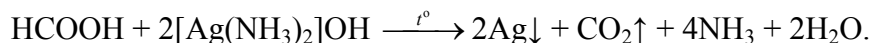


Отборочный тур ДЕКАБРЬ, 10-11 классы

ЗАДАНИЕ 1

1.1. Запишите уравнение реакции, при помощи которой можно обнаружить в уксусной кислоте примесь муравьиной кислоты. Кратко опишите признаки протекания этой реакции. **(4 балла)**

Решение. Обнаружить примесь муравьиной кислоты поможет реакция «серебряного зеркала», в которую вступает муравьиная кислота, но не вступает уксусная. Признаком протекания реакции является налет серебра на стенке пробирки:



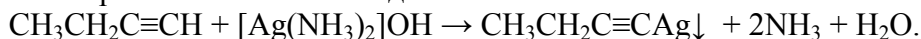
1.2. Запишите уравнение реакции, при помощи которой можно обнаружить в этане примесь этилена. Кратко опишите признаки протекания этой реакции. **(4 балла)**

Решение. Обнаружить примесь этилена поможет реакция с бромной водой, в которую вступает этилен, но не вступает этан. Признаком протекания реакции является обесцвечивание бромной воды:



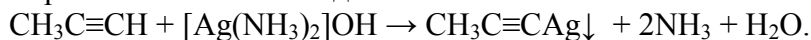
1.3. Запишите уравнение реакции, при помощи которой можно обнаружить в бутине-2 примесь бутина-1. Кратко опишите признаки протекания этой реакции. **(4 балла)**

Решение. Обнаружить примесь бутина-1 поможет реакция с аммиачным раствором оксида серебра, в которую вступает бутин-1, но не вступает бутин-2. Признаком протекания реакции является образование белого осадка:



1.4. Запишите уравнение реакции, при помощи которой можно обнаружить в этане примесь пропина. Кратко опишите признаки протекания этой реакции. **(4 балла)**

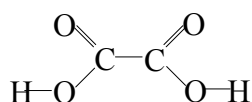
Решение. Обнаружить примесь пропина поможет реакция с аммиачным раствором оксида серебра, в которую вступает пропин, но не вступает этан. Признаком протекания реакции является образование белого осадка:



ЗАДАНИЕ 2

2.1. Определите общую формулу гомологического ряда, к которому принадлежит щавелевая кислота. **(4 балла)**

Решение. Щавелевая кислота $\text{C}_2\text{H}_2\text{O}_4$

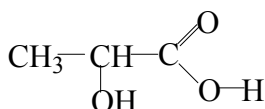


Общая формула гомологического ряда – $\text{C}_n\text{H}_{2n-2}\text{O}_4$.

Ответ: $\text{C}_n\text{H}_{2n-2}\text{O}_4$.

2.2. Определите общую формулу гомологического ряда, к которому принадлежит молочная кислота. **(4 балла)**

Решение. Молочная кислота $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_3$

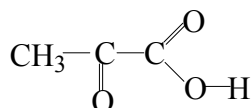


Общая формула гомологического ряда – $\text{C}_n\text{H}_{2n}\text{O}_3$.

Ответ: $\text{C}_n\text{H}_{2n}\text{O}_3$.

2.3. Определите общую формулу гомологического ряда, к которому принадлежит пировиноградная кислота. **(4 балла)**

Решение. Пировиноградная кислота $\text{C}_3\text{H}_4\text{O}_3$

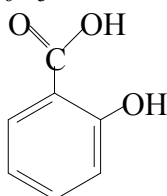


Общая формула гомологического ряда – $\text{C}_n\text{H}_{2n-2}\text{O}_3$.

Ответ: $\text{C}_n\text{H}_{2n-2}\text{O}_3$.

2.4. Определите общую формулу гомологического ряда, к которому принадлежит салициловая кислота. **(4 балла)**

Решение. Салициловая кислота $\text{C}_7\text{H}_6\text{O}_3$



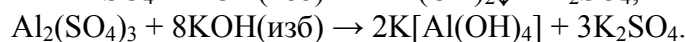
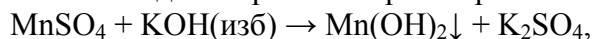
Общая формула гомологического ряда – $\text{C}_n\text{H}_{2n-8}\text{O}_3$.

Ответ: $\text{C}_n\text{H}_{2n-8}\text{O}_3$.

ЗАДАНИЕ 3

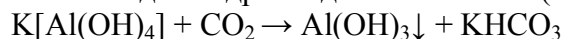
3.1. Смесь содержит кристаллические соли $\text{MnSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ и $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$. Предложите способ выделения из этой смеси марганца и алюминия в виде любых индивидуальных соединений. **(8 баллов)**

Решение. Растворим смесь в воде и обработаем раствор избытком раствора щелочи:



Гидроксид марганца $\text{Mn}(\text{OH})_2$ – малорастворимое соединение ($\text{ПР} = 1.9 \cdot 10^{-13}$), не проявляющее амфотерных свойств и поэтому не растворяющееся в избытке щелочи. Он

выпадет из раствора в виде светло-розового осадка. Алюминий останется в щелочном растворе в виде тетрагидроксоалюминат-иона. При пропускании в этот раствор тока углекислого газа выпадет белый осадок гидроксида алюминия $\text{Al}(\text{OH})_3$:

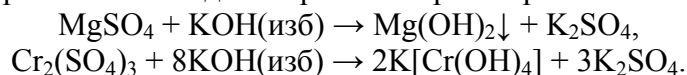


Этим способом можно выделить из исходной смеси марганец в виде $\text{Mn}(\text{OH})_2$, алюминий – в виде $\text{Al}(\text{OH})_3$.

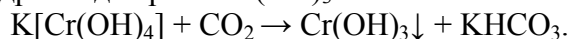
3.2. Смесь содержит кристаллические соли $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ и $\text{KCr}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$. Предложите способ выделения из этой смеси магния и хрома в виде любых индивидуальных соединений.

(8 баллов)

Решение. Растворим смесь в воде и обрабатываем раствор избытком раствора щелочи:



Гидроксид магния $\text{Mg}(\text{OH})_2$ – малорастворимое соединение ($\text{ПР} = 6.0 \cdot 10^{-10}$), не проявляющее амфотерных свойств и поэтому не растворяющееся в избытке щелочи. Он выпадет из раствора в виде белого осадка. Хром останется в щелочном растворе в виде тетрагидроксохромат-иона. При пропускании в этот раствор тока углекислого газа выпадет грязно-зеленый осадок гидроксида хрома $\text{Cr}(\text{OH})_3$:

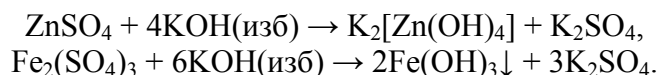


Этим способом можно выделить из исходной смеси магний в виде $\text{Mg}(\text{OH})_2$, хром – в виде $\text{Cr}(\text{OH})_3$.

3.3. Смесь содержит кристаллические соли $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ и $(\text{NH}_4)\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$. Предложите способ выделения из этой смеси цинка и железа в виде любых индивидуальных соединений.

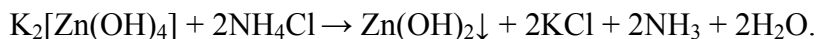
(8 баллов)

Решение. Растворим смесь в воде и обрабатываем раствор избытком холодного раствора щелочи:



Гидроксид железа $\text{Fe}(\text{OH})_3$ – малорастворимое соединение ($\text{ПР} = 6.3 \cdot 10^{-38}$), не проявляющее амфотерных свойств (в обычных условиях) и поэтому не растворяющееся в избытке раствора холодной щелочи. Он выпадет из раствора в виде бурого осадка.

Цинк останется в щелочном растворе в виде тетрагидроксоцинкат-иона. При добавлении к этому раствору хлорида аммония выпадет белый осадок гидроксида цинка $\text{Zn}(\text{OH})_2$:



Если же пропустить в этот раствор ток углекислого газа, выпадет белый осадок основного карбоната цинка.

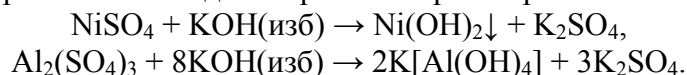


Этим способом можно выделить из исходной смеси железо в виде $\text{Fe}(\text{OH})_3$, цинк – в виде $\text{Zn}(\text{OH})_2$ (или $\text{Zn}(\text{OH})_2 \cdot \text{ZnCO}_3$).

3.4. Смесь содержит кристаллические соли $\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ и $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$. Предложите способ выделения из этой смеси никеля и алюминия в виде любых индивидуальных соединений.

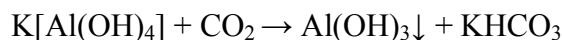
(8 баллов)

Решение. Растворим смесь в воде и обрабатываем раствор избытком раствора щелочи:



Гидроксид никеля $\text{Ni}(\text{OH})_2$ – малорастворимое соединение ($\text{ПР} = 2.0 \cdot 10^{-15}$), не проявляющее амфотерных свойств и поэтому не растворяющееся в избытке щелочи. Он выпадет из раствора в виде светло-зеленого осадка.

Алюминий останется в щелочном растворе в виде тетрагидроксоалюминат-иона. При пропускании в этот раствор тока углекислого газа выпадет белый осадок гидроксида алюминия $\text{Al}(\text{OH})_3$:



Этим способом можно выделить из исходной смеси никель в виде $\text{Ni}(\text{OH})_2$, алюминий – в виде $\text{Al}(\text{OH})_3$.

ЗАДАНИЕ 4

4.1. Смесь 5 г карбоната кальция и 1.06 г карбоната натрия поместили в 750 мл воды при 25°C. Определите массу ионов кальция в растворе над осадком после установления равновесия, если произведение растворимости CaCO_3 при данной температуре равно $3.8 \cdot 10^{-9}$.
(8 баллов)

Решение. Количество вещества хорошо растворимой соли равно

$$\nu(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 1.06 / 106 = 0.01 \text{ моль.}$$

Пусть в раствор над осадком перешло x моль CaCO_3 . Тогда равновесные концентрации Ca^{2+} и карбонат-ионов составляют, соответственно

$$c(\text{Ca}^{2+}) = x / 0.75 \text{ моль/л,}$$

$$c(\text{CO}_3^{2-}) = \frac{x + 0.01}{0.75} \text{ моль/л.}$$

Произведение растворимости карбоната кальция равно

$$3.8 \cdot 10^{-9} = \frac{x}{0.75} \cdot \frac{x + 0.01}{0.75} = \frac{x^2 + 0.01x}{0.5625}.$$

Решение уравнения дает $x = 2.1375 \cdot 10^{-7}$ моль. Тогда

$$m(\text{Ca}^{2+}) = \nu \cdot M = 2.1375 \cdot 10^{-7} \cdot 40 = 8.5498 \cdot 10^{-6} \text{ г.}$$

Ответ: $8.5498 \cdot 10^{-6}$ г ионов кальция.

4.2. Навеску сульфата бария массой 5 г внесли в 500 мл раствора сульфата натрия с концентрацией 0.005 моль/л. Рассчитайте массу ионов бария в растворе над осадком после установления равновесия, если произведение растворимости BaSO_4 при температуре опыта равно $1.1 \cdot 10^{-10}$.
(8 баллов)

Решение. Количество вещества Na_2SO_4 равно

$$\nu(\text{Na}_2\text{SO}_4) = c \cdot V = 0.005 \cdot 0.5 = 0.0025 \text{ моль.}$$

Обозначим за x количество вещества ионов Ba^{2+} в растворе после установления равновесия. Тогда равновесные концентрации ионов Ba^{2+} и сульфат-ионов составляют, соответственно

$$c(\text{Ba}^{2+}) = x / 0.5 \text{ моль/л,}$$

$$c(\text{SO}_4^{2-}) = \frac{x + 0.0025}{0.5} \text{ моль/л.}$$

Произведение растворимости сульфата бария равно

$$1.1 \cdot 10^{-10} = \frac{x}{0.5} \cdot \frac{x + 0.0025}{0.5} = \frac{x^2 + 0.0025x}{0.25}.$$

Решение уравнения дает $x = 1.1 \cdot 10^{-8}$ моль.

$$m(\text{Ba}^{2+}) = 1.1 \cdot 10^{-8} \cdot 137 = 1.51 \cdot 10^{-6} \text{ г.}$$

Ответ: $1.51 \cdot 10^{-6}$ г.

4.3. Навеску бромида серебра массой 2 г внесли в 400 мл раствора бромида натрия с концентрацией 0.002 моль/л. Рассчитайте равновесную концентрацию ионов серебра в растворе над осадком, если произведение растворимости бромида серебра при температуре опыта равно $5.3 \cdot 10^{-13}$. **(8 баллов)**

Решение. Количество вещества NaBr в растворе равно

$$\nu(\text{NaBr}) = c \cdot V = 0.002 \cdot 0.4 = 8 \cdot 10^{-4} \text{ моль.}$$

Обозначим за x количество вещества ионов Ag^+ в растворе после установления равновесия. Тогда равновесные концентрации ионов Ag^+ и бромид-ионов составляют, соответственно

$$\begin{aligned} c(\text{Ag}^+) &= x / 0.4 \text{ моль/л,} \\ c(\text{Br}^-) &= \frac{x + 8 \cdot 10^{-4}}{0.4} \text{ моль/л.} \end{aligned}$$

Произведение растворимости бромида серебра равно

$$5.3 \cdot 10^{-13} = \frac{x}{0.4} \cdot \frac{x + 8 \cdot 10^{-4}}{0.4} = \frac{x^2 + 8 \cdot 10^{-4} x}{0.16}.$$

Решение уравнения дает $x = 1.06 \cdot 10^{-10}$ моль. Концентрация ионов серебра в растворе:

$$c(\text{Ag}^+) = \frac{1.06 \cdot 10^{-10}}{0.4} = 2.65 \cdot 10^{-10} \text{ моль/л.}$$

Ответ: $2.65 \cdot 10^{-10}$ моль/л.

4.4. К 400 мл насыщенного при 25°C раствора MgCO_3 , находящегося в равновесии со своим осадком, прилили 95 мл 2%-ного раствора карбоната калия с плотностью 1.02 г/мл. Рассчитайте концентрацию ионов Mg^{2+} в растворе над осадком, если при данной температуре произведение растворимости MgCO_3 равно $2.1 \cdot 10^{-5}$. **(8 баллов)**

Решение. Найдем количество вещества карбоната калия:

$$\nu(\text{K}_2\text{CO}_3) = \frac{95 \cdot 1.02 \cdot 0.02}{138} = 0.014 \text{ моль.}$$

В растворе при равновесии находится x моль Mg^{2+} и $(x + 0.014)$ моль карбонат-ионов. Объем раствора равен

$$V = 0.4 + 0.095 = 0.495 \text{ л.}$$

Произведение растворимости карбоната магния равно

$$2.1 \cdot 10^{-5} = \frac{x}{0.495} \cdot \frac{x + 0.014}{0.495}.$$

Решение уравнения дает $x = 3.584 \cdot 10^{-4}$ моль. Концентрация ионов магния в растворе:

$$c(\text{Mg}^{2+}) = x / V = 3.584 \cdot 10^{-4} / 0.495 = 7.24 \cdot 10^{-4} \text{ моль/л.}$$

Ответ: $7.24 \cdot 10^{-4}$ моль/л.

ЗАДАНИЕ 5

5.1. Вычислите относительную атомную массу изотопа ^{86}Kr . При расчете используйте следующие данные: массы нейтрона, протона и электрона равны 1.00866, 1.00728 и

0.0005486 а.е.м. соответственно; 1 а.е.м. = $1.66057 \cdot 10^{-24}$ г; энергия образования ядер ^{86}Kr из нуклонов составляет $7.237928 \cdot 10^{13}$ Дж/моль. **(8 баллов)**

Решение. Масса изотопа равняется сумме масс всех протонов, нейтронов и электронов за вычетом дефекта массы. В атоме изотопа ^{86}Kr 36 протонов, 50 нейтронов и 36 электронов.

$$A_r(^{86}\text{Kr}) = 36 \cdot 1.00728 + 50 \cdot 1.00866 + 36 \cdot 0.0005486 - \Delta m.$$

Рассчитаем дефект массы. По уравнению Эйнштейна

$$\Delta E = m \cdot c^2,$$

где c – скорость света, $c = 3 \cdot 10^8$ м/с, E – энергия образования одного ядра криптона.

$$E = 7.237928 \cdot 10^{13} / 6.022 \cdot 10^{23} = 1.20191426 \cdot 10^{-10} \text{ Дж};$$

$$\Delta m = E / c^2 = 1.33546 \cdot 10^{-27} \text{ кг} = 0.80422 \text{ а.е.м.}$$

$$A_r(^{86}\text{Kr}) = 85.91061 \text{ а.е.м.}$$

Ответ: 85.91061 а.е.м.

5.2. Вычислите относительную атомную массу изотопа ^{58}Fe . При расчете используйте следующие данные: массы нейтрона, протона и электрона равны 1.00866 и 1.00728 и 0.0005486 а.е.м. соответственно; 1 а.е.м. = $1.66057 \cdot 10^{-24}$ г; энергия образования ядер ^{58}Fe из нуклонов составляет $4.926562 \cdot 10^{13}$ Дж/моль. **(8 баллов)**

Решение. Масса изотопа равняется сумме масс всех протонов, нейтронов и электронов за вычетом дефекта массы. В атоме изотопа ^{58}Fe 26 протонов, 32 нейтрона и 26 электронов.

$$A_r(^{58}\text{Fe}) = 26 \cdot 1.00728 + 32 \cdot 1.00866 + 26 \cdot 0.000549 - \Delta m.$$

Рассчитаем дефект массы. По уравнению Эйнштейна

$$E = m \cdot c^2,$$

где c – скорость света, $c = 3 \cdot 10^8$ м/с, E – энергия образования одного ядра железа.

$$E = 4.926562 \cdot 10^{13} / 6.022 \cdot 10^{23} = 0.818094 \cdot 10^{-10} \text{ Дж};$$

$$\Delta m = E / c^2 = 0.9089933 \cdot 10^{-27} \text{ кг} = 0.547398 \text{ а.е.м.}$$

$$A_r(^{58}\text{Fe}) = 57.9333 \text{ а.е.м.}$$

Ответ: 57.9333 а.е.м.

5.3. Вычислите относительную атомную массу изотопа ^{104}Pd . При расчете используйте следующие данные: массы нейтрона, протона и электрона равны 1.00866 и 1.00728 и 0.0005486 а.е.м. соответственно; 1 а.е.м. = $1.66057 \cdot 10^{-24}$ г; энергия образования ядер ^{104}Pd из нуклонов составляет $8.625415 \cdot 10^{13}$ Дж/моль. **(8 баллов)**

Решение. Масса изотопа равняется сумме масс всех протонов, нейтронов и электронов за вычетом дефекта массы. В атоме изотопа ^{104}Pd 46 протонов, 58 нейтронов и 46 электронов.

$$A_r(^{104}\text{Pd}) = 46 \cdot 1.00728 + 58 \cdot 1.00866 + 46 \cdot 0.000549 - \Delta m;$$

Рассчитаем дефект массы. По уравнению Эйнштейна

$$E = m \cdot c^2,$$

где c – скорость света, $c = 3 \cdot 10^8$ м/с, E – энергия образования одного ядра палладия.

$$E = 8.625415 \cdot 10^{13} / 6.022 \cdot 10^{23} = 1.4323174 \cdot 10^{-10} \text{ Дж};$$

$$\Delta m = E / c^2 = 1.5914638 \cdot 10^{-27} \text{ (кг)} = 0.958384 \text{ а.е.м.}$$

$$A_r(^{104}\text{Pd}) = 103.9041 \text{ а.е.м.}$$

Ответ: 103.9041 а.е.м.

5.4. Вычислите относительную атомную массу изотопа ^{112}Sn . При расчете используйте следующие данные: массы нейтрона, протона и электрона равны 1.00866 и 1.00728 и 0.0005486 а.е.м. соответственно; 1 а.е.м. = $1.66057 \cdot 10^{-24}$ г; энергия образования ядер ^{112}Sn из нуклонов составляет $9.21237 \cdot 10^{13}$ Дж/моль. **(8 баллов)**

Решение. Масса изотопа равняется сумме масс всех протонов, нейтронов и электронов за вычетом дефекта массы. В атоме изотопа ^{112}Sn 50 протонов, 62 нейтрона и 50 электронов.

$$A_r(^{112}\text{Sn}) = 50 \cdot 1.00728 + 62 \cdot 1.00866 + 50 \cdot 0.000549 - \Delta m;$$

Рассчитаем дефект массы. По уравнению Эйнштейна

$$E = m \cdot c^2,$$

где c – скорость света, $c = 3 \cdot 10^8$ м/с, E – энергия образования одного ядра олова.

$$E = 9.21237 \cdot 10^{13} / 6.022 \cdot 10^{23} = 1.529786 \cdot 10^{-10} \text{ Дж};$$

$$\Delta m = E / c^2 = 1.699762 \cdot 10^{-27} \text{ (кг)} = 1.0236015 \text{ а.е.м.}$$

$$A_r(^{112}\text{Sn}) = 111.9048 \text{ а.е.м.}$$

Ответ: 111.9048 а.е.м.

ЗАДАНИЕ 6

6.1. При н.у. шарик радиусом 15 см, наполненный смесью двух газов, завис в воздухе на некоторой высоте. Оболочка шарика выполнена из нерастяжимого материала, 1 м^2 которого весит $1.65 \cdot 10^{-2}$ кг. Парциальное давление одного из газов в смеси составляет 20265 Па, этот газ в 6.5 раз легче второго. Плотность воздуха на высоте зависания шарика равна 1.2946 кг/м^3 . Определите неизвестные газы. **(12 баллов)**

Решение. Поскольку шарик завис в воздухе, сила Архимеда и сила тяжести, действующие на него, стали равны друг другу. То есть

$$m(\text{воздуха}) \cdot g = (m(\text{смеси}) + m(\text{оболочки})) \cdot g.$$

Для расчета масс газов требуется объем шара, а для расчета массы оболочки шарика необходима площадь поверхности шара:

$$V(\text{шара}) = \frac{4\pi r^3}{3}; \quad S(\text{шара}) = 4\pi r^2.$$

$$m(\text{оболочки}) = m \cdot 4\pi r^2,$$

где m – масса 1 м^2 оболочки. Подставим в основную формулу:

$$\rho(\text{воздуха}) \cdot \frac{4\pi r^3}{3} \cdot g = (\rho(\text{смеси}) \cdot \frac{4\pi r^3}{3} + m \cdot 4\pi r^2) \cdot g.$$

После упрощения получаем:

$$\rho(\text{воздуха}) \cdot \frac{r}{3} = \rho(\text{смеси}) \cdot \frac{r}{3} + m.$$

Можно выразить и рассчитать плотность газовой смеси:

$$\rho(\text{смеси}) = \rho(\text{воздуха}) - \frac{3m}{r} = 1.2946 - 3 \cdot 1.65 \cdot 10^{-2} / 0.15 = 0.9646 \text{ кг/м}^3.$$

Из уравнения Менделеева-Клапейрона выразим и рассчитаем среднюю молярную массу газовой смеси:

$$M(\text{смеси}) = \frac{\rho RT}{p} = \frac{0.9646 \cdot 8.314 \cdot 273}{101325} = 0.0216 \text{ кг/моль} = 21.6 \text{ г/моль}.$$

Молярная доля первого газа в соответствии с законом Дальтона равна

$$x_1 = p_1 / p(\text{смеси}) = 20265 / 101325 = 0.2,$$

тогда молярная доля второго – $x_2 = 0.8$.

Средняя молярная масса газовой смеси равна

$$M(\text{смеси}) = M_1 \cdot x_1 + M_2 \cdot x_2 = M_1 \cdot x_1 + 6.5M_1 \cdot x_2 = M_1 \cdot 0.2 + 6.5M_1 \cdot 0.8 = 5.4 \cdot M_1,$$

$$5.4 \cdot M_1 = 21.6.$$

Отсюда $M_1 = 4$ г/моль, значит, этот газ – гелий.

$$M_2 = 4 \cdot 6.5 = 26 \text{ г/моль,}$$

что отвечает ацетилену.

Ответ: He и C_2H_2 .

6.2. При н.у. шарик радиусом 15 см, наполненный смесью двух газов, завис в воздухе на некоторой высоте. Оболочка шарика выполнена из нерастяжимого материала, 1 м^2 которого весит $8.49 \cdot 10^{-3}$ кг. Один из газов в полтора раза легче другого, является простым веществом и содержится в газовой смеси в количестве 0.303 моль. Плотность воздуха на высоте зависания шарика равна 1.2946 кг/м^3 . Определите неизвестные газы. **(12 баллов)**

Решение. Поскольку шарик завис в воздухе, сила Архимеда и сила тяжести, действующие на него, стали равны друг другу. То есть

$$m(\text{воздуха}) \cdot g = (m(\text{смеси}) + m(\text{оболочки})) \cdot g.$$

Для расчета масс газов требуется объем шара, а для расчета массы оболочки шарика необходима площадь поверхности шара:

$$V(\text{шара}) = \frac{4\pi r^3}{3}; \quad S(\text{шара}) = 4\pi r^2.$$

$$m(\text{оболочки}) = m \cdot 4\pi r^2,$$

где m – масса 1 м^2 оболочки. Подставим в основную формулу:

$$\rho(\text{воздуха}) \cdot \frac{4\pi r^3}{3} \cdot g = (\rho(\text{смеси}) \cdot \frac{4\pi r^3}{3} + m \cdot 4\pi r^2) \cdot g.$$

После упрощения получаем:

$$\rho(\text{воздуха}) \cdot \frac{r}{3} = \rho(\text{смеси}) \cdot \frac{r}{3} + m.$$

Можно выразить и рассчитать плотность газовой смеси:

$$\rho(\text{смеси}) = \rho(\text{воздуха}) - \frac{3m}{r} = 1.2946 - 3 \cdot 8.49 \cdot 10^{-3} / 0.15 = 1.1248 \text{ кг/м}^3.$$

Из уравнения Менделеева-Клапейрона выразим и рассчитаем среднюю молярную массу газовой смеси:

$$M(\text{смеси}) = \frac{\rho RT}{p} = \frac{1.1248 \cdot 8.314 \cdot 273}{101325} = 0.0252 \text{ кг/моль} = 25.2 \text{ г/моль}.$$

Найдем количество вещества смеси:

$$V(\text{шара}) = \frac{4\pi r^3}{3} = \frac{4 \cdot 3.14 \cdot 0.15^3}{3} = 0.01413 \text{ м}^3 = 14.13 \text{ л,}$$

$$\nu(\text{смеси}) = V / V_m = 14.13 / 22.4 = 0.6308 \text{ моль.}$$

Мольная доля первого газа равна

$$x_1 = 0.303 / 0.6308 = 0.48,$$

тогда мольная доля второго – $x_2 = 0.52$.

Средняя молярная масса газовой смеси равна

$$M(\text{смеси}) = M_1 \cdot x_1 + M_2 \cdot x_2 = M_1 \cdot x_1 + 6.5M_1 \cdot x_2 = M_1 \cdot 0.48 + 1.5M_1 \cdot 0.52 = 1.26 \cdot M_1, \\ 1.26 \cdot M_1 = 25.2.$$

Отсюда $M_1 = 20$ г/моль, значит, этот газ – неон (простое вещество; HF не подходит, тем более, что при н.у. фтороводород – жидкость).

$$M_2 = 20 \cdot 1.5 = 30 \text{ г/моль,}$$

что отвечает этану.

Ответ: Ne и C_2H_6 .

6.3. При н.у. шарик радиусом 12 см, наполненный смесью двух газов, завис в воздухе на некоторой высоте. Оболочка шарика выполнена из нерастяжимого материала, 1 м^2 которого весит $1.25 \cdot 10^{-2}$ кг. Парциальное давление одного из газов составляет 25331 Па, этот газ в 1.4 раза тяжелее другого. Оба газа – простые вещества. Плотность воздуха на высоте зависания шарика равна 1.2946 кг/м^3 . Определите неизвестные газы. **(12 баллов)**

Решение. Поскольку шарик завис в воздухе, сила Архимеда и сила тяжести, действующие на него, стали равны друг другу. То есть

$$m(\text{воздуха}) \cdot g = (m(\text{смеси}) + m(\text{оболочки})) \cdot g.$$

Для расчета масс газов требуется объем шара, а для расчета массы оболочки шарика необходима площадь поверхности шара:

$$V(\text{шара}) = \frac{4\pi r^3}{3}; \quad S(\text{шара}) = 4\pi r^2.$$

$$m(\text{оболочки}) = m \cdot 4\pi r^2,$$

где m – масса 1 м^2 оболочки. Подставим в основную формулу:

$$\rho(\text{воздуха}) \cdot \frac{4\pi r^3}{3} \cdot g = (\rho(\text{смеси}) \cdot \frac{4\pi r^3}{3} + m \cdot 4\pi r^2) \cdot g.$$

После упрощения получаем:

$$\rho(\text{воздуха}) \cdot \frac{r}{3} = \rho(\text{смеси}) \cdot \frac{r}{3} + m.$$

Можно выразить и рассчитать плотность газовой смеси:

$$\rho(\text{смеси}) = \rho(\text{воздуха}) - \frac{3m}{r} = 1.2946 - 3 \cdot 1.25 \cdot 10^{-2} / 0.12 = 0.9821 \text{ кг/м}^3.$$

Из уравнения Менделеева-Клапейрона выразим и рассчитаем среднюю молярную массу газовой смеси:

$$M(\text{смеси}) = \frac{\rho RT}{p} = \frac{0.9821 \cdot 8.314 \cdot 273}{101325} = 0.0220 \text{ кг/моль} = 22.0 \text{ г/моль}.$$

Молярная доля первого газа в соответствии с законом Дальтона равна

$$x_1 = p_1 / p(\text{смеси}) = 25331 / 101325 = 0.25,$$

тогда молярная доля второго – $x_2 = 0.75$.

Средняя молярная масса газовой смеси равна

$$M(\text{смеси}) = M_1 \cdot x_1 + M_2 \cdot x_2 = 1.4M_2 \cdot 0.25 + M_2 \cdot 0.75 = 1.10 \cdot M_2, \\ 1.1 \cdot M_2 = 22.0.$$

Отсюда $M_2 = 20$ г/моль, значит, этот газ – неон (простое вещество; HF не подходит, тем более, что при н.у. фтороводород – жидкость).

$$M_1 = 20 \cdot 1.4 = 28 \text{ г/моль},$$

что отвечает азоту (простое вещество, C_2H_4 не подходит).

Ответ: Ne и N_2 .

6.4. При н.у. шарик радиусом 18 см, наполненный смесью двух газов, завис в воздухе на некоторой высоте. Оболочка шарика выполнена из нерастяжимого материала, 1 м^2 которого весит $9.1 \cdot 10^{-3}$ кг. Один из газов в 7 раз тяжелее другого и содержится в газовой смеси в количестве 0.981 моль. Только один из газов является простым веществом. Плотность воздуха на высоте зависания шарика равна 1.2946 кг/м^3 . Определите неизвестные газы. **(12 баллов)**

Решение. Поскольку шарик завис в воздухе, сила Архимеда и сила тяжести, действующие на него, стали равны друг другу. То есть

$$m(\text{воздуха}) \cdot g = (m(\text{смеси}) + m(\text{оболочки})) \cdot g.$$

Для расчета масс газов требуется объем шара, а для расчета массы оболочки шарика необходима площадь поверхности шара:

$$V(\text{шара}) = \frac{4\pi r^3}{3}; \quad S(\text{шара}) = 4\pi r^2.$$

$$m(\text{оболочки}) = m \cdot 4\pi r^2,$$

где m – масса 1 м^2 оболочки. Подставим в основную формулу:

$$\rho(\text{воздуха}) \cdot \frac{4\pi r^3}{3} \cdot g = (\rho(\text{смеси}) \cdot \frac{4\pi r^3}{3} + m \cdot 4\pi r^2) \cdot g.$$

После упрощения получаем:

$$\rho(\text{воздуха}) \cdot \frac{r}{3} = \rho(\text{смеси}) \cdot \frac{r}{3} + m.$$

Можно выразить и рассчитать плотность газовой смеси:

$$\rho(\text{смеси}) = \rho(\text{воздуха}) - \frac{3m}{r} = 1.2946 - 3 \cdot 9.1 \cdot 10^{-3} / 0.18 = 1.1429 \text{ кг/м}^3.$$

Из уравнения Менделеева-Клапейрона выразим и рассчитаем среднюю молярную массу газовой смеси:

$$M(\text{смеси}) = \frac{\rho RT}{p} = \frac{1.1428 \cdot 8.314 \cdot 273}{101325} = 0.0256 \text{ кг/моль} = 25.6 \text{ г/моль}.$$

Найдем количество вещества смеси:

$$V(\text{шара}) = \frac{4\pi r^3}{3} = \frac{4 \cdot 3.14 \cdot 0.18^3}{3} = 0.02442 \text{ м}^3 = 24.42 \text{ л},$$

$$\nu(\text{смеси}) = V / V_m = 24.42 / 22.4 = 1.090 \text{ моль}.$$

Мольная доля первого газа равна

$$x_1 = 0.981 / 1.09 = 0.9,$$

тогда мольная доля второго – $x_2 = 0.1$.

Средняя молярная масса газовой смеси равна

$$M(\text{смеси}) = M_1 \cdot x_1 + M_2 \cdot x_2 = 7M_2 \cdot x_1 + M_2 \cdot x_2 = 7M_2 \cdot 0.9 + M_2 \cdot 0.1 = 6.4 \cdot M_2, \\ 5.2 \cdot M_2 = 25.6.$$

Отсюда $M_2 = 4$ г/моль, значит, этот газ – гелий.

$$M_1 = 4 \cdot 7 = 28 \text{ г/моль},$$

что отвечает азоту или этилену. Но, по условию, только один газ – простое вещество, поэтому второй газ – этилен.

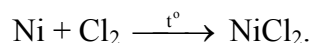
Ответ: He и C_2H_4 .

ЗАДАНИЕ 7

7.1. Простое вещество **A** подвергли высокотемпературному хлорированию, масса образовавшегося желтого вещества **B** оказалась больше массы исходного вещества **A** в 2.203 раза. При обработке водного раствора вещества **B**, имеющего зеленый цвет, раствором аммиака образовалось вещество **C**, придавшее раствору сине-фиолетовую окраску. Пропускание в раствор вещества **C** сероводорода привело к образованию черного осадка **D**. При добавлении к раствору вещества **C** иодида калия выпал светло-фиолетовый осадок **E**. Какое вещество образуется, если нагреть раствор вещества **B** с гипофосфитом натрия? Установите состав зашифрованных веществ, напишите уравнения всех упомянутых реакций.

(12 баллов)

Решение. Можно предположить, что простое вещество **A** – переходный металл (его соединения имеют разнообразную окраску, он образует комплексное соединение с аммиаком). Цвета безводного хлорида, водного раствора хлорида, а также аммиачного комплекса этого металла указывают на никель (простое вещество **A**).

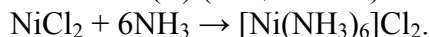


Проверим отношение масс:

$$M(\text{NiCl}_2) / M(\text{Ni}) = 130 / 59 = 2.203,$$

что соответствует условию задачи.

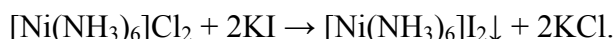
Цвет безводного хлорида никеля (вещества **B**) – желтый, а водный раствор хлорида никеля имеет зеленую окраску. При добавлении к этому раствору аммиака образуется сине-фиолетовый аммиачный комплекс никеля(II) (вещество **C**):



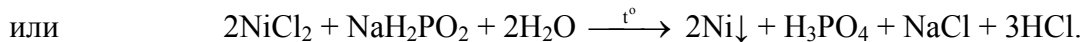
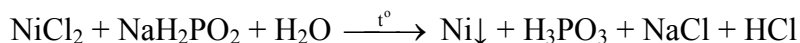
При пропускании в раствор хлорида гексамминникеля(II) сероводорода выпадает черный осадок сульфида никеля(II) (вещество **D**):



При добавлении к раствору хлорида гексамминникеля(II) иодида калия выпадает светло-фиолетовый осадок малорастворимого иодида, образованного этим комплексным катионом (вещество **E**):



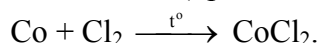
При нагревании раствора хлорида никеля с гипофосфитом натрия происходит восстановление никеля(II) до металлического никеля (вещества **A**):



Ответ: **A** – Ni, **B** – NiCl₂, **C** – [Ni(NH₃)₆]Cl₂, **D** – NiS, **E** – [Ni(NH₃)₆]I₂, образуется металлический никель.

7.2. Простое вещество **A** подвергли высокотемпературному хлорированию, масса образовавшегося голубого вещества **B** оказалась больше массы исходного вещества **A** в 2.203 раза. Пропускание газообразного аммиака над полученным веществом **B** при нагревании привело к образованию светло-красного вещества **C**. При обработке водного раствора вещества **B**, имеющего светло-розовый цвет, разбавленным раствором гидроксида калия выпал розовый осадок **D**, растворяющийся в избытке концентрированной соляной кислоты с образованием синего раствора вещества **E**. Какое вещество образуется, если обработать полученный осадок **D** концентрированным раствором гидроксида калия, и какова его окраска? Установите состав зашифрованных веществ и напишите уравнения всех упомянутых реакций. **(12 баллов)**

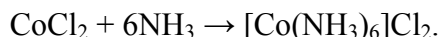
Решение. Можно предположить, что простое вещество **A** – переходный металл (его соединения имеют разнообразную окраску, он образует комплексное соединение с аммиаком). Цвета безводного хлорида, водного раствора хлорида, а также аммиачного комплекса этого металла указывают на кобальт (простое вещество **A**).



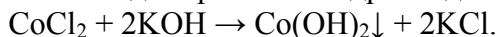
$$M_{\text{CoCl}_2} / M_{\text{Co}} = 130 / 59 = 2.203.$$

Это соответствует условию задачи.

Цвет безводного хлорида кобальта (вещества **B**) – голубой. При пропускании над этим веществом газообразного аммиака образуется светло-красный аммиачный комплекс кобальта(II) (соединение **C**):



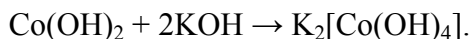
Водный раствор хлорида кобальта имеет светло-розовую окраску. При добавлении к нему раствора гидроксида калия выпадает розовый гидроксид кобальта(II) (вещество **D**):



Растворение гидроксида кобальта(II) в концентрированной соляной кислоте приводит к образованию комплексного аниона синего цвета – тетрахлокобальтата(II) (H₂[CoCl₄] – вещество **E**):



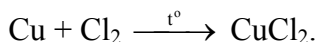
Растворение гидроксида кобальта(II) в концентрированном растворе гидроксида калия приводит к образованию тетрагидроксикобальтата(II) калия, раствор которого также имеет синий цвет:



Ответ: **A** – Co, **B** – CoCl_2 , **C** – $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]\text{Cl}_2$, **D** – Co(OH)_2 , **E** – $\text{H}_2[\text{CoCl}_4]$, образуется $\text{K}_2[\text{Co(OH)}_4]$ синего цвета.

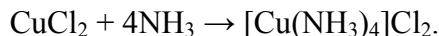
7.3. Простое вещество **A** подвергли высокотемпературному хлорированию, масса образовавшегося темно-коричневого вещества **B** оказалась больше массы исходного вещества **A** в 2.11 раза. Водный раствор вещества **B**, имеющий зеленовато-синий цвет, обработали раствором аммиака. При этом образовалось вещество **C**, придавшее раствору ярко-синюю окраску. При пропускании в раствор вещества **C** сероводорода выпал черный осадок **D**, растворимый в горячей концентрированной азотной кислоте с образованием голубого раствора соединения **E**. Кристаллы какого вещества образуются, если в раствор вещества **B** добавить сульфат аммония, а затем охладить смесь? Какого они цвета? Установите состав зашифрованных веществ и напишите уравнения всех упомянутых реакций. **(12 баллов)**

Решение. Можно предположить, что простое вещество **A** – переходный металл (его соединения имеют разнообразную окраску, он образует комплексное соединение с аммиаком). Цвета безводного хлорида, водного раствора хлорида, а также аммиачного комплекса этого металла указывают на медь (простое вещество **A**).



$$M(\text{CuCl}_2) / M(\text{Cu}) = 135 / 64 = 2.11,$$

что соответствует условию задачи. Цвет безводного хлорида меди (вещества **B**) – темно-коричневый, а водный раствор хлорида меди имеет зеленовато-синюю окраску. При добавлении к этому раствору аммиака образуется ярко-синий аммиачный комплекс меди(II) (соединение **C**):



При пропускании в раствор хлорида тетраамминмеди(II) сероводорода выпадает черный осадок сульфида меди(II) (вещество **D**):

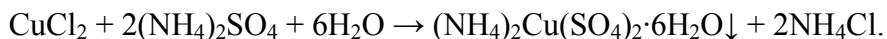


Сульфид меди(II) растворяется в горячей концентрированной азотной кислоте ($\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ – вещество **E**):



тогда вещество **E** – сульфат меди CuSO_4 .

При охлаждении раствора хлорида меди(II), содержащего сульфат аммония, происходит образование голубых кристаллов двойной соли меди и аммония (аналога соли Мора):

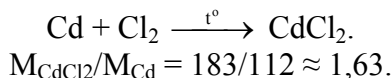


Ответ: **A** – Cu, **B** – CuCl_2 , **C** – $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]\text{Cl}_2$, **D** – CuS, **E** – $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$, образуются кристаллы $(\text{NH}_4)_2\text{Cu}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ голубого цвета.

7.4. Простое вещество **A** подвергли высокотемпературному хлорированию, масса образовавшегося бесцветного вещества **B** оказалась больше массы исходного вещества **A** в 1.63 раза. Бесцветный водный раствор вещества **B** обработали раствором щелочи. При этом образовался белый осадок **C**, хорошо растворимый в аммиаке с образованием вещества **D**. При пропускании в полученный аммиачный раствор сероводорода выпал желтый осадок **E**.

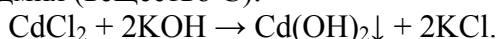
Какое вещество образуется при прокаливании белого осадка **С**? Какого оно цвета? Установите состав зашифрованных веществ и напишите уравнения всех упомянутых реакций. **(12 баллов)**

Решение. Можно предположить, что простое вещество **А** – переходный металл кадмий. На это указывает характерный цвет сульфида, а также то, что его гидроксид легко растворяется в аммиаке с образованием аммиачного комплекса. Большая часть соединений кадмия не окрашена, он проявляет только одну устойчивую степень окисления +2, что связано с особенностями его электронного строения ($3d^{10}$).

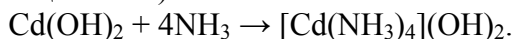


Это соответствует условию задачи.

Безводный хлорид кадмия (вещество **В**) бесцветен, водный раствор хлорида кадмия также не имеет окраски. При добавлении к раствору хлорида кадмия щелочи образуется белый осадок гидроксида кадмия (вещество **С**):



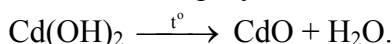
Гидроксид кадмия легко растворяется в аммиаке, образуя бесцветный аммиачный комплекс $[\text{Cd}(\text{NH}_3)_4](\text{OH})_2$ (вещество **Д**):



При пропускании в полученный аммиачный раствор сероводорода выпадает ярко-желтый осадок сульфида кадмия (вещество **Е**):



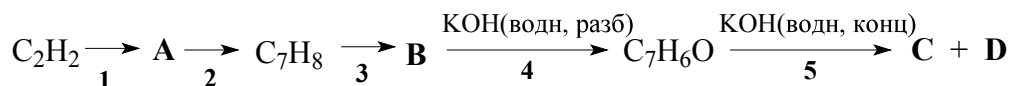
При прокаливании гидроксида кадмия образуется оксид, имеющий коричневый цвет:



Ответ: **А** – Cd, **В** – CdCl₂, **С** – Cd(OH)₂, **Д** – [Cd(NH₃)₄](OH)₂, **Е** – CdS; образуется CdO коричневого цвета.

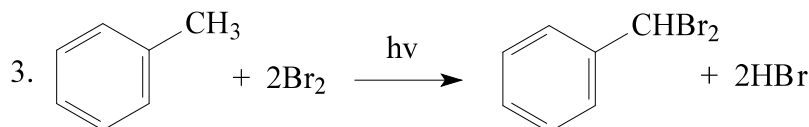
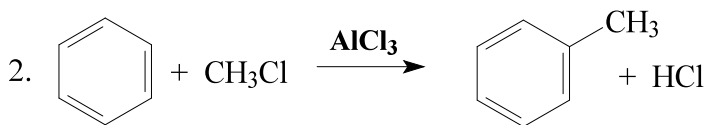
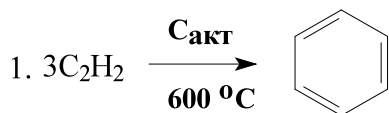
ЗАДАНИЕ 8

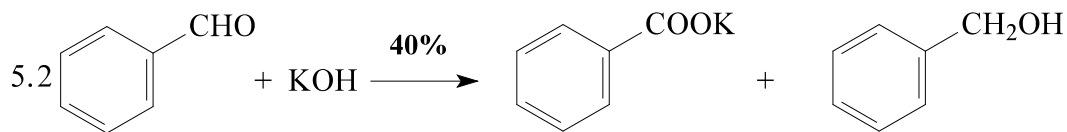
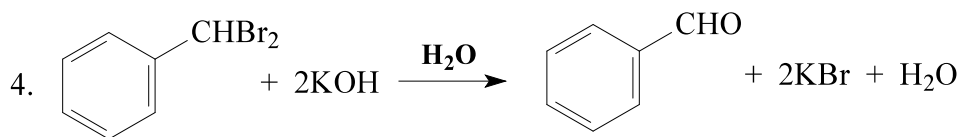
8.1. Запишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений, укажите условия их протекания. Расшифруйте неизвестные вещества.



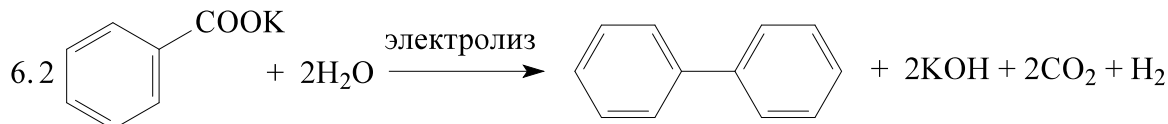
После обработки $\text{C}_7\text{H}_6\text{O}$ избытком концентрированного раствора щёлочи (реакция 5) была выделена эквимольная смесь соединений **С** и **Д**; водный раствор одного из них подвергли электролизу. Напишите уравнение электролиза, укажите процессы, протекающие на катоде и аноде. **(12 баллов)**

Решение.





(реакция Канниццаро),

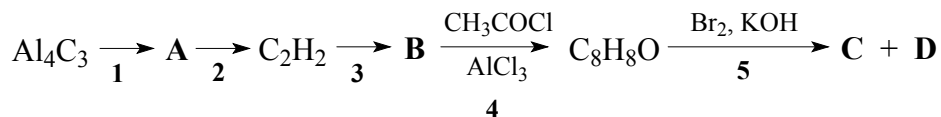


Процессы на электродах:

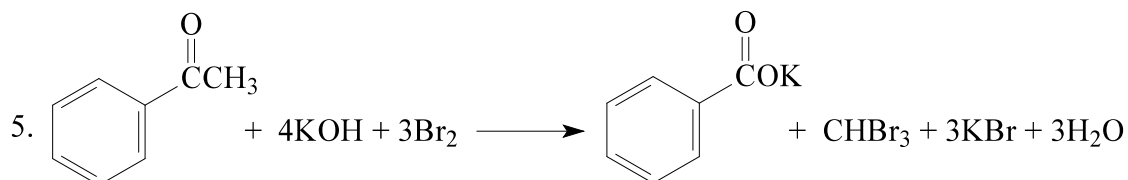
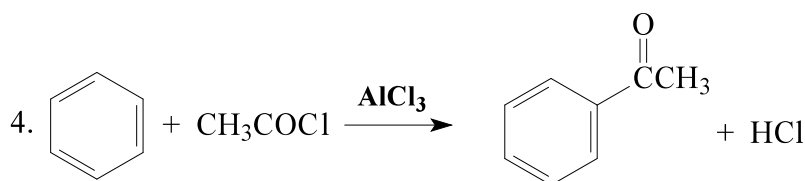
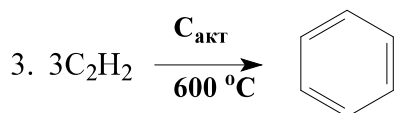
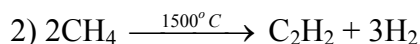
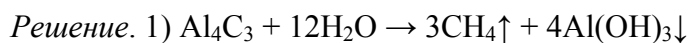
На катоде: $2\text{H}^+ + 2e \rightarrow \text{H}_2$

На аноде: $2\text{C}_6\text{H}_5\text{-COO}^- - 2e \rightarrow \text{C}_6\text{H}_5\text{-C}_6\text{H}_5 + 2\text{CO}_2\uparrow$.

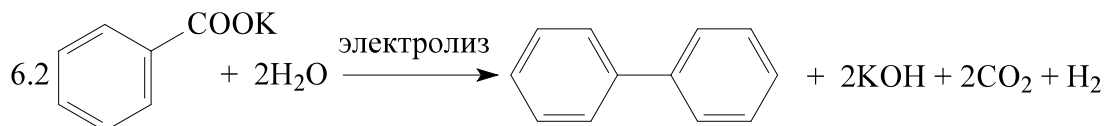
8.2. Запишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений, укажите условия их протекания. Расшифруйте неизвестные вещества.



После обработки C₈H₈O избытком брома в присутствии щёлочи (реакция 5) была выделена эквимольная смесь соединений **C** и **D**; водный раствор одного из них подвергли электролизу. Напишите уравнение электролиза, укажите процессы, протекающие на катоде и аноде. **(12 баллов)**



(галоформная реакция),

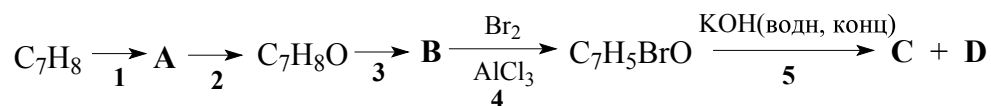


Процессы на электродах:

На катоде: $2\text{H}^+ + 2e \rightarrow \text{H}_2$

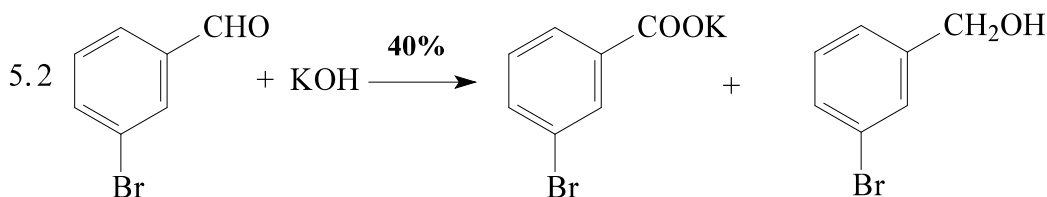
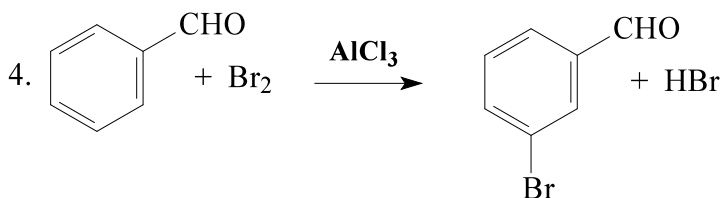
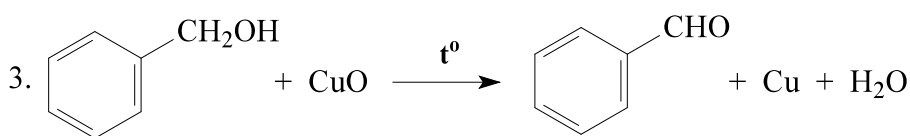
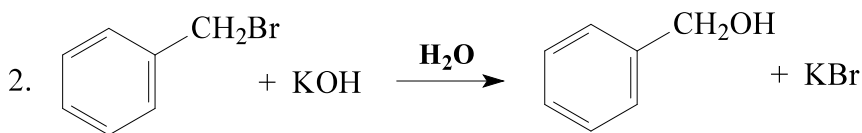
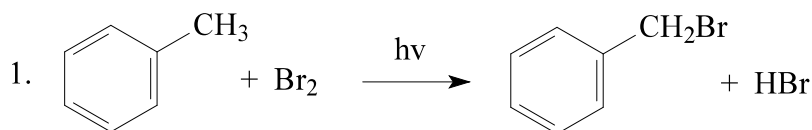
На аноде: $2\text{C}_6\text{H}_5\text{-COO}^- - 2e \rightarrow \text{C}_6\text{H}_5\text{-C}_6\text{H}_5 + 2\text{CO}_2\uparrow$.

8.3. Запишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений, укажите условия их протекания. Расшифруйте неизвестные вещества.

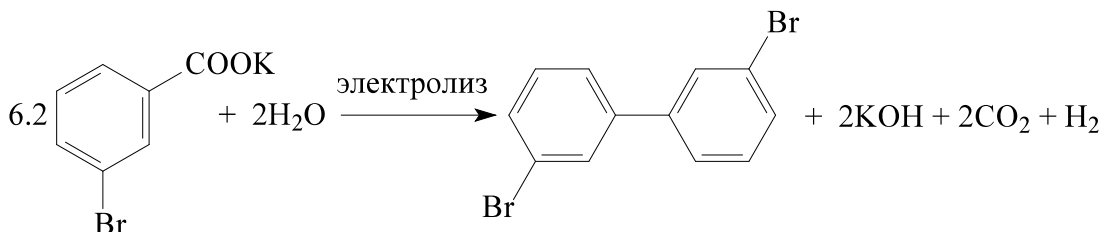


После обработки $\text{C}_7\text{H}_5\text{BrO}$ избытком концентрированного раствора щёлочи (реакция 5) была выделена эквимольная смесь соединений **C** и **D**; водный раствор одного из них подвергли электролизу. Напишите уравнение электролиза, укажите процессы, протекающие на катоде и аноде. (12 баллов)

Решение.



(реакция Канниццаро),

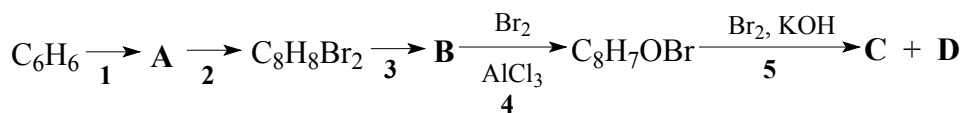


Процессы на электродах:

На катоде: $2\text{H}^+ + 2e \rightarrow \text{H}_2$

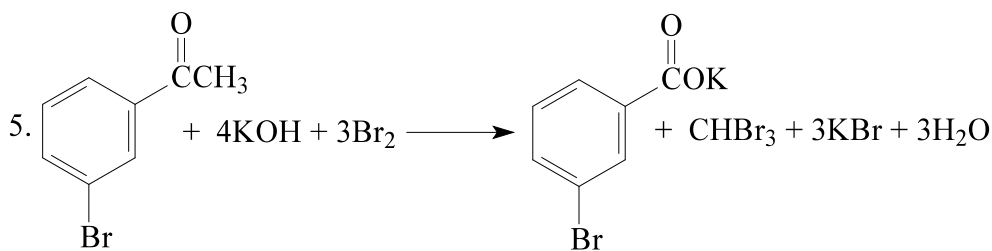
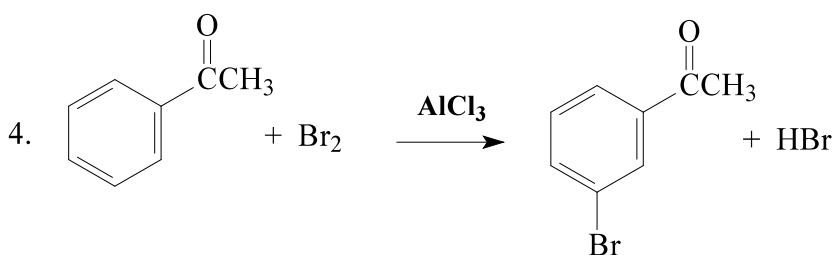
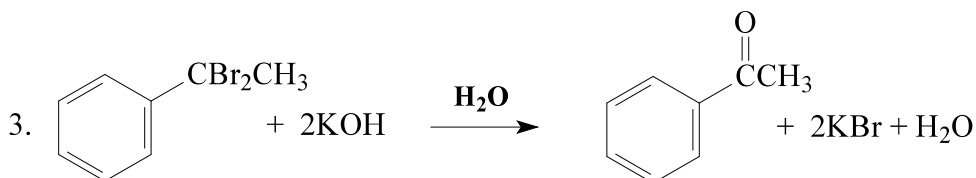
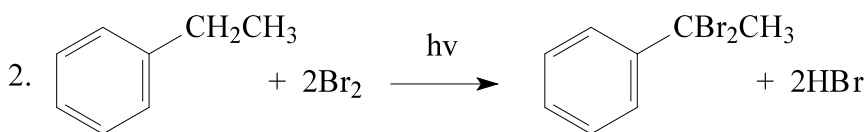
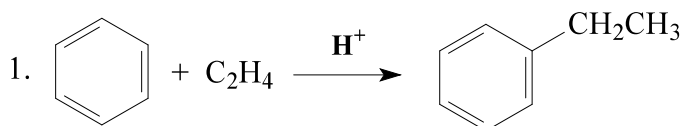
На аноде: $2\text{Br-C}_6\text{H}_4\text{-COO}^- - 2e \rightarrow \text{Br-C}_6\text{H}_4\text{-C}_6\text{H}_4\text{-Br} + 2\text{CO}_2\uparrow$.

8.4. Запишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений, укажите условия их протекания. Расшифруйте неизвестные вещества.

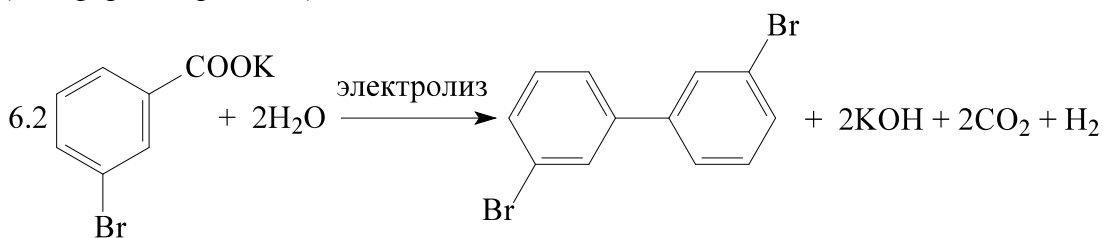


После обработки C_8H_8O избытком брома в присутствии щёлочи (реакция 5) была выделена эквимольная смесь соединений **C** и **D**; водный раствор одного из них подвергли электролизу. Напишите уравнение электролиза, укажите процессы, протекающие на катоде и аноде. **(12 баллов)**

Решение.



(галоформная реакция).



Процессы на электродах:

На катоде: $2H^+ + 2e \rightarrow H_2$

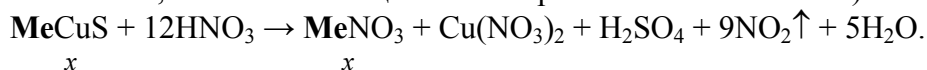
На аноде: $2Br-C_6H_4-COO^- - 2e \rightarrow Br-C_6H_4-C_6H_4-Br + 2CO_2\uparrow$.

Уважаемые участники олимпиады! Нам известно, что в тексте четвертого варианта задачи 8, который был размещен на сайте для решения, имелась опечатка: условия реакции 4 и ее продукт были указаны неверно. Мы приводим решение правильной цепочки. Пожалуйста, не волнуйтесь – эту задачу мы проверим с особым вниманием и постараемся сделать так, чтобы потери участников из-за нее были минимальны. Приносим вам свои извинения!

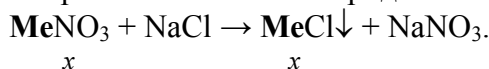
ЗАДАНИЕ 9

9.1. Образец массой 136 г, содержащий черный сульфидный минерал MeCuS с примесью кварцевого песка, обработали горячей концентрированной азотной кислотой. К раствору, образовавшемуся после обработки кислотой, добавили избыток раствора хлорида натрия. При этом образовалось 71.75 г белого осадка, содержащего 75.26% металла **Me** по массе. Белый осадок прокалили с карбонатом натрия при 900°C , образовавшийся твердый остаток промыли водой. Определите состав и массу вещества, оставшегося после промывания твердого остатка водой. Установите состав минерала и его содержание во взятом образце (в масс %). Напишите уравнения всех реакций. **(16 баллов)**

Решение. Кварцевый песок не реагирует с азотной кислотой. Взаимодействие минерала с кислотой можно представить следующим образом (предположим, что степень окисления металла **Me** не меняется, количество вещества минерала составляет x моль):



Выпадение осадка после обработки раствором хлорида натрия возможно только в случае, если образуется нерастворимый в кислоте хлорид металла **Me**:



По условию, в хлориде

$$\omega(\text{Me}) = M / (M + 35.5) = 0.7526.$$

Значит, молярная масса металла $M = 108$ г/моль, искомый металл – серебро, белый осадок – хлорид серебра, его количество составляет

$$x = \nu(\text{AgCl}) = 71.75 / 143.5 = 0.5 \text{ моль}.$$

Прокаливание хлорида серебра с карбонатом натрия:



При промывании водой твердого остатка после прокаливания хлорид натрия растворяется, остается только серебро. Масса серебра

$$m(\text{Ag}) = 0.5 \cdot 108 = 54 \text{ г}.$$

Минерал AgCuS – шромейерит, $\nu(\text{AgCuS}) = x = 0.5$ моль. Масса минерала

$$m = 0.5 \cdot 204 = 102 \text{ г}.$$

Содержание минерала в исходном образце

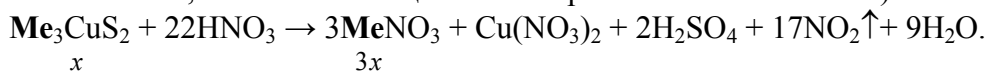
$$\omega = 102 / 136 = 0.75 \text{ (или 75\% по массе)}.$$

Ответ: Ag, 54 г, AgCuS , 75%.

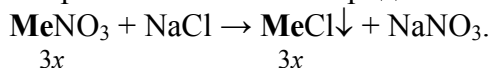
9.2. Образец массой 159.5 г, содержащий черный сульфидный минерал Me_3CuS_2 с примесью кварцевого песка, обработали горячей концентрированной азотной кислотой. К раствору, образовавшемуся после обработки кислотой, добавили избыток раствора хлорида натрия. При этом образовалось 129.15 г белого осадка, содержащего 75.26% металла **Me** по массе. Белый осадок прокалили с оксидом бария при 400°C , образовавшийся твердый остаток промыли водой. Определите состав и массу вещества, оставшегося после промывания

твердого остатка водой. Установите состав минерала и его содержание во взятом образце (в масс %). Напишите уравнения всех реакций. (16 баллов)

Решение. Кварцевый песок не реагирует с азотной кислотой. Взаимодействие минерала с кислотой можно представить следующим образом (предположим, что степень окисления металла **Me** не меняется, количество вещества минерала составляет x моль):



Выпадение осадка после обработки раствором хлорида натрия возможно только в случае, если образуется нерастворимый в кислоте хлорид металла **Me**:



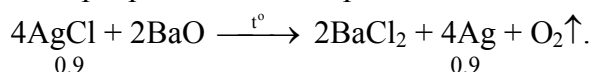
По условию, массовая доля металла в хлориде равна

$$\omega(\text{Me}) = M / (M + 35.5) = 0.7526.$$

Значит, молярная масса металла $M = 108$ г/моль, металл – серебро, белый осадок – хлорид серебра, его количество

$$v(\text{AgCl}) = 129.15 / 143.5 = 3x = 0.9 \text{ моль}.$$

Прокаливание хлорида серебра с оксидом бария:



При промывании водой твердого остатка после прокалывания хлорид бария растворяется, остается только серебро. Масса серебра составляет

$$m(\text{Ag}) = 0.9 \cdot 108 = 97.2 \text{ г}.$$

Минерал Ag_3CuS_2 – ялпаит, $v(\text{Ag}_3\text{CuS}_2) = x = 0.3$ моль. Масса минерала равна

$$m = 0.3 \cdot 452 = 135.6 \text{ г}.$$

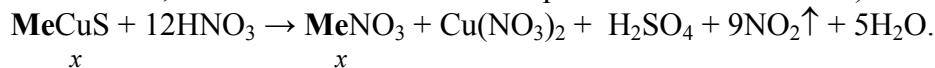
Содержание минерала в исходном образце

$$\omega = 135.6 / 159.5 = 0.85 \text{ (или 85\% по массе)}.$$

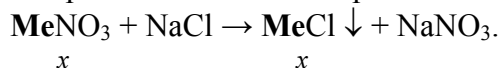
Ответ: Ag, 97.2 г, Ag_3CuS_2 , 85%.

9.3. Образец массой 99.5 г, содержащий черный сульфидный минерал MeCuS с примесью кварцевого песка, обработали горячей концентрированной азотной кислотой. К раствору, образовавшемуся после обработки кислотой, добавили избыток раствора хлорида натрия. При этом образовался белый осадок, содержащий 75.26% металла **Me** по массе. Для полного растворения осадка потребовалось 400 мл раствора тиосульфата натрия с концентрацией 2 моль/л. Определите состав и массу белого осадка. Установите состав минерала и его содержание во взятом образце (в масс %). Напишите уравнения всех реакций. (16 баллов)

Решение. Кварцевый песок не реагирует с азотной кислотой. Взаимодействие минерала с кислотой можно представить следующим образом (предположим, что степень окисления металла **Me** не меняется, количество вещества минерала составляет x моль):



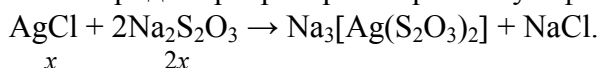
Выпадение осадка после обработки раствором хлорида натрия возможно только в случае, если образуется нерастворимый в кислоте хлорид металла **Me**:



По условию, массовая доля металла в хлориде равна

$$\omega(\text{Me}) = M / (M + 35.5) = 0.7526.$$

Значит, молярная масса металла $M = 108$ г/моль, металл – серебро, белый осадок – хлорид серебра. Растворение хлорида серебра в растворе тиосульфата натрия:



Для растворения осадка потребовалось тиосульфата натрия

$$v = 2 \cdot 0.4 = 2x = 0.8 \text{ моль,}$$

$$v(\text{AgCl}) = x = 0.4 \text{ моль.}$$

Масса осадка хлорида серебра равна

$$m(\text{AgCl}) = 0.4 \cdot 108 = 43.2 \text{ г.}$$

Минерал AgCuS – шромейерит, $v(\text{AgCuS}) = x = 0.4$ моль. Масса минерала составляет

$$m = 0.4 \cdot 204 = 81.6 \text{ г.}$$

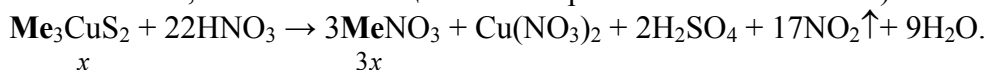
Содержание его в образце

$$\omega = 81.6 / 99.5 = 0.82 \text{ (или 82\%).}$$

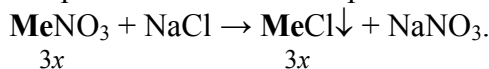
Ответ: AgCl , 43.2 г, AgCuS , 82%.

9.4. Образец массой 50 г, содержащий черный сульфидный минерал Me_3CuS_2 с примесью кварцевого песка, обработали горячей концентрированной азотной кислотой. К раствору, образовавшемуся после обработки кислотой, добавили избыток раствора хлорида натрия. При этом образовался белый осадок, содержащий 75.26% металла **Me** по массе. Для полного растворения осадка потребовалось 500 мл раствора цианида калия с концентрацией 1.2 моль/л. Определите состав и массу белого осадка. Установите состав минерала и его содержание во взятом образце (в масс %). Напишите уравнения всех реакций. **(16 баллов)**

Решение. Кварцевый песок не реагирует с азотной кислотой. Взаимодействие минерала с кислотой можно представить следующим образом (предположим, что степень окисления металла **Me** не меняется, количество вещества минерала составляет x моль):



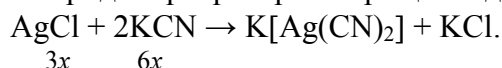
Выпадение осадка после обработки раствором хлорида натрия возможно только в случае, если образуется нерастворимый в кислоте хлорид металла **Me**:



По условию задачи, массовая доля металла в осадке

$$\omega(\text{Me}) = M / (M + 35.5) = 0.7526.$$

Значит, молярная масса металла $M = 108$ г/моль, металл – серебро, белый осадок – хлорид серебра. Растворение хлорида серебра в растворе цианида калия:



Для растворения осадка потребовалось $1.2 \cdot 0.5 = 6x = 0.6$ моль цианида калия. Значит

$$v(\text{AgCl}) = 3x = 0.3 \text{ моль.}$$

Масса осадка хлорида серебра

$$m(\text{AgCl}) = 0.3 \cdot 143.5 = 43.05 \text{ г.}$$

Минерал Ag_3CuS_2 – ялпаит, $v(\text{Ag}_3\text{CuS}_2) = x = 0.1$ моль. Масса минерала составляет

$$m = 0.1 \cdot 452 = 45.2 \text{ г.}$$

Содержание его в образце равно

$$\omega = 45.2 / 50 = 0.904 \text{ (или 90.4\% по массе).}$$

Ответ: AgCl , 43.05 г, Ag_3CuS_2 , 90.4%.

ЗАДАНИЕ 10

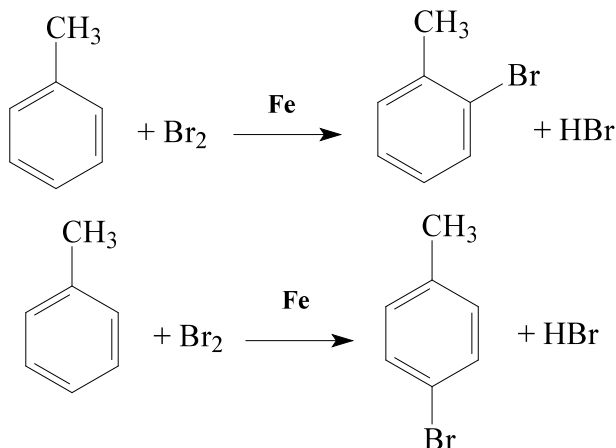
10.1. В 1924 г. компания Dow Chemical разработала процесс получения фенола, включающий реакцию хлорирования бензола и последующий гидролиз монохлорбензола, который в отсутствие катализатора протекает при 360-400°C и давлении свыше 300 атм. Рассчитайте выход продуктов монобромирования неизвестного монозамещённого циклического углеводорода в присутствии железа по каждому направлению, если известно, что массовая доля углерода в углеводороде составляет 91.30%, а при моногалогенировании и дальнейшем

нагревании до 380°C с 20%-ным раствором щёлочи при давлении 360 атм было выделено 3 изомера в молярном соотношении 1 : 5 : 4. Напишите уравнения протекающих реакций. (16 баллов)

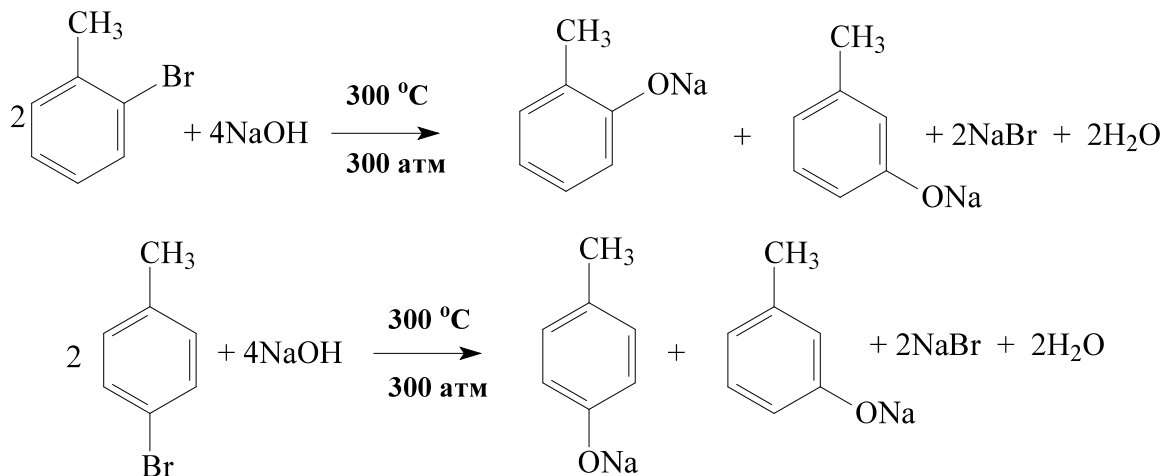
Решение. Определим простейшую формулу неизвестного углеводорода C_xH_y :

$$x : y = \frac{91.30}{12} : \frac{8.70}{1} = 1 : 1.143 \text{ или } 7 : 8.$$

Следовательно, неизвестный углеводород – толуол C_7H_8 . При каталитическом бромировании толуола образуется смесь *орто*- и *пара*-замещённых продуктов:



Обработка полученной смеси гидроксидом натрия приводит к образованию трех изомерных фенолятов:



То, что в каждой реакции образуются два продукта, объясняется протеканием процесса через стадию отщепления бромоводорода (образования дегидробензола) и последующее присоединение нуклеофила, что приводит к получению смеси двух региоизомеров в соотношении 1 : 1.

Очевидно, что при бромировании толуола продукт *орто*-замещения (2-бромтолуол) образуется в меньшем количестве, следовательно, в конечной реакционной смеси соль 2-метилфенола присутствует в наименьшем количестве, а в бóльшем количестве – соль 3-метилфенола. Следовательно, соотношение количеств 2-бромтолуола и 4-бромтолуола составляет 1 : 4, выход реакции *орто*-замещения равен 20%, а реакции *пара*-замещения – 80%.

Ответ: *орто*-бромирование – 20%, *пара*-бромирование – 80%.

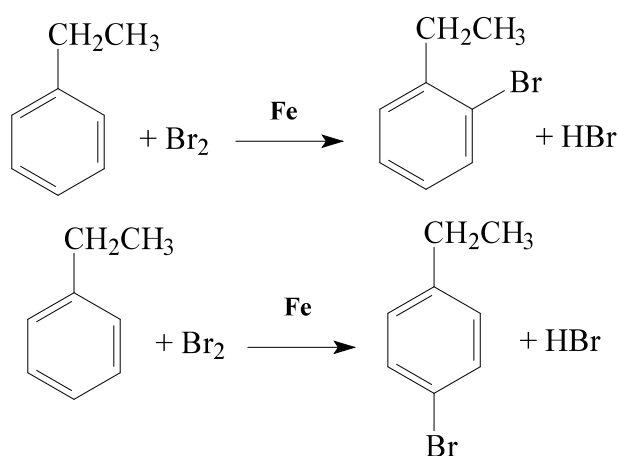
10.2. В 1924 г. компания Dow Chemical разработала процесс получения фенола, включающий реакцию хлорирования бензола и последующий гидролиз монохлорбензола, который в отсутствие катализатора протекает при 360-400°C и давлении свыше 300 атм. Рассчитайте выход продуктов монобromирования неизвестного монозамещённого углеводорода в присутствии железа по каждому направлению, если известно, что массовая доля водорода в углеводороде составляет 9.43%, а при моногалогенировании и дальнейшем нагревании до 380°C с 25%-ным раствором щёлочи при давлении 360 атм было выделено 3 изомера в молярном соотношении 0.15 : 1 : 0.85. Напишите уравнения протекающих реакций.

(16 баллов)

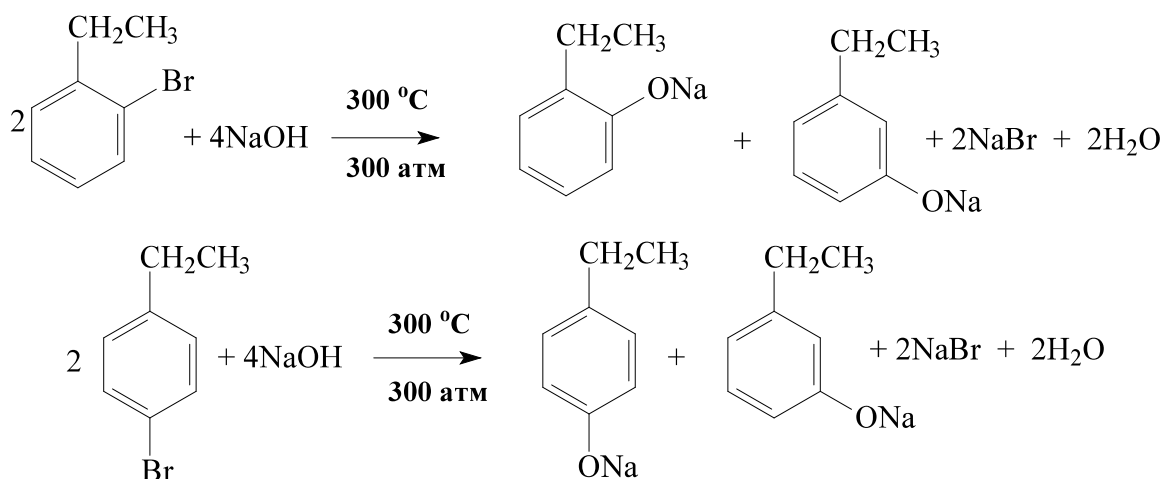
Решение. Определим простейшую формулу неизвестного углеводорода C_xH_y :

$$x : y = \frac{90.57}{12} : \frac{9.43}{1} = 1 : 1.25 \text{ или } 8 : 10.$$

Следовательно, неизвестный углеводород – этилбензол C_8H_{10} . При каталитическом бромировании этилбензола образуется смесь *орто*- и *пара*-замещённых продуктов:



При обработке полученной смеси гидроксидом натрия образуются три изомерных фенолята:



То, что в каждой реакции получают два продукта, объясняется протеканием процесса через стадию отщепления бромоводорода (образования дегидробензола) и последующее присоединение нуклеофила, что приводит к образованию смеси двух региоизомеров в соотношении 1 : 1.

Очевидно, что при бромировании этилбензола продукт реакции *орто*-замещения образуется в меньшем количестве, следовательно, в конечной реакционной смеси меньше всего соли 2-этилфенола, а больше всего – соли 3-этилфенола. Следовательно, соотношение

2-бромэтилбензола и 4-бромэтилбензола равно 0.15 : 0.85, и выход реакции *орто*-замещения равен 15%, а реакции *пара*-замещения – 85%.

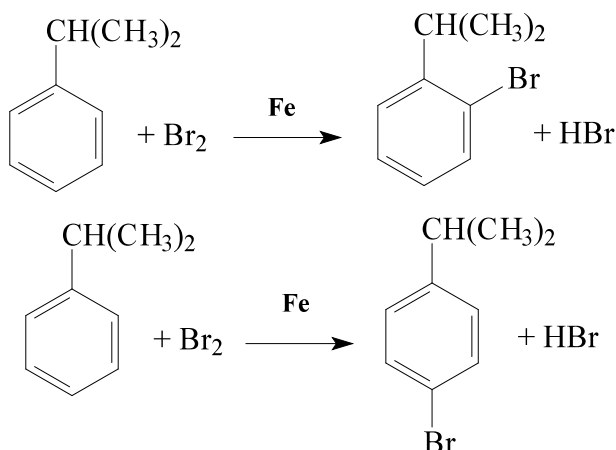
Ответ: *орто*-бромирование – 15%, *пара*-бромирование – 85%.

10.3. В 1924 г. компания Dow Chemical разработала процесс получения фенола, включающий реакцию хлорирования бензола и последующий гидролиз монохлорбензола, который в отсутствие катализатора протекает при 360-400°C и давлении свыше 300 атм. Рассчитайте выход продуктов монобромирования неизвестного монозамещённого углеводорода в присутствии железа по каждому направлению, если известно, что массовая доля углерода в углеводороде составляет 90.00%, а при моногалогенировании и дальнейшем нагревании до 380°C с 20%-ным раствором щёлочи при давлении 360 атм было выделено 3 изомера в молярном соотношении 1 : 10 : 9. Напишите уравнения протекающих реакций. **(16 баллов)**

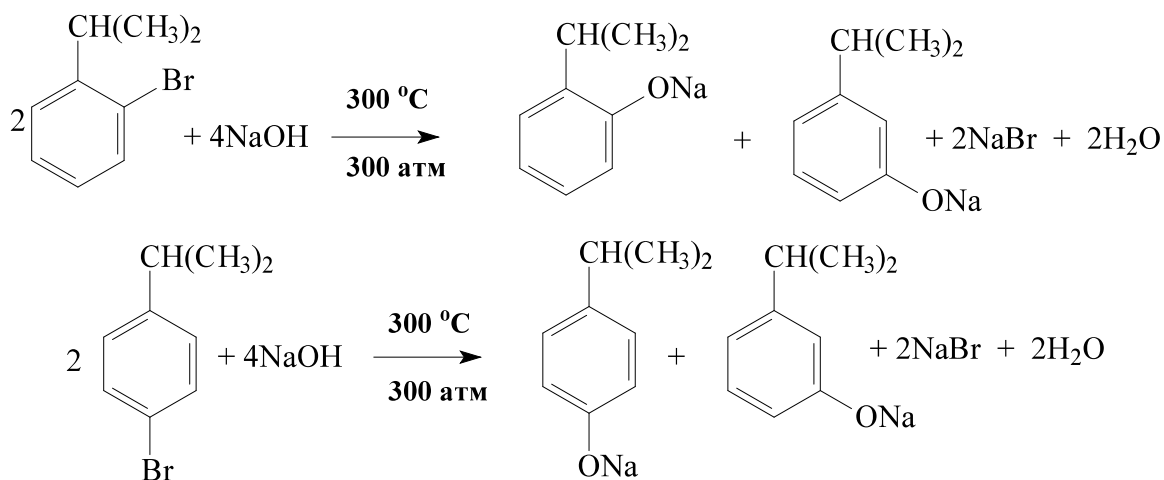
Решение. Определим простейшую формулу неизвестного углеводорода C_xH_y :

$$x : y = \frac{90.00}{12} : \frac{9.10}{1} = 1 : 1.333 \text{ или } 9 : 12.$$

Следовательно, неизвестный углеводород – пропилбензол или изопропилбензол (кумол) C_9H_{12} . Бромирование, например, изопропилбензола дает смесь *орто*- и *пара*-замещённых продуктов:



При обработке полученной смеси гидроксидом натрия образуются три изомерных фенолята:



То, что в каждой реакции получают два продукта, объясняется протеканием процесса через стадию отщепления бромоводорода (образования дегидробензола) и последующее

присоединение нуклеофила, что приводит к образованию смеси двух региоизомеров в соотношении 1 : 1.

Очевидно, что при бромировании изопропилбензола продукт *орто*-замещения образуется в меньшем количестве, следовательно, в конечной реакционной смеси меньше всего соли 2-изопропилфенола, а больше всего – соли 3-изопропилфенола. Следовательно, соотношение 2-бромкумола и 4-бромкумола равно 1 : 9, и выход реакции *орто*-замещения равен 10%, а реакции *пара*-замещения – 90%.

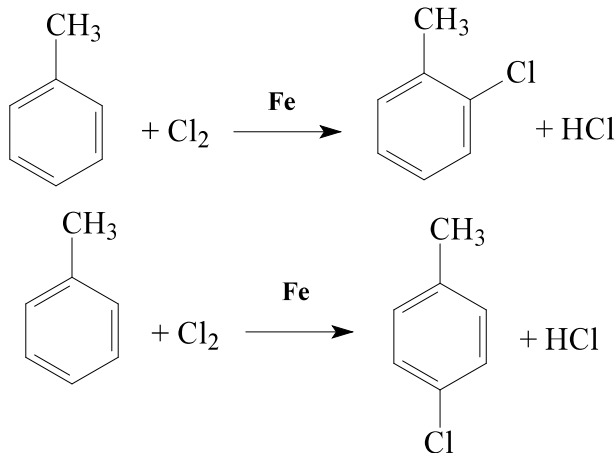
Ответ: *орто*-бромирование – 10%, *пара*-бромирование – 90%.

10.4. В 1924 г. компания Dow Chemical разработала процесс получения фенола, включающий реакцию хлорирования бензола и последующий гидролиз монохлорбензола, который в отсутствие катализатора протекает при 360-400°C и давлении свыше 300 атм. Рассчитайте выход продуктов монохлорирования неизвестного монозамещённого углеводорода в присутствии железа по каждому направлению, если известно, что массовая доля водорода в нём составляет 8.69%, а при моногалогенировании и дальнейшем нагревании до 380°C с 30%-ным раствором щёлочи при давлении 380 атм было выделено 3 изомера в молярном соотношении 3 : 10 : 7. Напишите уравнения протекающих реакций. **(16 баллов)**

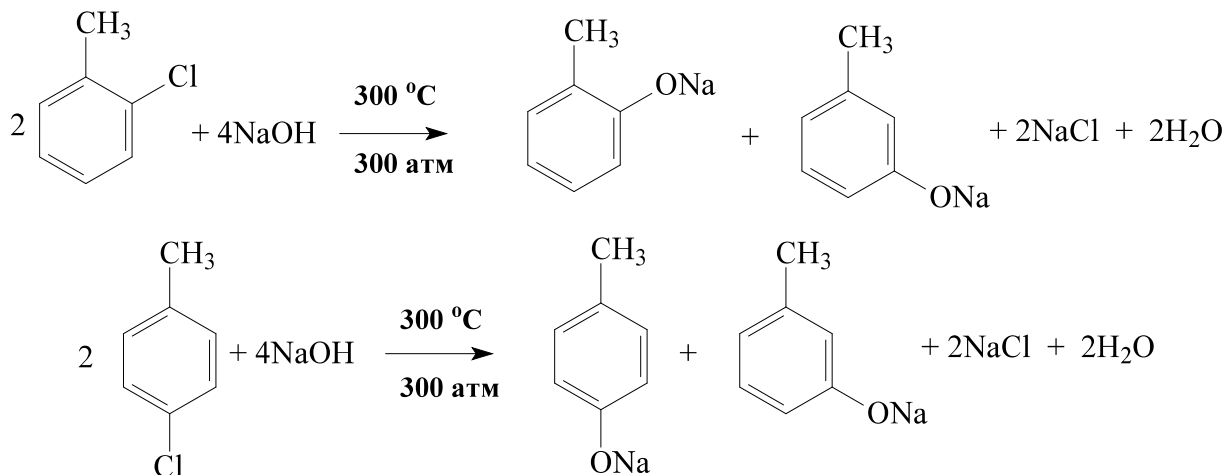
Решение. Определим простейшую формулу неизвестного углеводорода C_xH_y :

$$x : y = \frac{91.31}{12} : \frac{8.69}{1} = 1 : 1.143 \text{ или } 7 : 8.$$

Следовательно, неизвестный углеводород – толуол C_7H_8 . Каталитическое хлорирование толуола дает смесь *орто*- и *пара*- замещённых продуктов:



Обработка полученной смеси гидроксидом натрия приводит к получению трех изомерных фенолятов:



То, что в каждой реакции образуются два продукта, объясняется протеканием процесса через стадию отщепления бромоводорода (образования дегидробензола) и последующее присоединение нуклеофила, что приводит к образованию смеси двух региоизомеров в соотношении 1 : 1.

Очевидно, что при хлорировании толуола продукт реакции *орто*-замещения образуется в меньшем количестве, следовательно, в конечной реакционной смеси меньше всего соли 2-метилфенола, а больше всего – соли 3-метилфенола. Следовательно, соотношение 2-хлортолуола и 4-хлортолуола равно 3 : 7 и выход реакции *орто*-замещения равен 30%, а реакции *пара*-замещения – 70%.

Ответ: *орто*-хлорирование – 30%, *пара*-хлорирование – 70%.