11 класс

Задание 1.

В кружке Юный Химик два школьника провели следующие опыты.

10 г хлорида натрия поместили в сосуд для получения газов и залили избытком концентрированной серной кислоты. Образовавшийся хлороводород был пропущен через 10,6 г многоатомного спирта. Предварительно было рассчитано, что полученного хлороводорода будет достаточно только для образования монохлорпроизводного.

Помогите школьникам рассчитать, какой объем паров этанола следует добавить к 1 л образующегося соединения, чтобы плотность полученной газовой смеси была бы равна плотности оксида серы (IV) (при тех же условиях)?

Решение

1. $2NaCl_{(тв)} + H_2SO_{4(к)} \rightarrow Na_2SO_4 + 2HCl$

$R(OH)_n + HCl \rightarrow R(OH)_{n-1}Cl + H_2O$

2. ν(NaCl) = 10/58,5 = 0,171 моль

ν(ROH) = ν(HCl) = ν(NaCl) = 0,171 моль, =>

M(ROH) = 10,6/0,171 = 62 г/моль

Если n = 2, $M(R(OH)_2)$ = 62, M(R) = 62-34 = 28, => n(C) = 2, => $CH_2(OH)CH_2(OH)$ – этиленгликоль.

3. Плотности газовых смесей равны, если равны их молярные массы => молярная масса конечной газовой смеси должна быть равна молярной массе SO_2, т.е. 64 г/моль.

$M(R(OH)_{n-1}Cl)$ = 62-17+35,5 = 80,5 г/моль, $M(C_2H_5OH)$ = 46 г/моль

Пусть $V(C_2H_5OH)$ = x л, тогда

$$M = \frac{80{,}5 \cdot 1 + x \cdot 46}{1 + x} = 64$$

x = 0,92 л

Критерии оценивания:

1. Написаны уравнения –	по 1 баллу –	2 балла
2. Найдена формула многоатомного спирта –		4 балла
3. Вычислен объем паров этанола –		4 балла
ИТОГО		10 баллов

Задание 2.

Расшифруйте схемы превращений:

$$А \xrightarrow{+Cl_2} Б \xrightarrow{+Cl_2} В$$

$$А \xrightarrow{+Г} Д \xrightarrow{+Г} SO_3 \xrightarrow{+Е} Ж$$

$$Д \xrightarrow{+Cl_2} З \xrightarrow{+Е} Ж + И$$

$$SO_3 \xrightarrow{+И} К \xrightarrow{+Е} ?$$

$$Л \xrightarrow{+Д} А + Е$$

$$Б \xrightarrow{+Е} ?$$

$$В \xrightarrow{+Е} ?$$

Решение

Поскольку во 2-ой цепочке одним из веществ является оксид серы (VI), то в задании представлены превращения серы. Вещество Е повторяется многократно, вероятнее всего, это вода, А – это сера, Б и В – хлорпроизводные серы, Ж – серная кислота, Д – диоксид серы, Г – кислород.

1) $2S + Cl_2 = S_2Cl_2$ (Б)

$S_2Cl_2 + Cl_2 = 2\ SCl_2$ (В)

2) $S + O_2 = SO_2$ (Д)

$2\ SO_2 + O_2 = 2\ SO_3$

$SO_3 + H_2O = H_2SO_4$ (Ж)

3) $SO_2 + Cl_2 = SO_2Cl_2$ (З)

$SO_2Cl_2 + H_2O = H_2SO_4 + 2HCl$ (И)

4) $SO_3 + HCl = HSO_3Cl$ (К)

$HSO_3Cl + H_2O = H_2SO_4 + HCl$

5) $2\ H_2S + SO_2 = S + H_2O$

6) $2\ S_2Cl_2 + 2\ H_2O = 3\ S + SO_2 + 4\ HCl$

7) $2\ SCl_2 + 2\ H_2O = S + SO_2 + 4\ HCl$

Критерии оценивания:

1) За каждое правильно угаданное вещество А - И – 0,5 балла, всего – 8 · 0,5 = 4 балла

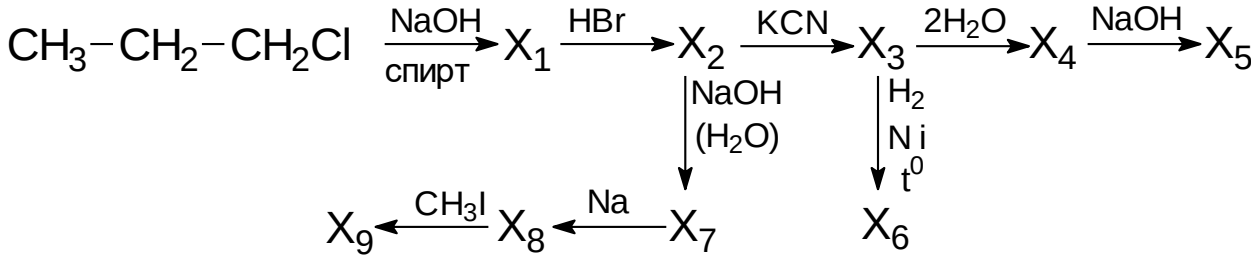
За вещество К – 1 балл

2) За каждое уравнение - 1 балл, всего 12 баллов

ИТОГО: 17 баллов

Задание 3.

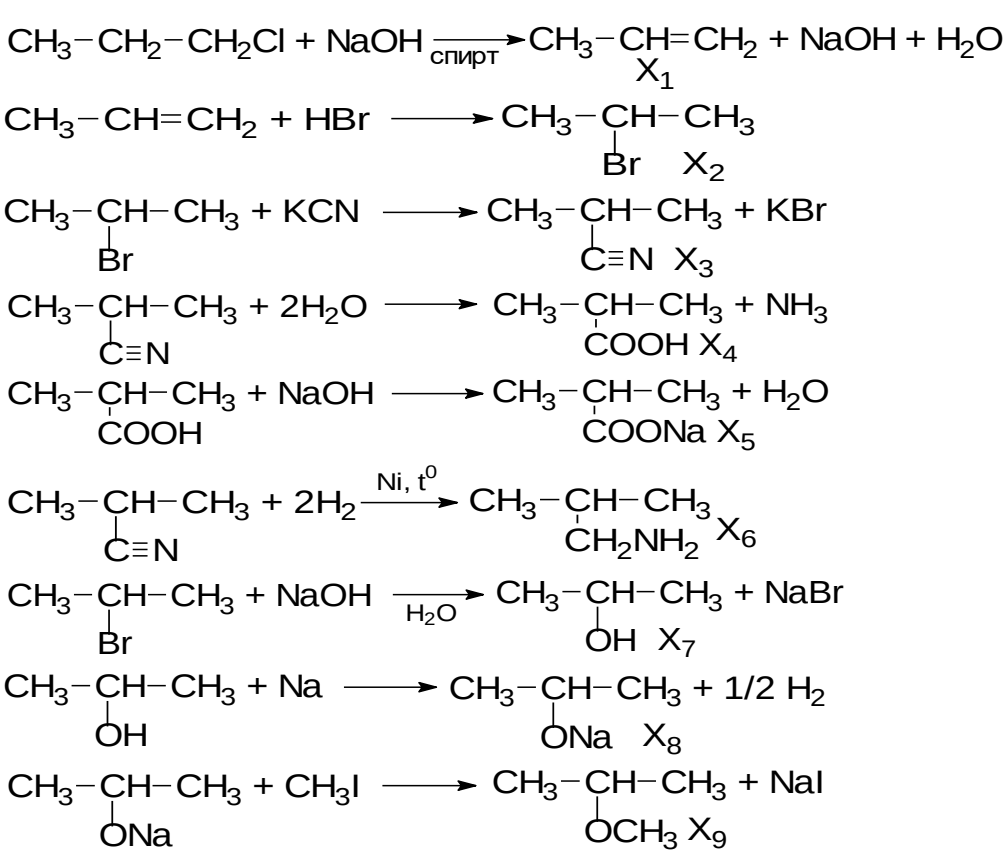
Напишите уравнения реакций следующих превращений:



Назовите вещество X_4.

Решение

X_4 – 2-метилпропановая кислота (изомасляная, α-метилпропионовая)



Критерии оценивания:

1) За правильно названное вещество X_4 - 1 балл

2) За каждое уравнение реакции - по 1 баллу, всего 9 баллов

ИТОГО: **10 баллов**

Задание 4.

Один Юный химик полностью растворил в водном растворе спирта с концентрацией 96% щелочной металл. При этом выделилось 6,72 л (н.у.) газа, и масса раствора увеличилась на 13,2 г. Получившийся раствор он разбавил водой в 2 раза, а затем жидкость отогнал. Далее Юный химик выделил сухой остаток и, подумав, обработал его раствором фосфорной кислоты массой 196 г с массовой долей 20%. Помогите Юному химику рассчитать массовую долю веществ в конечном растворе.

Решение

1. Поскольку раствор спирта содержит воду, то щелочной металл сначала взаимодействует с ней как с более сильным электролитом:

$$2Me + 2H_2O \rightarrow 2MeOH + H_2 \quad (1)$$

Когда вода израсходуется, в реакцию вступит этиловый спирт:

$$2Me + 2C_2H_5OH \rightarrow 2C_2H_5OMe + H_2. \quad (2)$$

В результате весь щелочной металл перейдет в раствор, масса раствора при этом увеличится. Но поскольку реакции протекают с выделением водорода, то одновременно произойдет и уменьшение массы раствора.

$\nu(H_2) = 6{,}72/22{,}4 = 0{,}3$ моль, => $\nu(Me) = 0{,}3 \cdot 2 = 0{,}6$ моль

$m(H_2) = 0{,}3 \cdot 2 = 0{,}6$ г, => $m(Me) = 13{,}2 + 0{,}6 = 13{,}8$ г, =>

$M(Me) = 13{,}8 / 0{,}6 = 23$ г/моль, => Me = Na.

2. При разбавлении раствора водой получившийся этилат натрия полностью гидролизуется:

$$C_2H_5ONa + H_2O \rightarrow C_2H_5OH + NaOH. \quad (3)$$

После отгонки жидкости сухой остаток – это гидроксид натрия.

$\nu(Na) = \nu(NaOH) = 0{,}6$ моль, $m(NaOH) = 0{,}6 \cdot 40 = 24$ г

3. При взаимодействии гидроксида натрия с фосфорной кислотой возможно образование 3-х солей:

$H_3PO_4 + NaOH \rightarrow NaH_2PO_4 + H_2O$ (4)

$H_3PO_4 + 2NaOH \rightarrow Na_2HPO_4 + 2H_2O$ (5)

$H_3PO_4 + 3NaOH \rightarrow Na_3PO_4 + 3H_2O$ (6)

или

$H_3PO_4 + NaOH \rightarrow NaH_2PO_4 + H_2O$ (4)

$NaH_2PO_4 + NaOH \rightarrow Na_2HPO_4 + H_2O$ (7)

$Na_2HPO_4 + NaOH \rightarrow Na_3PO_4 + H_2O$ (8)

По условию, $\nu(H_3PO_4) = 196 \cdot 0{,}2 / 98 = 0{,}4$ моль, => вся фосфорная кислота вступает в реакцию с гидроксидом натрия с образованием NaH_2PO_4, а затем оставшийся гидроксид натрия прореагирует с NaH_2PO_4 с образованием Na_2HPO_4

$\nu(NaH_2PO_4) = \nu(H_3PO_4) = 0{,}4$ моль,

$\nu(Na_2HPO_4) = \nu(NaOH)_{ост} = 0{,}6 – 0{,}4 = 0{,}2$ моль, $m(Na_2HPO_4) = 28{,}4$ г

$\nu(NaH_2PO_4)_{ост} = 0{,}4 – 0{,}2 = 0{,}2$ моль, $m(NaH_2PO_4) = 24$ г.

4. Масса раствора будет складываться из массы сухого остатка (гидроксида натрия) и массы раствора фосфорной кислоты:

m(р-ра) = 24 + 196 = 220 г

$\omega(NaH_2PO_4) = 24 / 220 = 0{,}109$ (10,9%)

$\omega(Na_2HPO_4) = 28{,}4 / 220 = 0{,}129$ (12,9%)

Критерии оценивания:

1) уравнения взаимодействия металла с водой и со спиртом — по 0,5 балла, всего 1 балл
2) вычисление количества металла — 0,5 балла
3) нахождение щелочного металла — 1 балл
4) вычисление количества и массы гидроксида натрия — по 0,5 балла, всего 1 балл
5) возможные продукты взаимодействия взаимодействия гидроксида натрия с фосфорной кислотой — 1,5 балла
6) определение продуктов взаимодействия фосфорной кислоты

с гидроксидом натрия	1,5 балла
7) расчет масс NaH_2PO_4 и Na_2HPO_4	по 0,75 балла, всего 1,5 балла
8) расчет массы раствора	1 балл
9) расчет массовой доли солей	по 0,5 баллов, всего 1 балл
ИТОГО:	**10 баллов**

Задание 5.

В кружке Юный Химик преподаватель предложил участникам решить следующую экспериментальную задачу.

Гидроксид неизвестного металла преподаватель на глазах школьников смешал с раствором соединения калия. Проанализировав раствор, ребята убедились, что единственным катионом в нем является K^+.

Из части раствора объемом 50 мл преподаватель осадил катионы калия в виде соединения $K_2[PtCl_6]$. Выделив осадок, ребята определили его массу. Она оказалась – 1,48 г.

К другой части раствора равного объема преподаватель прибавил 25 мл концентрированной соляной кислоты. Ребята снова принялись за исследования и обнаружили в полученном растворе ионы исходного неизвестного металла X^{n+}.

Далее преподаватель подсказал ребятам, что осадить ионы неизвестного металла X^{n+} можно раствором фосфата натрия. Для их полного осаждения школьникам потребовалось 40 мл раствора фосфата натрия с концентрацией 0,05 моль/л. Масса выпавшего при этом осадка составила 0,245 г.

Помогите юным химикам:

1) определить состав соединения, образующегося при смешении соединения калия с гидроксидом неизвестного металла. Назовите это соединение.

2) определить какие еще соединения могут образовываться в полученном растворе?

Решение

1. $\nu(K_2[PtCl_6]) = 1,48 / 486 = 0,003$ моль, => $\nu(K^+) = 0,006$ моль

2. При осаждении катиона неизвестного металла в осадок выпадал фосфат металла:

$$3X^{n+} + nPO_4^{3-} \rightarrow X_3(PO_4)_n$$

$\nu(Na_3PO_4) = 0,04 \cdot 0,05 = \nu(PO_4^{3-}) = 0,002$ моль

$\nu(X_3(PO_4)_n = \nu(PO_4^{3-}) / n = 0,002 / n$ моль

$M(X_3(PO_4)_n) = (0,245 / 0,002) \cdot n = 122,5 \cdot n = M(X) \cdot 3 + 95 \cdot n$

$27,5 \cdot n = 3M(X)$

$M(X) = 9,167n$, где n – валентность металла.

Если n = 1, то $M(X) \approx 9$ г/моль – это бериллий. Но бериллий не может иметь валентность, равную 1, поэтому этот ответ не удовлетворяет условию задачи.

Если n = 2, то $M(X) \approx 18$ г/моль – такого металла нет.

Если n = 3, то $M(X) \approx 27$ г/моль – это алюминий, => неизвестный металл – алюминий, => $Al(OH)_3$ смешивали с раствором соединения калия, => При взаимодействии с фосфатом натрия в осадок выпадал фосфат алюминия, => $\nu(AlPO_4) = \nu(Al^{3+}) = 0,002$ моль.

3. Единственным соединением калия, в котором растворяется гидроксид алюминия является гидроксид калия. При этом образуется комплексное соединение, о существовании которого в растворе говорит отсутствие катионов алюминия. При взаимодействии гидроксида алюминия с гидроксидом калия может образоваться только гидроксокомплекс.

$\nu(K^+) : \nu(Al^{3+}) = 0{,}006 : 0{,}002 = 3 : 1$, => заряд комплексного аниона, в состав которого входит алюминий, равен “3-“, => искомое соединение – гексагидроксоалюминат калия – $K_3[Al(OH)_6]$.

Помимо данного комплексного соединения в растворе могут находится и другие гидроксокомплексы алюминия: $K[Al(OH)_4]$, $K[Al(OH)_4(H_2O)_2]$.

Критерии оценивания:

1) определение количества катиона калия	- 2 балла
2) определение неизвестного металла	- 3 балла
3) определение количества катиона алюминия	- 2 балла
4) определение состава соединения и его названия	- по 1 баллу, всего 2 балла
5) написание других возможных комплексных соединений	- по 0,5 баллов, всего 1 балл
ИТОГО:	**10 баллов**