

Решение заданий Всероссийской олимпиады школьников по химии
(муниципальный этап)
11 класс
2024-2025 учебный год

Задача 11-1. Навеску минерала германита массой 1,956 г обожгли на воздухе. Газ, полученный при обжиге, был количественно поглощен 160 мл 0,05М подкисленного раствора KMnO_4 . Масса твердого остатка составила 1,716 г. Другую навеску этого минерала массой 1,956 г обработали кипящей азотной кислотой и разбавили, получив при этом синий раствор и белый осадок массой 0,523 г. В состав минерала входят три элемента.

1. Определите качественный состав минерала.
2. Напишите уравнение реакции взаимодействия выделившегося газа при обжиге минерала с перманганатом калия.
3. Проведите необходимые расчеты для определения количественного состава германита. Напишите формулу германита.
4. Напишите уравнение реакции обжига германита.
5. Напишите реакцию взаимодействия германита с азотной кислотой.

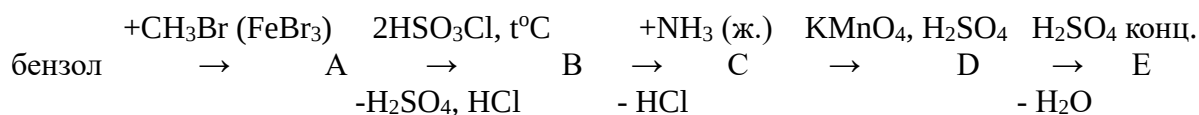
№ п/п	Этапы решения	Количество баллов
1	Определение качественного состава. Из названия минерала ясно, что минерал содержит германий. Газ, получившийся при обжиге минерала, обесцвечивающий перманганат калия – SO_2 , минерал содержит серу. Так как при растворении в азотной кислоте образуется голубой раствор, можно предположить, что минерал содержит медь. Предположительный качественный состав: $\text{Ge}_x\text{Cu}_y\text{S}_z$	3
	$5\text{SO}_2 + 2\text{KMnO}_4 + 2\text{H}_2\text{O} = \text{K}_2\text{SO}_4 + 2\text{MnSO}_4 + 2\text{H}_2\text{SO}_4$	2
	$n(\text{KMnO}_4) = 0,16 \cdot 0,05 = 0,008$ моль $n(\text{SO}_2) = 0,02$ моль $n(\text{S}) = 0,02$ моль $m(\text{S}) = 0,02 \cdot 32 = 0,64$ г	3
	Известно, что германий при взаимодействии с азотной кислотой образует нерастворимый оксид GeO_2 , масса которого составляет 0,523г; при обжиге минерала образуется тот же оксид с той же массой. $n(\text{GeO}_2) = 0,523/105 = 0,005$ моль $n(\text{Ge}) = 0,005$ моль $m(\text{Ge}) = 0,363$ г	2
	Если еще одним элементом является медь, то: $m(\text{Cu}) = 1,956 - 0,363 - 0,64 = 0,953$ г $n(\text{Cu}) = 0,953/64 = 0,015$ моль $n(\text{Ge}) : n(\text{Cu}) : n(\text{S}) = 0,005 : 0,015 : 0,02 = 1:3:4$ Брутто-формула минерала германита: Cu_3GeS_4 Состав минерала: $\text{CuS} \cdot \text{Cu}_2\text{S} \cdot \text{GeS}_2$	3
	При обжиге минерала образовалось 1,716 г твердого остатка, предположительно, оксиды германия и меди, следовательно, $m(\text{CuO}) = 1,716 - 0,523 = 1,193$ г	2

	$n(\text{CuO}) = 1,193/80 = 0,015 \text{ моль} = n(\text{Cu})$ Это доказывает правильность предположения о наличии в минерале меди.	
	Реакция обжига: $\text{Cu}_3\text{GeS}_4 + 6,5\text{O}_2 = 3\text{CuO} + \text{GeO}_2 + 4\text{SO}_2$	2
	Реакция с азотной кислотой: $\text{Cu}_3\text{GeS}_4 + 34\text{HNO}_3 = 3\text{CuSO}_4 + 34\text{NO}_2 + 16\text{H}_2\text{O} + \text{GeO}_2 + \text{H}_2\text{SO}_4$	3
Всего: 20 баллов		

Задача 11-2. Соли образованы катионами и анионами, электронная структура которых описывается такой же электронной формулой, как и у химического элемента находящегося в VIIIA группе 3 периода. Какую окраску будет иметь лакмус в растворах этих солей? Напишите электронную формулу элемента, а также формулы солей, соответствующих условию задачи и необходимые уравнения реакций. *(Засчитывать уравнения гидролиза, если они написаны в молекулярном или ионном виде.)*

№ п/п	Этапы решения	Количество баллов
1	Катионы с формулой $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6$ $\text{K}^+, \text{Ca}^{2+}, \text{Sc}^{3+}, \text{Ti}^{4+}$	1 балл х 4 = 4 балла
2	Анионы с формулой $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6$ $\text{Cl}^-, \text{S}^{2-}, \text{P}^{3-}$	1 балл х 3 = 3 балла
3	Соли, растворы которых имеют нейтральную реакцию среды (лакмус - фиолетовый): KCl , CaCl_2 , Sc_2S_3 (из-за нерастворимости), TiS_2 (из-за нерастворимости), фосфид титана (IV) не известен, фосфид скандия не известен.	4 балла
4	Соли, растворы которых имеют кислую реакцию среды (лакмус - красный): ScCl_3 , TiCl_4	0,5 балла х 2 = 1 балл
5	$\text{ScCl}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{ScOHCl}_2 + \text{HCl}$ $\text{TiCl}_4 + 2\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{Ti}(\text{OH})_2\text{Cl}_2 + 2\text{HCl}$	1 балл х 2 = 2 балла
6	Соли, растворы которых имеют щелочную реакцию среды (лакмус - синий): K_2S , CaS , K_3P , Ca_3P_2	0,5 балла х 4 = 2 балла
7	$\text{K}_2\text{S} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{KHS} + \text{KOH}$ $2\text{CaS} + 2\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{Ca}(\text{HS})_2 + \text{Ca}(\text{OH})_2$ $\text{K}_3\text{P} + 3\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{PH}_3 + 3\text{KOH}$ $\text{Ca}_3\text{P}_2 + 6\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons 2\text{PH}_3 + 3\text{Ca}(\text{OH})_2$	1 балл х 4 = 4 балла
Всего: 20 баллов		

Задача 11-3. В пищевой промышленности в качестве сахарозаменителя в некоторых пищевых продуктах, например в напитках, часто применяют вещество А. Хотя оно не является углеводом по химической природе, его сладость в 500 раз превышает сладость сахарозы. Его синтез впервые был осуществлён после Первой мировой войны, когда остро ощущался дефицит сахара. Синтез вещества А бензола осуществляют в соответствии со схемой:



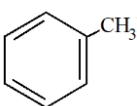
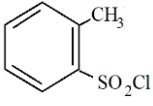
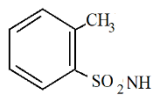
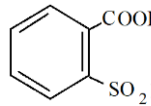
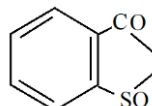
Вопросы.

1. Напишите структурные формулы веществ А-Е.
2. Составьте уравнения реакции получения веществ А-Е.
3. Рассчитайте, сколько требуется использовать комплексного подсластителя марки «Maitre» для производства 15000 л напитка «Лимон-Лайм», если массовая доля вещества А в комплексном подсластителе составляет 5,75%, а концентрация вещества А в напитке «Лимон-Лайм» равна 0,23 г/л.

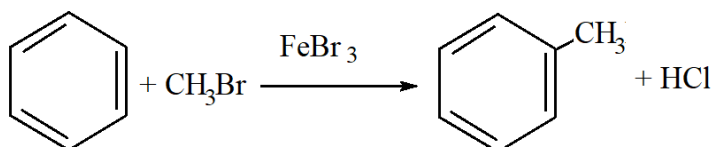
4. Рассчитайте массу бензола, которая потребуется для производства вещества А, необходимого для производства 15000 л напитка «Лимон-Лайм». Выход продукта на каждой стадии синтеза примите равным 40%.

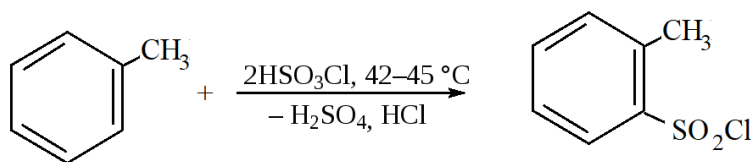
Этапы решения		Число баллов
1	Составлены структурные формулы веществ А-Е (по 1 баллу за каждую структурную формулу).	5 баллов
2	Составлены уравнения реакций получения веществ А-Е (по 2 балла за каждое уравнение реакции).	10 баллов
3	Произведён расчет массы комплексного подсластителя марки «Maitre».	2 балла
4	Рассчитайте массу бензола на производство подсластителя марки «Maitre».	3 балла
		Всего: 20 баллов

1. Составление структурных формул веществ А-Е.

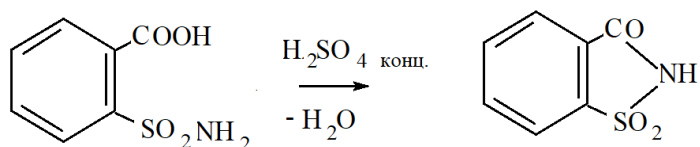
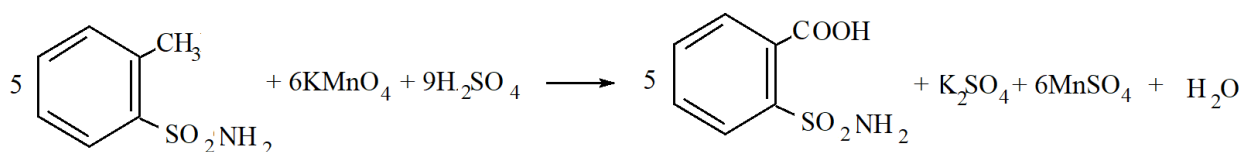
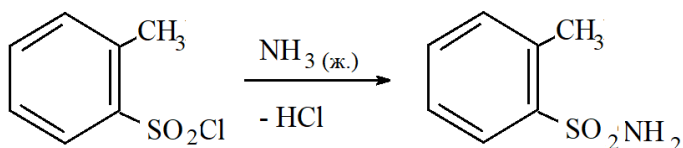
Вещество	А	В	С	Д	Е
Структурная формула					
Название вещества	толуол	о-толуол-сульфохлорид	о-толуол-сульфамид	о-сульфамид бензойной кислоты	мид о-сульфо-бензойной кислоты (сахарин)

2. Составление уравнений реакций получения веществ А-Е.





(другой изомер - п-толуолсульфохлорид не подходит, исходя из структурной формулы конечного продукта синтеза - сахараина)



3. Расчёт массы комплексного подсластителя марки «Maitre».

$$m(\text{A}) = 15000 \text{ л} \cdot 0,23 \text{ г/л} = 3450 \text{ г}$$

$$m(\text{комплексного подсластителя «Maitre»}) = 3450 \text{ г} : 0,0575 = 60000 \text{ г} = 6,0 \cdot 10^4 \text{ г}$$

4. Рассчитайте массу бензола на производство подсластителя марки «Maitre».

$$n(\text{A}) = 6,0 \cdot 10^4 \text{ г} : 183,18 \text{ г/моль} = 327 \text{ моль}$$

$$n(\text{бензола}) = 327 \text{ моль} : (0,4 \cdot 0,4 \cdot 0,4 \cdot 0,4 \cdot 0,4) = 31934 \text{ моль}$$

$$m(\text{бензола}) = 31934 \text{ моль} \cdot 78,11 \text{ г/моль} = 2494365 \text{ г} = 2,4 \cdot 10^6 \text{ г}$$

Задача 11-4. При сгорании 4,48 л (н.у.) газообразного органического вещества получили 35,2 г углекислого газа и 10,8 мл воды. Плотность этого вещества составляет 2,41 г/л (н.у.). Известно также, что это вещество не реагирует с аммиачным раствором оксида серебра, а при реакции его с избытком бромной воды происходит присоединение атомов брома только ко вторичным атомам углерода.

1. Произведите вычисления, необходимые для установления молекулярной формулы органического вещества.
2. Запишите молекулярную формулу органического вещества.
3. Составьте структурную формулу исходного вещества, которая однозначно отражает порядок связи атомов в его молекуле.
4. Напишите уравнение реакции этого вещества с избытком бромной воды.

Этап решения	Баллы
Общая формула вещества – $C_xH_yO_z$ Найдены количества вещества углекислого газа, воды и органического вещества: $n(CO_2) = \frac{35,2\text{г}}{44\text{г/моль}} = 0,8\text{моль}$ $n(H_2O) = \frac{10,8\text{г}}{18\text{г/моль}} = 0,6\text{моль}$ $M(C_xH_yO_z) = 2,41\text{г/л} \cdot 22,4\text{л/моль} = 54\text{ г/моль}$ $n(C_xH_yO_z) = \frac{4,48\text{л}}{22,4\text{л/моль}} = 0,2\text{моль}$	6
Определена молекулярная масса вещества: $n(C) = n(CO_2) = 0,8\text{ моль}$ $n(H) = 2n(H_2O) = 1,2\text{ моль}$ $x = \frac{n(C)}{n(C_xH_yO_z)} = \frac{0,8\text{моль}}{0,2\text{моль}} = 4$ $y = \frac{n(H)}{n(C_xH_yO_z)} = \frac{1,2\text{моль}}{0,2\text{моль}} = 6$ $4 \cdot 12 + 6 + z \cdot 16 = 54$ $z = 0$ Молекулярная формула вещества – C_4H_6	6
Составлена структурная формула вещества $H_3C-C \equiv C-CH_3$	4
Составлено уравнение реакции этого вещества с избытком бромной воды $H_3C-C \equiv C-CH_3 + 2 Br_2 \longrightarrow \begin{array}{c} Br \quad Br \\ \quad \\ H_3C-C-C-CH_3 \\ \quad \\ Br \quad Br \end{array}$	4
Итого: 20 баллов	

Задача 11-5. В лабораторию на химический анализ поступила кормовая добавка для домашних животных. Она представляет собой водорастворимую соль белого цвета, в которой кроме основного вещества также присутствуют вода и примеси различной природы. Лаборант провел испытание её качества.

Вопросы.

1. Массовая доля воды в пробе.

Масса пустого бокса после его подготовки (высушивания) в течение 8 часов при 105 °С до постоянной массы составила 35,0441 г. Масса исходной пробы пищевой добавки, подвергнутой испытанию, равна 1,0023 г. Масса бокса после его высушивания с пробой пищевой добавки оказалась равной 36,0113 г. Рассчитайте массовую долю воды в пищевой добавке.

2. Примеси в препарате.

Установлено, что содержание примесей в кормовой добавке составляет 0,5 процента. Определите массу основного вещества в составе кормовой добавки (без воды и примесей).

3. pH водного раствора.

Результат определения pH водного раствора кормовой добавки: 8,5. С каким химическим процессом связано значение pH, полученное при испытаниях?

4. Класс соединения.

При прокаливании пробы кормовой добавки образовался кетон симметричного строения. Предположите, какой состав имеет исходная соль.

5. Вывод формулы вещества.

Рассчитайте массовую долю кальция в соли кормовой добавки. При добавлении раствора карбоната натрия к 1,0142 г пробы добавки образовался кристаллический осадок массой 0,5451 г. Выведите молекулярную и структурную формулы соли – кормовой добавки.

6. Химические процессы при испытаниях пищевой добавки.

Составьте уравнения реакций образования симметричного кетона (пункт 4 задачи) и осаждения ионов кальция при помощи карбоната натрия.

Этапы решения		Число баллов
1	Рассчитана массовая доля воды в кормовой добавке.	2 балла
2	Определена масса основного вещества в кормовой добавке.	3 балла
3	Объяснена величина pH в растворе кормовой добавки.	2 балла
4	Обозначен химический состав основного вещества кормовой добавки.	3 балла
5	На основе расчётов составлены молекулярная и структурная формулы вещества (по 3 балла за каждый вид формулы). Если химические формулы приведены без подтверждения расчётами – по 1 баллу.	6 баллов
6	Составлены уравнения реакций для процессов, указанных в пунктах 4 и 5 (по 2 балла за уравнения).	4 балла
		Всего: 20 баллов

1. Расчёт массовой доли воды в кормовой добавке.

$m(\text{навески после высушивания пробы}) = 36,0113 \text{ г} - 35,0441 \text{ г} = 0,9672 \text{ г}$.

$m(\text{воды}) = 1,0023 \text{ г} - 0,9672 \text{ г} = 0,0351 \text{ г}$.

$\omega(\text{воды}) = 0,0351 \text{ г} : 1,0023 \text{ г} = 0,035$ (или 3,5 процента).

2. Определение массы основного вещества (соли) в кормовой добавке.

$m(\text{соли}) = 1,0023 \text{ г} \cdot (1 - 0,035 + 0,005) = 0,9622 \text{ г}$.

3. Объяснение величины pH в растворе кормовой добавки.

Происходит гидролиз соли по катиону: происходит повышение pH раствора (слабощелочная среда).

4. Указаны особенности химического состава основного вещества кормовой добавки.

При нагревании кальциевой соли образуется симметричный кетон, значит, прокаливанию подвергли кальциевую соль карбоновой кислоты с числом атомов углерода в цепи более 2-х.

5. Определение молекулярной и структурной формулы вещества.

$m(\text{соли}) = 1,0142 \text{ г} \cdot (1 - 0,035 + 0,005) = 0,9736 \text{ г}$.

$R_2Ca + Na_2CO_3 = 2R-COONa + CaCO_3$.

$m(\text{Ca в } CaCO_3) = 0,5451 \text{ г} \cdot 40,08 \text{ г/моль} : 100,09 \text{ г/моль} = 0,2182 \text{ г}$.

$\omega(\text{Ca в соли}) = 0,2182 \text{ г} : 1,0142 \text{ г} = 0,2066$ (21,51%).

Предположим, что соль карбоновой кислоты – насыщенная:

$R_2Ca \equiv (C_nH_{2n+1}COO)_2Ca$.

$\omega(\text{Ca в соли}) = A(\text{Ca}) : M((C_nH_{2n+1}COO)_2Ca)$

$0,2151 = 40,08 : (2 \cdot (12n + 2n + 1,00 + 12,01 + 16,00 \cdot 2) + 40,08)$

$0,2151 = 40 : (28n + 132,10)$

$28n + 132,10 = 40 : 0,2151$

$28n = 40 : 0,2151 - 132,10$

$28n = 53,8$

$n \approx 2$

6. Написание уравнений реакций.

