

**Разбор заданий**  
**Студенческая олимпиада «Спектр»-2024. Химия, отборочный тур**

1. Навеску неизвестного минерала массой 4,42 г прокалили, при этом её масса уменьшилась на 28,05% и выделилось 0,448 л газа (н.у.) с плотностью по воздуху 1,52. Такую же навеску минерала растворили в серной кислоте, при этом выделилось то же количество газа и образовался голубой раствор. К этому раствору добавили избыток раствора сульфида натрия; образовался осадок, который отфильтровали и высушили без доступа воздуха. Масса осадка составила 3,82 г. Установите состав минерала, напишите уравнения реакций.

Решение:

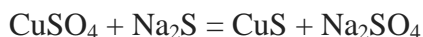
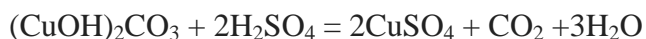
Начнём с определения газа.  $M = 29 \cdot 1,52 = 44$  г/моль. Из газов, которые могут выделяться в указанных условиях, подходит  $\text{CO}_2$ .  $n(\text{CO}_2) = 0,448/22,4 = 0,02$  моль,  $m(\text{CO}_2) = 0,02 \cdot 44 = 0,88$  г. Указанная в условии потеря массы составляет  $4,42 \cdot 0,2805 = 1,24$  г, что больше массы углекислого газа. Если предположить, что выделилась ещё и вода, то  $m(\text{H}_2\text{O}) = 1,24 - 0,88 = 0,36$  г,  $n(\text{H}_2\text{O}) = 0,36/18 = 0,02$  моль.

Цвет раствора после растворения в кислоте позволяет предположить наличие меди. Тогда осадок –  $\text{CuS}$ ;  $n(\text{CuS}) = 3,82/96 = 0,04$  моль;  $n(\text{CuO}) : n(\text{CO}_2) : n(\text{H}_2\text{O}) = 0,04 : 0,02 : 0,02 = 2:1:1$ .

Формулу минерала можно записать как  $2\text{CuO} \cdot \text{CO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$  (или  $(\text{CuOH})_2\text{CO}_3$ ).

Проверим:  $m(\text{CuO}) + m(\text{CO}_2) + m(\text{H}_2\text{O}) = 0,04 \cdot 80 + 0,88 + 0,36 = 4,44$  г, что с учётом использования приближённых значений атомных масс соответствует массе взятого для анализа минерала.

Реакции:



**Критерии оценивания:**

По 1 баллу за указания на выделение углекислого газа, воды и присутствие меди, всего 3 балла.

По 1 баллу за расчёт количеств меди, углерода и водорода или соответствующих оксидов, всего 3 балла.

1 балл – формула минерала.

По 1 баллу за уравнения, всего 3 балла.

Итого 10 баллов.

2. 500 мл раствора хлорида натрия концентрацией 2,00 моль/л подвергли электролизу в электролизере с диафрагмой и платиновыми электродами. После выделения по 6,72 л (н.у.) газа на катоде и аноде электролиз прекратили. Запишите ионные уравнения реакций, которые наблюдались на электродах при электролизе. Какие газы выделялись на катоде и аноде? Рассчитайте молярные концентрации веществ в растворе после электролиза (после удаления диафрагмы и перемешивания; изменением объёма раствора пренебречь).

Решение:



Количества газов равны  $6,72 : 22,4 = 0,3$  моль, для получения таких количеств водорода и хлора в реакцию вступает  $0,6$  моль  $\text{NaCl}$ . Всего было  $2 \text{ моль/л} * 0,5 \text{ л} = 1$  моль  $\text{NaCl}$ , то есть он в избытке.

Реакция на катоде:  $2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e} = \text{H}_2 + 2\text{OH}^-$

Реакция на аноде:  $2\text{Cl}^- - 2\text{e} = \text{Cl}_2$

Газ на катоде – водород, газ на аноде – хлор.

После электролиза в растворе образуется  $0,6$  моль  $\text{NaOH}$  и  $1 - 0,6 = 0,4$  моль  $\text{NaCl}$ .

$c(\text{NaOH}) = 0,6 \text{ моль} : 0,5 \text{ л} = 1,2 \text{ моль/л}$ ;  $c(\text{NaCl}) = 0,4 \text{ моль} : 0,5 \text{ л} = 0,8 \text{ моль/л}$ .

### Критерии оценивания:

По 1 баллу за молекулярное уравнение и ионные уравнения электродных процессов, всего 3 балла.

Газы на катоде и аноде – по 1 баллу, всего 2 балла.

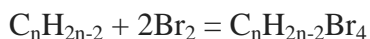
Количества веществ после реакции – по 1 баллу, всего 2 балла.

Молярные концентрации – по 1,5 балла, всего 3 балла.

Итого 10 баллов.

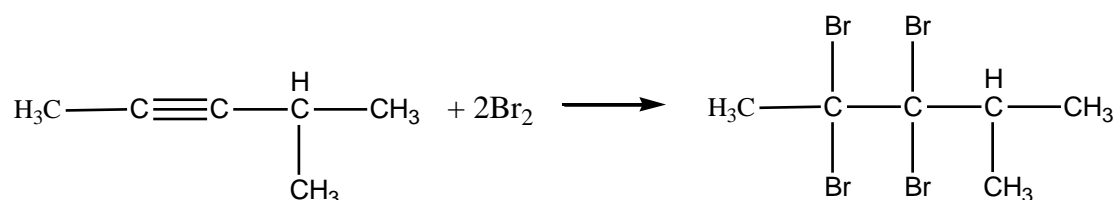
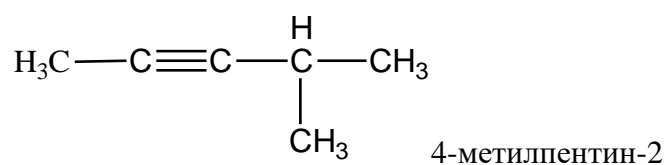
3. Углеводород из класса алкинов содержит пять углеродных атомов в главной цепи. Он не реагирует с аммиачным комплексом серебра. При взаимодействии этого углеводорода с избытком брома в реакцию вступило 32 г брома и образовался продукт массой 40,2 г. Назовите углеводород, напишите его структурную формулу. Ответ подтвердите расчётом и уравнением реакции.

Решение:



$n(\text{Br}_2) = 32/160 = 0,2$  моль, тогда  $n(\text{C}_n\text{H}_{2n-2}\text{Br}_4) = 0,1$  моль.

$M(\text{C}_n\text{H}_{2n-2}\text{Br}_4) = 40,2/0,1 = 402$  г/моль, тогда  $M(\text{C}_n\text{H}_{2n-2}) = 402 - 4*80 = 82$  г/моль, что соответствует формуле  $\text{C}_6\text{H}_{10}$ . Не реагирует с аммиачным комплексом серебра – тройная связь не в терминальном положении. Единственная возможная структурная формула такого алкина с 5 атомами углерода в главной цепи:



### Критерии оценивания:

Указание на молярные соотношения в реакции – 1 балл.

Нахождение количеств брома и органического вещества – по 1 баллу, всего 2 балла.

Молярная масса алкина и молекулярная формула – по 1 баллу, всего 2 балла.

Указание на внутреннее положение тройной связи – 1 балл.

Структурная формула – 2 балла.

Уравнение реакции – 2 балла.

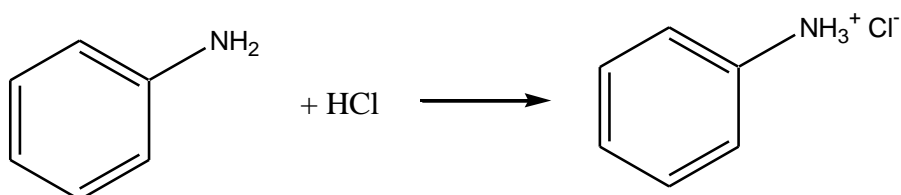
Итого 10 баллов.

4. При пропускании через 100 г смеси бензола, анилина и фенола стехиометрического количества хлороводорода образовалось 30 г осадка. С таким же количеством смеси прореагировало 16,8 г гидроксида калия.

Напишите уравнения реакций. Определите состав исходной смеси по массе и объём хлороводорода (н.у.), который прореагировал.

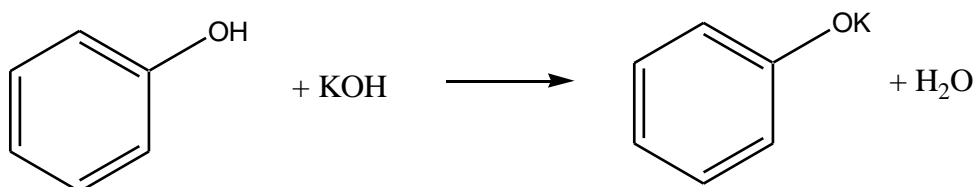
Решение:

С хлороводородом реагирует только анилин:



$n(\text{PhNH}_3^+\text{Cl}^-) = 30/129,5 = 0,232$  моль,  $n(\text{PhNH}_2) = 0,232$  моль,  $m(\text{PhNH}_2) = 0,232 \cdot 93 = 21,6$  г.

С гидроксидом калия реагирует только фенол:



$n(\text{KOH}) = 16,8/56 = 0,3$  моль,  $n(\text{PhOH}) = 0,3$  моль,  $m(\text{PhOH}) = 0,3 \cdot 94 = 28,2$  г.

$m(\text{C}_6\text{H}_6) = 100 - 21,6 - 28,2 = 50,2$  г.

$n(\text{HCl}) = 0,232$  моль,  $V(\text{HCl}) = 0,232 \cdot 22,4 = 5,2$  л.

**Критерии оценивания:**

Уравнения реакций – по 2 балла, всего 4 балла.

Расчёт количеств анилина и фенола – по 1 баллу, всего 2 балла.

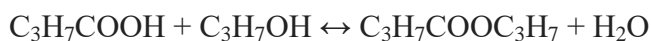
Массы анилина, фенола и бензола – по 1 баллу, всего 3 балла.

Объём хлороводорода – 1 балл.

Итого 10 баллов.

5. Если при некоторой температуре смешать 1 моль бутановой кислоты, 1 моль пропанола и добавить каталитическое количество серной кислоты, то после установления равновесия в смеси будет находиться по 2/3 моль эфира и воды. Сколько граммов эфира образуется, если при той же температуре исходная смесь будет состоять из: а) 8,8 г кислоты и 12 г спирта; б) 2 моль кислоты, 2 моль спирта и 1,5 моль воды?

Решение:



В реакции не изменяется общее количество вещества, поэтому величина константы равновесия не зависит от способа выражения, в частности, её можно выразить через равновесные количества веществ. Если образовалось по  $2/3$  моль эфира и воды, то прореагировало по  $2/3$  моль кислоты и спирта и осталось по  $1/3$  моль.

$$K = \frac{n(\text{C}_3\text{H}_7\text{COOC}_3\text{H}_7) \cdot n(\text{H}_2\text{O})}{n(\text{C}_3\text{H}_7\text{COOH}) \cdot n(\text{C}_3\text{H}_7\text{OH})} = \frac{2/3 \cdot 2/3}{(1/3 \cdot 1/3)} = 4$$

а)  $n_0(\text{C}_3\text{H}_7\text{COOH}) = 8,8/88 = 0,1$  моль,  $n_0(\text{C}_3\text{H}_7\text{OH}) = 12/60 = 0,2$  моль. В реакцию вступило по  $x$  моль реагентов, осталось  $0,1-x$  и  $0,2-x$  соответственно; образовалось по  $x$  моль продуктов, константа равновесия не изменилась.

$$x^2 / [(0,1-x)(0,2-x)] = 4; \text{ из этого уравнения } x_1=0,085, x_2=0,315, \text{ подходит первый корень.}$$

$$m(\text{C}_3\text{H}_7\text{COOC}_3\text{H}_7) = 0,085 \cdot 130 = 11,05 \text{ г.}$$

б) Прореагировало по  $x$  моль реагентов, осталось по  $(2-x)$  моль; образовалось по  $x$  моль продуктов, стало  $x$  моль эфира и  $(1,5+x)$  моль воды.

$$x(1,5+x)/(2-x)^2 = 4; \text{ из этого уравнения } x_1=1,13, x_2=4,7, \text{ подходит первый корень.}$$

$$m(\text{C}_3\text{H}_7\text{COOC}_3\text{H}_7) = 1,13 \cdot 130 = 146,9 \text{ г.}$$

### **Критерии оценивания:**

Уравнение реакции – 1 балл.

Выражение константы равновесия – 1 балл.

Расчёт константы равновесия – 2 балла.

Составление уравнений в п. а), б) по 1 баллу, всего 2 балла.

Расчёт количеств эфира в п. а), б) по 1 баллу, всего 2 балла.

Расчёт масс эфира в п. а), б) по 1 баллу, всего 2 балла.

Итого 10 баллов.