

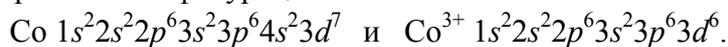
1.7. Изобразите структурную формулу изомера 2-метилбутена-2, в молекуле которого нет первичных атомов углерода. (4 балла)

Решение. Таким изомером является циклопентан, в молекуле которого все атомы углерода – вторичные:



2.10. Напишите электронные конфигурации атома Со и иона Co^{3+} . Рассчитайте массу неспаренных электронов в ионе Co^{3+} (масса электрона равна $9.1 \cdot 10^{-31}$ кг). (6 балла)

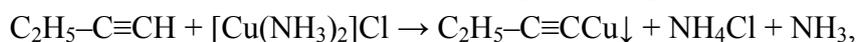
Решение. Электронные конфигурации:



Ион Co^{3+} содержит 4 неспаренных электрона, их масса равна $m = 4 \cdot 9.1 \cdot 10^{-31} = 3.64 \cdot 10^{-30}$ кг.

3.12. Эквимолярную смесь метана, бутин-1 и пропена пропустили через избыток аммиачного раствора хлорида меди(I). Как и во сколько раз изменился объем смеси? Напишите уравнения протекающих реакций. (8 баллов)

Решение. Поглотится только бутин-1, метан и пропен не реагируют:

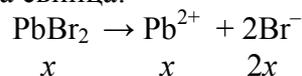


Аммиак хорошо растворим в воде, поэтому он в этой реакции не выделяется. Так как исходно были взяты равные объемы газов, объем смеси сократился в $\frac{3}{2} = 1.5$ раза (объемы смесей измеряются при одинаковых условиях).

Ответ: объем уменьшился в 1.5 раза.

4.3. Вычислите растворимость бромида свинца в воде в единицах г/л, если произведение растворимости составляет $\text{ПР}(\text{PbBr}_2) = 9.1 \cdot 10^{-6}$. (8 баллов)

Решение. Растворение бромида свинца:



Пусть x моль/л – растворимость (концентрация насыщенного раствора) бромида свинца в воде, тогда

$$\text{ПР}(\text{PbBr}_2) = [\text{Pb}^{2+}][\text{Br}^-]^2 = x \cdot (2x)^2 = 4x^3,$$

$$x = \sqrt[3]{\frac{\text{ПР}}{4}} = 1.3 \cdot 10^{-2} \text{ моль/л.}$$

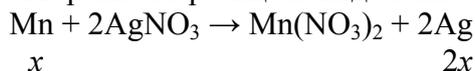
Чтобы перейти к единицам г/л, домножим молярную концентрацию на молярную массу соли ($M(\text{PbBr}_2) = 367$ г/моль):

$$c = 367 \cdot 1.3 \cdot 10^{-2} \approx 4.77 \text{ г/л.}$$

Ответ: 4.77 г/л.

5.4. Через некоторое время после погружения марганцевой пластинки в раствор AgNO_3 ее масса увеличилась на 1.61 г. Какова масса серебра, выделившегося на пластинке? Предложите соль, при погружении в раствор которой масса марганцевой пластинки уменьшается. (8 баллов)

Решение. Происходит растворение марганца и выделение серебра на пластинке:

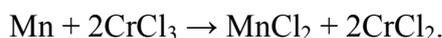


Изменение массы пластинки: $\Delta m = m(\text{Ag}) - m(\text{Mn}) = 108 \cdot 2x - 55x,$

$$x = 1.61 / 161 = 0.01 \text{ моль.}$$

Серебра выделилось $m(\text{Ag}) = 108 \cdot 0.02 = 2.16$ г.

Чтобы масса марганцевой пластинки уменьшилась, можно, например, погрузить ее в раствор хлорида хрома(III) или железа(III):



Еще один вариант – погрузить пластинку в раствор соли аммония. Происходит растворение марганца:



Ответ: 2.16 г Ag; например, CrCl₃, NH₄Cl.

6.5. Соединение **A** при прокаливании разлагается с образованием оксида металла **XO** и смеси газов **B** и **C** в объемном соотношении 4 : 1. Средняя молярная масса газовой смеси 43.2 г/моль, а плотность по воздуху газа **B** составляет 1.59. Для полного восстановления 2.23 г оксида **XO** необходимо 0.51 л водорода (350°C, 1 атм). Определите неизвестные вещества. **(12 баллов)**

Решение. Определим химический состав газовой смеси.

$$M(\mathbf{B}) = 1.59 \cdot 29 = 46 \text{ г/моль.}$$

По условию, объемные доли газов **B** и **C** равны 0.8 и 0.2 соответственно. Средняя масса газовой смеси составляет

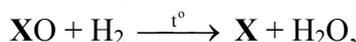
$$M_{\text{ср}} = \varphi_1 \cdot M(\mathbf{C}) + \varphi_2 \cdot M(\mathbf{B}) = 0.2 \cdot M(\mathbf{C}) + 0.8 \cdot 46 = 43.2 \text{ г/моль,}$$

отсюда $M(\mathbf{C}) = 32$ г/моль. Можно сделать предположение, что **B** – это NO₂, а **C** – O₂.

Определим неизвестный металл. Количество водорода на восстановление оксида **XO**:

$$v(\text{H}_2) = \frac{pV}{RT} = \frac{101.3 \cdot 0.51}{8.31 \cdot 623} = 0.01 \text{ моль.}$$

Реакция восстановления оксида водородом:



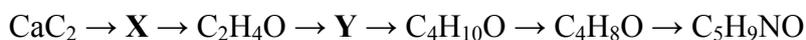
$$M(\text{XO}) = 2.23 / 0.01 = 223 \text{ г/моль, } M(\mathbf{X}) = 223 - 16 = 207 \text{ г/моль,}$$

значит, неизвестный металл – свинец, а **XO** – это оксид свинца(II). Тогда **A** – это Pb(NO₃)₂:

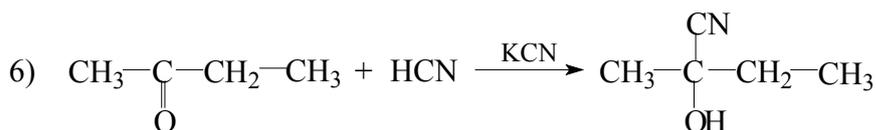
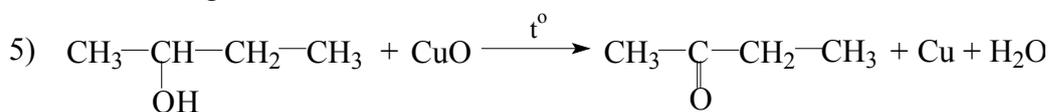
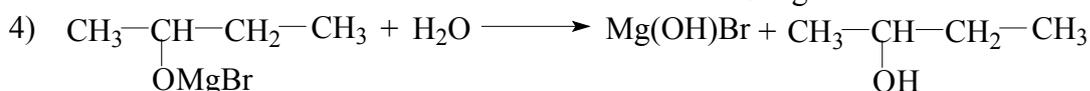
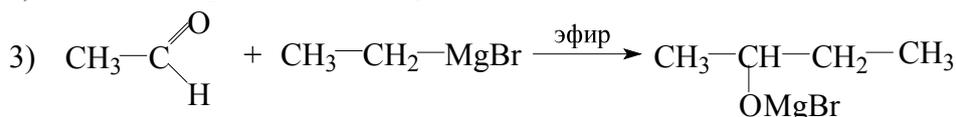
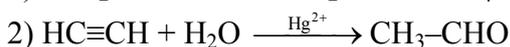
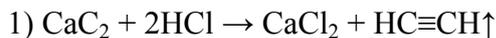


Ответ: **A** – Pb(NO₃)₂; **B** – NO₂; **C** – O₂; **XO** – PbO.

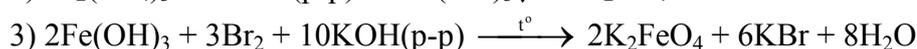
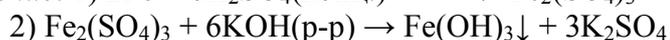
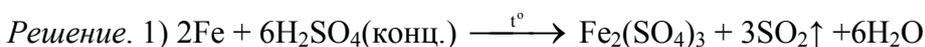
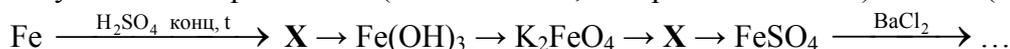
7.1. Напишите уравнения реакций, соответствующих приведенной ниже схеме превращений, и укажите условия их проведения. **(12 баллов)**

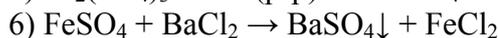
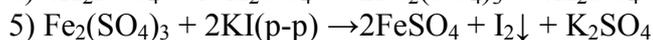


Решение:



8.10. Напишите уравнения реакций, соответствующих приведенной ниже схеме превращений, укажите условия их проведения (**X** – вещество, содержащее железо). **(12 баллов)**



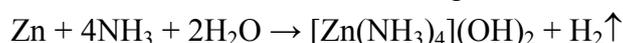


Ответ: X – Fe₂(SO₄)₃.

9.11. Смесь массой 41.2 г, содержащую цинк, фосфор, углерод и неизвестный металл, обработали избытком раствора аммиака и получили 4.48 л газа (н. у.). Затем остаток смеси был обработан соляной кислотой, при этом выделилось 5.6 л газа (н. у.). Последующее нагревание твердого остатка с концентрированным раствором гидроксида натрия привело к выделению газа, который обесцветил 400 мл 0.4 М раствора перманганата калия, подкисленного серной кислотой. Наконец, твердый остаток был переведен в раствор нагреванием с концентрированной серной кислотой, при этом выделился газ, способный полностью обесцветить иодную воду, содержащую 0.3 моль I₂. Определите металл, найдите массовые доли компонентов исходной смеси. **(16 баллов)**

Решение. Так как фосфор и углерод не реагируют ни с аммиаком, ни с соляной кислотой, можно предположить, что сначала в растворе аммиака растворился цинк, а затем неизвестный металл, не прореагировавший с аммиаком, растворился в соляной кислоте.

При растворении цинка в аммиаке выделяется водород:

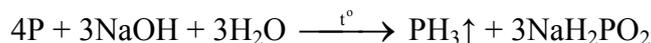


$$\nu(\text{H}_2) = 4.48 / 22.4 = 0.2 \text{ моль,}$$

значит, в соответствии с уравнением реакции, в смеси было 0.2 моль цинка, его масса составляет

$$m(\text{Zn}) = 0.2 \cdot 65 = 13 \text{ г.}$$

Фосфор был переведен в раствор горячей концентрированной щелочью:



Выделившийся фосфин обесцветил подкисленный раствор перманганата калия:

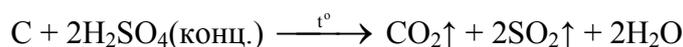


$$\nu(\text{KMnO}_4) = c \cdot V = 0.4 \cdot 0.4 = 0.16 \text{ моль,}$$

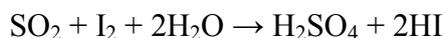
значит, $\nu(\text{PH}_3) = 0.16 \cdot 5 / 8 = 0.1$ моль, а $\nu(\text{P}) = 4 \cdot 0.1 = 0.4$ моль. Масса фосфора:

$$m(\text{P}) = 0.4 \cdot 31 = 12.4 \text{ г.}$$

Углерод прореагировал с концентрированной серной кислотой:



Выделившийся газ содержал оксид серы(IV), который обесцветил иодную воду:



По условию, иода было 0.3 моль, следовательно, SO₂ было также 0.3 моль, а оксида углерода – в два раза меньше, 0.15 моль. Значит, $\nu(\text{C}) = 0.15$ моль, а масса углерода равна

$$m(\text{C}) = 0.15 \cdot 12 = 1.8 \text{ г.}$$

Неизвестного металла X в смеси было

$$m(\text{X}) = 41.2 - 13 - 12.4 - 1.8 = 14 \text{ г.}$$

Металл X растворился в соляной кислоте:



$$\nu(\text{H}_2) = 5.6 / 22.4 = 0.25 \text{ моль.}$$

Если металл был одновалентный ($n = 1$), то $M(\text{X}) = 14 / 0.5 = 28$ г/моль. Такого металла нет. Предположим, что $n = 2$, тогда $M(\text{X}) = 14 / 0.25 = 56$ г/моль. Металл X – железо.

Состав исходной смеси:

$$\omega(\text{Zn}) = 13 / 41.2 = 0.3155 \text{ или } 31.55\%,$$

$$\omega(\text{P}) = 12.4 / 41.2 = 0.3010 \text{ или } 30.10\%,$$

$$\omega(\text{C}) = 1.8 / 41.2 = 0.0437 \text{ или } 4.37\%,$$

$$\omega(\text{Fe}) = 14 / 41.2 = 0.3398 \text{ или } 33.98\%.$$

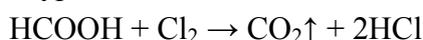
Ответ: железо; 31.55% Zn, 30.10% P, 4.37% C, 33.98% Fe.

10.7. Смесь двух карбоновых кислот массой 2.26 г, растворенная в 400 мл воды, может поглотить без изменения цвета раствора 785 мл хлора (н. у.), при этом выделяется 224 мл углекислого газа. Определите pH образующегося раствора (плотность 1 г/мл). Установите строение кислот. Рассчитайте массу углекислого газа, выделяющегося при обработке исходной смеси кислот избытком подкисленного раствора перманганата калия. Напишите уравнения протекающих реакций. **(16 баллов)**

Решение. Найдем количество хлора:

$$v(\text{Cl}_2) = 0.785 / 22.4 = 0.035 \text{ моль.}$$

С хлором может реагировать либо муравьиная кислота, которая окисляется до углекислого газа (при этом образуется HCl), либо непредельная кислота, присоединяющая хлор по кратной связи. По условию задачи в реакции выделяется углекислый газ, следовательно, одна из кислот – муравьиная:



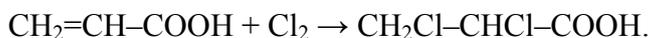
$$v(\text{CO}_2) = v(\text{НСООН}) = 0.224 / 22.4 = 0.01 \text{ моль.}$$

Масса муравьиной кислоты $m(\text{НСООН}) = 0.01 \cdot 46 = 0.46$ г, тогда масса второй кислоты равна $m = 2.26 - 0.46 = 1.8$ г.

Со второй кислотой прореагировал хлор в количестве $v(\text{Cl}_2) = 0.035 - 0.01 = 0.025$ моль. Если эта кислота содержит одну двойную связь, тогда $v(\text{кислоты}) = v(\text{Cl}_2) = 0.025$ моль. Найдем ее молярную массу:

$$M = m / v = 1.8 / 0.025 = 72 \text{ г/моль.}$$

Это одноосновная кислота с брутто-формулой $\text{C}_3\text{H}_4\text{O}_2$. Ей соответствует пропенвая (акриловая) кислота $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{COOH}$:



В результате реакции муравьиной кислоты с хлором в растворе находятся сильная соляная кислота в количестве 0.02 моль и более слабая 2,3-дихлорпропановая кислота. В присутствии сильной кислоты диссоциация более слабой подавлена, поэтому pH раствора определяет диссоциация сильной кислоты. Найдем концентрацию ионов H^+ .

Масса конечного раствора

$$m = m(\text{H}_2\text{O}) + m(\text{кислот}) + m(\text{Cl}_2) - m(\text{CO}_2) = 400 + 2.26 + 2.49 - 0.44 = 404.3 \text{ г.}$$

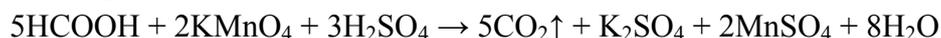
Поскольку плотность раствора равна единице, объем раствора $V = 404.3 \text{ мл} = 0.4043 \text{ л.}$

$$c(\text{HCl}) = v / V = 0.02 / 0.4043 = 0.0495 \text{ моль/л.}$$

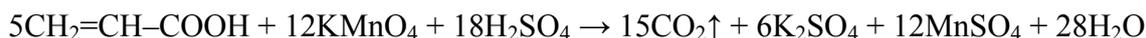
Соляная кислота – сильная, диссоциирует нацело, поэтому $[\text{H}^+] = 0.0495 \text{ моль/л,}$

$$\text{pH} = -\lg[\text{H}^+] = 1.31.$$

Найдем количество углекислого газа:



$$0.01 \qquad \qquad \qquad 0.01$$



$$0.025 \qquad \qquad \qquad 0.075$$

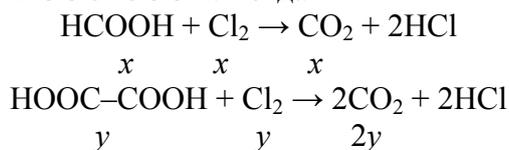
$$v(\text{CO}_2) = 0.01 + 0.075 = 0.085 \text{ моль.}$$

$$m(\text{CO}_2) = 0.085 \cdot 44 = 3.74 \text{ г.}$$

Ответ: HCOOH и CH₂=CH-COOH; pH 1.31; 3.74 г.

В работах абитуриентов иногда рассматривалась щавелевая кислота. Действительно, щавелевая кислота является сильным восстановителем, и можно предположить, что она будет реагировать с хлором.

Если мы будем считать одну из кислот щавелевой, то вторая кислота – либо муравьиная, либо неизвестная непредельная кислота, в молекуле которой есть кратная связь. Рассмотрим первый вариант. Пусть в исходной смеси присутствовали x моль муравьиной кислоты и y моль щавелевой $\text{HOOC}-\text{COOH}$. Тогда



Количества поглощенного хлора и выделившегося CO_2 нам известны:

$$v(\text{Cl}_2) = x + y = 0.035 \text{ моль,}$$

$$v(\text{CO}_2) = x + 2y = 0.01 \text{ моль.}$$

Как видно, при решении этой системы уравнений получается отрицательное значение y . Значит, смесь не могла состоять из щавелевой и муравьиной кислот.

Теперь рассмотрим вариант, когда смесь состояла из щавелевой и неизвестной кислоты. Количество и массу щавелевой кислоты мы можем установить по количеству выделившегося углекислого газа:

$$v(\text{C}_2\text{H}_2\text{O}_4) = 0.01 / 2 = 0.005 \text{ моль,} \quad m(\text{C}_2\text{H}_2\text{O}_4) = 90 \cdot 0.005 = 0.45 \text{ г.}$$

Масса второй кислоты:

$$m(\text{к-ты}) = 2.26 - 0.45 = 1.81 \text{ г.}$$

Предположим, что в молекуле кислоты есть двойная связь. Количество кислоты определим по хлору:

$$v(\text{к-ты}) = v(\text{Cl}_2) - v(\text{C}_2\text{H}_2\text{O}_4) = 0.035 - 0.005 = 0.03 \text{ моль.}$$

Молярная масса кислоты:

$$M(\text{к-ты}) = 1.81 / 0.03 = 60.3 \approx 60 \text{ г/моль,}$$

что соответствует уксусной кислоте, однако она не подходит.

Если кислота содержит тройную связь, то

$$M(\text{к-ты}) = 1.81 / 0.015 = 120.6 \text{ г/моль.}$$

И одноосновную, и двухосновную кислоту с такой молярной массой подобрать невозможно.