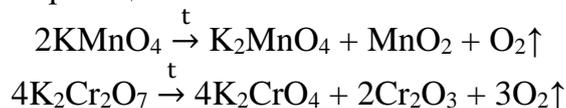


Олимпиада «Ломоносов» по химии. 10 класс. Заключительный тур

1. Запишите уравнение реакции, протекающей в соответствии со следующей схемой:

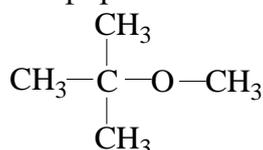


Решение. Возможные реакции:

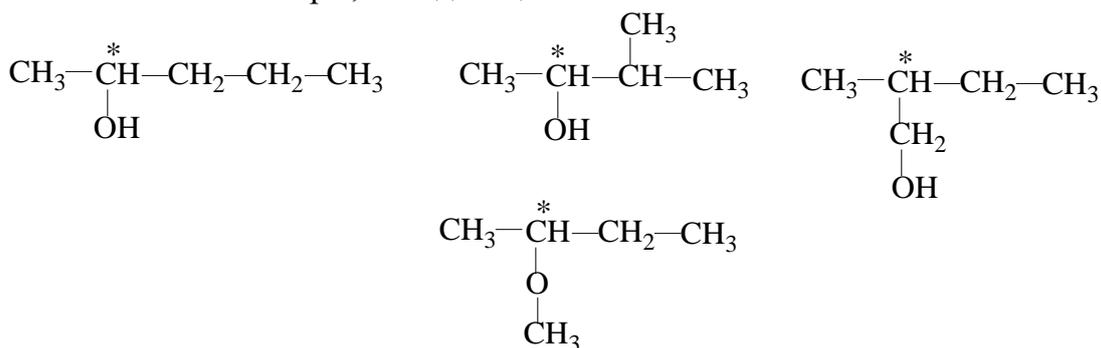


2. Метилтретбутиловый эфир (2-метил-2-метоксипропан) широко применяется в производстве высокооктановых бензинов в качестве добавки к моторным топливам, повышающей октановое число. Приведите все изомеры метилтретбутилового эфира, обладающие оптической активностью. (10 баллов)

Решение. Метилтретбутиловый эфир:



Его возможные изомеры, обладающие оптической активностью:



3. При добавлении избытка раствора цианида калия к раствору хлорида металла X образовалась комплексная частица, координационное число центрального атома в которой равно 4. Комплексная частица содержит 38.10 масс% X. Установите неизвестный металл и состав комплексной частицы, укажите ее заряд. Напишите уравнение реакции. (12 баллов)

Решение. Комплексная частица – это цианидный комплекс, строение которого можно представить, как $[\text{X}(\text{CN})_4]^{n-}$. Выразим массовую долю X в ней:

$$\frac{M(\text{X})}{M(\text{X}) + 26 \cdot 4} = 0.3810,$$

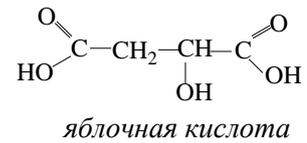
$$M(\text{X}) = 64 \text{ г/моль, X – это медь Cu.}$$

Растворимый в воде хлорид меди – это CuCl_2 , координационное число $\text{Cu}(\text{II})$ равно четырем, следовательно, комплексная частица – $[\text{Cu}(\text{CN})_4]^{2-}$.



Ответ: X – Cu; $[\text{Cu}(\text{CN})_4]^{2-}$.

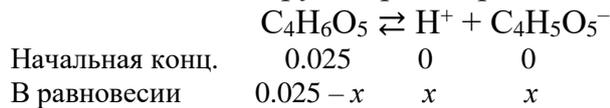
4. В Курске установлен памятник антоновскому яблоку, этот старинный русский сорт считается символом Курской области. В 200 мл сока, полученного из яблок этого сорта, содержится 0.67 г яблочной кислоты. Вычислите pH сока, учитывая только первую константу диссоциации кислоты ($K_1 = 3.47 \cdot 10^{-4}$). (16 баллов)



Решение. Определим молярную концентрацию кислоты:

$$\begin{aligned} \nu(\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_5) &= m / M = 0.67 / 134 = 0.005 \text{ моль}, \\ c &= \nu / V = 0.005 / 0.2 = 0.025 \text{ моль/л}. \end{aligned}$$

Кислота частично диссоциирует в растворе:



Выражение для константы диссоциации яблочной кислоты по первой ступени:

$$\begin{aligned} K_1 &= [\text{H}^+][\text{C}_4\text{H}_5\text{O}_5^-] / [\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_5], \\ 3.47 \cdot 10^{-4} &= x^2 / (0.025 - x), \\ x^2 + 3.47 \cdot 10^{-4}x - 8.675 \cdot 10^{-6} &= 0, \\ x &= 0.00278 \text{ (моль/л)}. \end{aligned}$$

$$\text{pH} = -\lg[\text{H}^+] = -\lg 0.00278 = 2.56.$$

Приближенное решение: если считать, что $x \ll 0.025$ моль/л, тогда можно пренебречь x в знаменателе выражения для K_1 , и тогда

$$\begin{aligned} x^2 &= 3.47 \cdot 10^{-4} \cdot 0.025, \\ x &= 0.00295 = [\text{H}^+], \end{aligned}$$

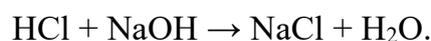
$$\text{pH} = -\lg[\text{H}^+] = -\lg 0.00295 = 2.53.$$

Для данного раствора величина x ($2.95 \cdot 10^{-3}$ моль/л) оказалась меньше концентрации раствора ($2.5 \cdot 10^{-2}$ моль/л) всего на порядок, поэтому пренебрежение величиной x в знаменателе формулы для константы равновесия – достаточно грубое приближение.

Ответ: 2.56.

5. Для приготовления 200 мл кислоты необходимой концентрации взяли 1 мл имевшейся в лаборатории концентрированной HCl. На титрование 20 мл приготовленного раствора пошло 4 мл раствора NaOH с концентрацией 0.05 моль/л. Рассчитайте концентрацию исходной соляной кислоты. (16 баллов)

Решение. Реакция нейтрализации:



Количество вещества затраченной на титрование щелочи:

$$\nu(\text{NaOH}) = c \cdot V = 0.05 \cdot 0.004 = 0.0002 \text{ моль},$$

следовательно, количество вещества HCl в отобранной аликвоте:

$$\nu(\text{HCl}) = \nu(\text{NaOH}) = 0.0002 \text{ моль}.$$

Концентрация разбавленной кислоты:

$$c(\text{HCl}_{\text{разб.}}) = \nu / V = 0.0002 / 0.02 = 0.01 \text{ моль/л}.$$

Общее количество вещества HCl в 200 мл приготовленного раствора:

$$\nu(\text{HCl})_{\text{общ.}} = c \cdot V = 0.01 \cdot 0.2 = 0.002 \text{ моль}.$$

Концентрация HCl в исходном имевшемся в лаборатории растворе:

$$c(\text{HCl}_{\text{конц.}}) = 0.002 / 0.001 = 2 \text{ моль/л}.$$

Ответ: 2 моль/л.

6. В закрытый сосуд объемом 7 л, содержащий кислород (3.14 атм, 25°C), поместили 15.5 г красного фосфора и нагрели. После того, как весь фосфор вступил в реакцию, сосуд охладили до исходной температуры 25°C и обнаружили, что давление кислорода уменьшилось в два раза по сравнению с начальным. Установите массовые доли веществ в растворе, который образовался после добавления к содержимому охлажденного сосуда 448 г 15%-ного раствора гидроксида калия. Запишите уравнения протекающих реакций. (20 баллов)

Решение. В сосуде содержался кислород в количестве

$$v(\text{O}_2)_{\text{исх.}} = pV / RT = 101.3 \cdot 3.14 \cdot 7 / (8.314 \cdot 298) = 0.9 \text{ моль.}$$

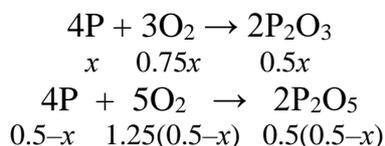
Так как давление при постоянных объеме и температуре прямо пропорционально количеству вещества, в реакцию с фосфором вступила половина имевшегося кислорода:

$$v(\text{O}_2) = 0.9 / 2 = 0.45 \text{ моль.}$$

Фосфора в сосуде было

$$v(\text{P}) = 15.5 / 31 = 0.5 \text{ моль.}$$

Соотношение количеств фосфора и прореагировавшего с ним кислорода показывает, что образовались два оксида – P_2O_3 и P_2O_5 :



$$v(\text{O}_2) = 0.75x + 1.25(0.5 - x) = 0.45 \text{ (моль),}$$

$$x = 0.35 \text{ моль.}$$

Количества продуктов:

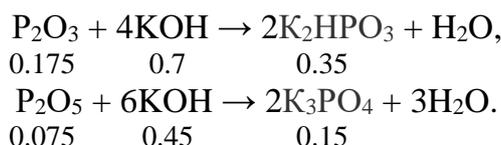
$$v(\text{P}_2\text{O}_3) = 0.175 \text{ моль,}$$

$$v(\text{P}_2\text{O}_5) = 0.075 \text{ моль.}$$

Для растворения продуктов реакции взяли щелочи

$$v(\text{KOH})_{\text{исх.}} = 448 \cdot 0.15 / 56 = 1.2 \text{ моль.}$$

В избытке раствора гидроксида калия образуются средние соли K_2HPO_3 и K_3PO_4 :



Щелочь остается в растворе после завершения реакций в количестве

$$v(\text{KOH}) = 1.2 - 0.7 - 0.45 = 0.05 \text{ моль.}$$

Масса конечного раствора:

$$m(\text{р-ра}) = m(\text{P}_2\text{O}_3) + m(\text{P}_2\text{O}_5) + m(\text{KOH}_{\text{р-р}}) = 110 \cdot 0.175 + 142 \cdot 0.075 + 448 = 477.9 \text{ (г).}$$

Массовые доли содержащихся в конечном растворе веществ:

$$\omega(\text{K}_2\text{HPO}_3) = 0.35 \cdot 158 / 477.9 = 0.1157 \text{ (11.57\%),}$$

$$\omega(\text{K}_3\text{PO}_4) = 0.15 \cdot 212 / 477.9 = 0.0665 \text{ (6.65\%),}$$

$$\omega(\text{KOH}) = 0.05 \cdot 56 / 477.9 = 0.0058 \text{ (0.58\%).}$$

Ответ: 11.57% K_2HPO_3 ; 6.65% K_3PO_4 ; 0.58% KOH.

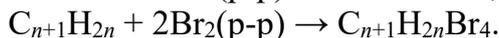
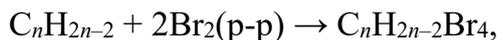
7. Смесь алкина и его ближайшего гомолога массой 29.6 г может обесцветить 9600 г бромной воды с массовой долей брома 2%. Такое же количество смеси может прореагировать с аммиачным раствором оксида серебра, полученным из 69.6 г Ag_2O . Установите строение углеводородов, напишите уравнения протекающих реакций. Предложите способ получения исходных углеводородов исходя из карбидов кальция и алюминия. (22 балла)

Решение. Количества вещества брома и оксида серебра:

$$v(\text{Br}_2) = 9600 \cdot 0.02 / 160 = 1.2 \text{ моль,}$$

$$v(\text{Ag}_2\text{O}) = 69.6 / 232 = 0.3 \text{ моль.}$$

Уравнения реакций неизвестного алкина и его гомолога с бромной водой:



Пусть алкина было x моль, а его ближайшего гомолога – y моль, тогда можно составить следующую систему уравнений:

$$\begin{cases} x(14n - 2) + y(14n + 12) = 29.6 \\ 2x + 2y = 1.2 \end{cases}$$

Выразив y через x и подставив в первое уравнение системы, получим для n

$$n = (22.4 + 14x) / 8.4.$$

Если учесть, что $0 < x < 0.6$, можно получить

$$2.7 < n < 3.7.$$

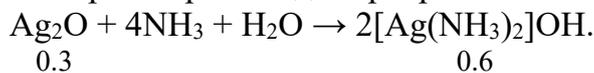
Поскольку n может быть только целым числом, то единственное решение

$$n = 3,$$

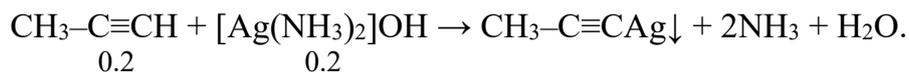
$$n + 1 = 4.$$

Следовательно, алкины – это пропин и один из изомеров бутина. Подставив n в исходную систему уравнений, получаем $x = 0.2$ и $y = 0.4$ (моль).

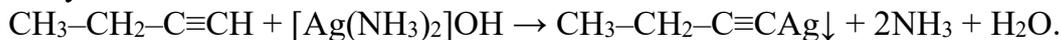
Получение аммиачного раствора оксида серебра:



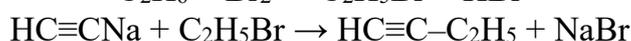
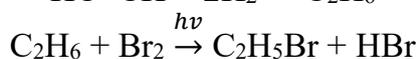
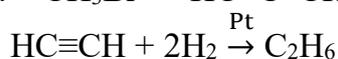
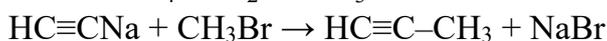
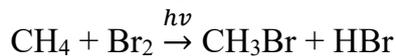
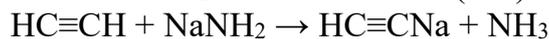
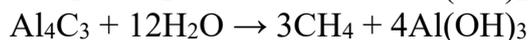
С аммиачным раствором оксида серебра взаимодействуют только терминальные алкины:



Всего $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]\text{OH}$ было 0.6 моль, с пропином прореагировало 0.2 моль, следовательно, оставшееся количество 0.4 моль пошло на реакцию с гомологом пропина – бутином-1:



Уравнения реакций получения алкинов:



Ответ: пропин и бутин-1.