кислотой  $HClO_4$ :



Вычислите массовую долю кофеина в чае, если анализ чая проводили следующим образом. Кофеин количественно извлекли из 5 г чая в 50 мл раствора. На реакцию 20 мл этого раствора потребовалось 15.5 мл 0.01 моль/л раствора хлорной кислоты.

Сколько чашек такого чая можно выпить в сутки, чтобы не превысить установленный в РФ максимальный уровень безопасного суточного потребления кофеина (150 мг). На одну чашку расходуется 2 г чая, кофеин в раствор извлекается полностью.

### Решение

Найдем массовую долю кофеина в чае:

$$n(HClO_4) = 0.0155 \text{ л} \cdot 0.01 \text{ моль/л} = 0.000155 \text{ моль}$$

$$n(\text{кофеина в 20 мл раствора}) = 0.000155 \text{ моль}$$

$$n(\text{кофеина в 50 мл раствора}) = 0.000155 \text{ моль} \cdot 2.5 = 0.0003875 \text{ моль}$$

$$m(\text{кофеина в 5 г чая}) = m(\text{кофеина в 50 мл раствора}) = 0.0003875 \text{ моль} \cdot 194 \text{ г/моль} = 0.075175 \text{ г}$$

$$\omega(\text{кофеина в чае}) = 0.075175 \text{ г} / 5 \text{ г} = 0.015 \text{ или } 1.5\%$$

В 2 г чая содержится  $0.075175 \text{ г} / 2.5 = 0.03 \text{ г}$  кофеина, то есть одна чашка чая содержит 0.03 г или 30 мг кофеина. 344.9 мг кофеина содержится в 11.5 чашках чая.

### Разбалловка:

1. За расчет массовой доли кофеина
2. За расчет чашек чая

13 б.

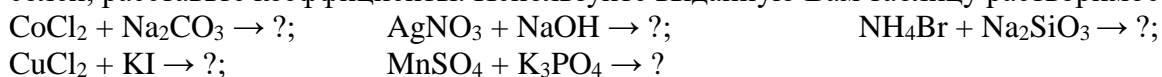
12 б.

Итого:

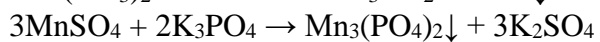
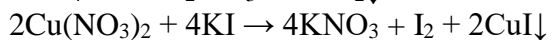
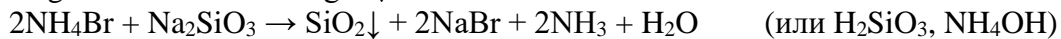
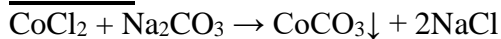
25 б.

### **Задача 8-3**

Допишите формулы продуктов 5 реакций, протекающих при сливании водных растворов солей, расставьте коэффициенты. Используйте выданную Вам таблицу растворимости.



### **Решение**



### **Разбалловка**

За 5 уравнений по 5 б.

25 б.

Всего

25 б.

### Задача 8-4

Современная технология выплавки силикатного стекла включает ряд реакций, в том числе взаимодействие кварцевого песка, угля и сульфата натрия:



1. Определите тепловой эффект реакции (1), если известны значения мольных стандартных теплот образования  $Q_{\text{обр.}}(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 1390$  кДж/моль,  $Q_{\text{обр.}}(\text{SiO}_2) = 911$  кДж/моль,  $Q_{\text{обр.}}(\text{Na}_2\text{SiO}_3) = 1561$  кДж/моль,  $Q_{\text{обр.}}(\text{CO}_2) = 394$  кДж/моль,  $Q_{\text{обр.}}(\text{SO}_2) = 297$  кДж/моль. Известно, что для определения теплового эффекта химической реакции нужно суммировать мольные теплоты образования продуктов реакции и вычесть мольные теплоты образования исходных веществ с учетом их стехиометрических коэффициентов. Мольная теплота образования сложного вещества – это теплота образования 1 моль сложного вещества из простых веществ.

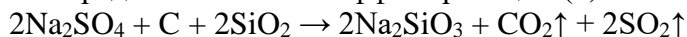
2. Определите, экзо- или эндотермической является реакция (1).

3. Определите, сколько кДж теплоты выделится (или поглотится), если для реакции (1) использовали смесь 30 г сульфата натрия, 1.2 г угля и 12 г песка.

4. Найдите объем выделившихся газов при нагревании смеси 30г сульфата натрия, 1.2 г угля и 12 г песка, измеренный при давлении 101300 Па и температуре 0°C.

### Решение

1. Определим тепловой эффект реакции (1):



$$Q = 2Q_{\text{обр.}}(\text{Na}_2\text{SiO}_3) + Q_{\text{обр.}}(\text{CO}_2) + 2Q_{\text{обр.}}(\text{SO}_2) - 2Q_{\text{обр.}}(\text{Na}_2\text{SO}_4) - Q_{\text{обр.}}(\text{C}) - 2Q_{\text{обр.}}(\text{SiO}_2) = 2 \cdot 1561 + 394 + 2 \cdot 297 - 2 \cdot 1390 - 0 - 2 \cdot 911 = 3122 + 394 + 594 - 2780 - 1822 = \mathbf{-492 \text{ кДж.}}$$

2. Реакция **эндотермическая**.

2. Определим тепловой эффект такого процесса с участием 30 г сульфата натрия, 1.2 г угля и 12 г песка.

$$n(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 30/142 = 0.211 \text{ моль. } n(\text{C}) = 1.2/12 = 0.1 \text{ моль. } n(\text{SiO}_2) = 12/60 = 0.2 \text{ моль.}$$

В избытке взят сульфат натрия, в недостатке взяты  $\text{SiO}_2$  и углерод.

3. Тепловой эффект определяем по углероду, который в недостатке.  $Q = (-492) \cdot 0.1 = \mathbf{-49.2 \text{ кДж.}}$

4. Объем газов ( $\text{CO}_2$  и  $\text{SO}_2$ ) определяем по углероду, который в недостатке.

$$n(\text{CO}_2) = n(\text{C}) = 0.1 \text{ моль. } n(\text{SO}_2) = 2n(\text{C}) = 0.2 \text{ моль. } \text{Общее количество газов } n(\text{CO}_2 + \text{SO}_2) = 0.3 \text{ моль. } V(\text{CO}_2 + \text{SO}_2) = 0.3 \cdot 22.4 = 6.72 \text{ л.}$$

### Разбалловка

За расчет $Q = -492$ кДж реакции (1)	10 б.
За указание на эндотермичность реакции (1)	5 б.
За расчет $Q = -49.2$ кДж реакции (1) на 12г песка	5 б.
За расчет $V(\text{CO}_2 + \text{SO}_2) = 6.72$ л	5 б.
Всего	25 б.