

Вариант 2

1.2. Приведите структурную формулу кислоты, в состав которой входит анион ЭO_2^- , содержащий 34 электрона. Укажите степень окисления атома Э (6 баллов).

Решение: $Z = 34 - (2 \cdot 8 + 1) = 17$, элемент Э – хлор, анион – ClO_2^- . В состав хлорноватой кислоты HClO_2 входит Cl^{+3} . Структурная формула кислоты:

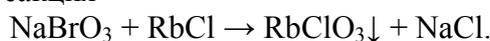


2.1. Представьте в общепринятом виде и назовите соединение $\text{H}_{14}\text{O}_2\text{N}_4\text{Cu}$ (6 баллов).

Ответ: $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4](\text{OH})_2$ гидроксид тетраамминмеди(II).

3.4. При смешении 200 мл раствора бромата натрия с концентрацией 0.5 моль/л и 100 мл раствора хлорида рубидия с концентрацией 0.25 моль/л выпал осадок RbBrO_3 . Определите его массу, если произведение растворимости RbBrO_3 составляет $2.0 \cdot 10^{-2}$, объемом осадка можно пренебречь (8 баллов).

Решение. Происходит реакция



Исходные количества солей составляют

$$v(\text{NaBrO}_3) = c \cdot V = 0.5 \cdot 0.2 = 0.1 \text{ моль};$$

$$v(\text{RbCl}) = 0.25 \cdot 0.1 = 0.025 \text{ моль}.$$

Объем образовавшегося раствора равен $0.2 + 0.1 = 0.3$ л (объемом образовавшегося осадка пренебрегаем).

Пусть выпало x моль осадка RbBrO_3 . Тогда произведение концентраций ионов Rb^+ и BrO_3^- в растворе должно равняться произведению растворимости RbBrO_3 :

$$\text{ПР} = [\text{Rb}^+][\text{BrO}_3^-] = \frac{(0.1 - x)}{0.3} \cdot \frac{(0.025 - x)}{0.3} = 2.0 \cdot 10^{-2}.$$

Получилось квадратное уравнение:

$$x^2 - 0.125x + 0.0007 = 0.$$

$$D = 0.0156 - 0.0028 = 0.0128.$$

$$x_{1,2} = \frac{0.125 \pm 0.113}{2}$$

Корни уравнения: $x_1 = 0.0628$ и $x_2 = 0.006$ (моль).

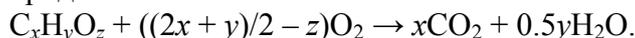
Первый корень не подходит, т. к. $0.0628 > 0.025$ и итоговая концентрация бромат-аниона окажется отрицательной. Значит, количество RbBrO_3 составляет 0.006 моль, его масса равна

$$m(\text{RbBrO}_3) = v \cdot M = 0.006 \cdot 213 = 1.28 \text{ г}.$$

Ответ: 1.28 г бромата рубидия.

4.3. При сгорании смеси двух органических соединений образуются только углекислый газ и вода. Общая масса продуктов сгорания равна 24 г, а массовая доля углерода в ней – 15%. Установите качественный и количественный состав исходной смеси, если известно, что массовая доля водорода в ней составляет 15% (8 баллов).

Решение. По условию, в составе органических соединений могут находиться только углерод, водород и кислород:



Если $\omega(\text{C}) = 15\%$, тогда $m(\text{C}) = 0.15 \cdot 24 = 3.6$ г, $v(\text{C}) = 0.3$ моль, $m(\text{CO}_2) = 13.2$ г.

Тогда $m(\text{H}_2\text{O}) = 10.8$ г, $v(\text{H}_2\text{O}) = 0.6$ моль, $v(\text{H}) = 0.12$ моль.

Важный вывод: $v(\text{C}) : v(\text{H}) = 0.3 : 0.12 = 1 : 4$. Такое соотношение возможно только при $x = 1$, $y = 4$, следовательно, единственно возможные исходные вещества – это метан CH_4 и метанол CH_3OH .

Пусть $v(\text{CH}_4) = n$, $v(\text{CH}_3\text{OH}) = m$, тогда $n + m = 0.3$, т. к. $v(\text{C}) = 0.3$ моль:

$$0.15 = (4n + 4m)/(16n + 32m),$$

$$2n = m,$$

$$n = 0.1, m = 0.2,$$

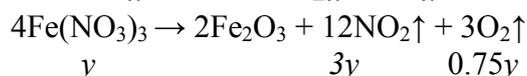
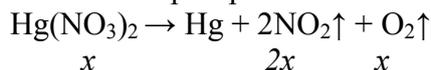
$$\nu(\text{CH}_4) = 0.1 \text{ моль}, \nu(\text{CH}_3\text{OH}) = 0.2 \text{ моль},$$

$$m(\text{CH}_4) = 1.6 \text{ г}, m(\text{CH}_3\text{OH}) = 6.4 \text{ г}.$$

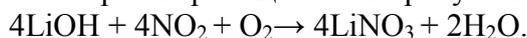
Ответ: $m(\text{CH}_4) = 1.6 \text{ г}, m(\text{CH}_3\text{OH}) = 6.4 \text{ г}.$

5.7. Навеску смеси нитрата ртути(II) и нитрата железа(III) 17.84 г прокалили при температуре выше 400°C. Полученная газовая смесь была пропущена через раствор гидроксида лития. Объем прошедшего через раствор газа (непоглотившегося) составил 489 мл (при $T = 298 \text{ К}, p = 1 \text{ атм.}$). Рассчитайте массовые доли веществ в исходной навеске (10 баллов).

Решение. Разложение газовой смеси при прокаливании:



Поглощение газовой смеси раствором щелочи в присутствии кислорода:



Газ, прошедший через щелочь, – это избыток O_2 , его количество:

$$\nu(\text{O}_2)_{\text{ост}} = \frac{p \cdot V}{R \cdot T} = \frac{0.489}{0.082 \cdot 298} = 0.02 \text{ моль } \text{O}_2 \text{ не прореагировало.}$$

$$\nu(\text{O}_2)_{\text{ост}} = (0.75y + x) - 0.25(3y + 2x) = 0.5x,$$

$$x = 0.04 \text{ моль.}$$

$$\nu(\text{Hg}(\text{NO}_3)_2) = 0.04 \text{ моль},$$

$$m(\text{Hg}(\text{NO}_3)_2) = 0.04 \cdot 325 = 13 \text{ г},$$

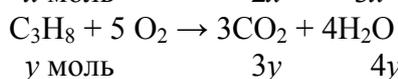
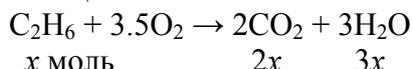
$$\omega(\text{Hg}(\text{NO}_3)_2) = 13 / 17.84 = 0.43 \text{ (или 73\%)},$$

$$\omega(\text{Fe}(\text{NO}_3)_3) = 0.27 \text{ (или 27\%)}.$$

Ответ: $\omega(\text{Hg}(\text{NO}_3)_2) = 73\%, \omega(\text{Fe}(\text{NO}_3)_3) = 27\%.$

6.3. При сжигании газовой смеси этана и пропана выделилось 8.56 кДж тепла. Продукты сгорания были последовательно пропущены через хлоркальциевую трубку и 5 л дистиллированной воды, при этом масса хлоркальциевой трубки увеличилась на 279 мг. Рассчитайте рН водного раствора, если $K_{\text{д}}(\text{H}_2\text{CO}_3/\text{HCO}_3^-) = 4.27 \cdot 10^{-7}$, а теплоты сгорания этана и пропана равны 1561 кДж/моль и 2222 кДж/моль соответственно (10 баллов).

Решение. Реакции сгорания веществ:



Масса хлоркальциевой трубки увеличилась за счет поглощения паров воды, следовательно $m(\text{H}_2\text{O}) = 0.279 \text{ г}, \nu(\text{H}_2\text{O}) = 0.279 / 18 = 0.0155 \text{ моль}.$ Составим и решим систему уравнений:

$$\begin{cases} 1561x + 2222y = 8.56 \\ 3x + 4y = 0.0155 \end{cases}$$

$$x = 0.0005 \text{ моль}, y = 0.0035 \text{ моль}.$$

Значит, в результате сгорания образовалось $\nu(\text{CO}_2) = 2x + 3y = 0.001 + 3 \cdot 0.0035 = 0.0115 \text{ моль}.$

Углекислый газ поглощается водой: $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{CO}_3.$

$$c(\text{H}_2\text{CO}_3)_{\text{исх}} = \nu / V = 0.0115 / 5 = 0.0023 \text{ моль/л}.$$

В результате диссоциации угольной кислоты



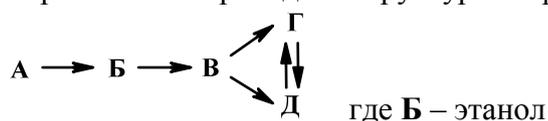
$$K_{\text{дис}} = \frac{0.0023-z}{[H_2CO_3]} = \frac{z}{0.0023-z} \approx \frac{z^2}{0.0023} = 4.27 \cdot 10^{-7}$$

$$[H^+] = \sqrt{0.0023 \cdot 4.27 \cdot 10^{-7}} = 3.134 \cdot 10^{-5} \text{ моль/л,}$$

$$pH = -\lg[H^+] = 4.5.$$

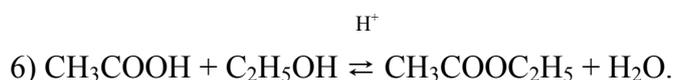
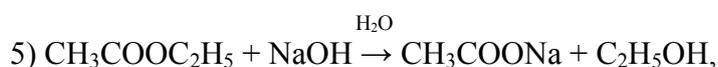
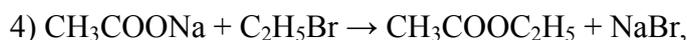
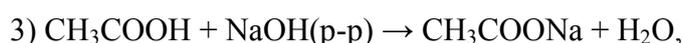
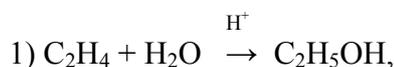
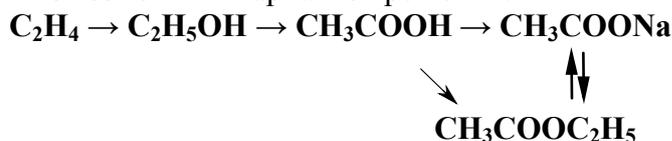
Ответ: pH = 4.5.

7.8. Расшифруйте следующую схему превращений, напишите уравнения соответствующих реакций, укажите условия их протекания. Приведите структурные формулы соединений А-Д:

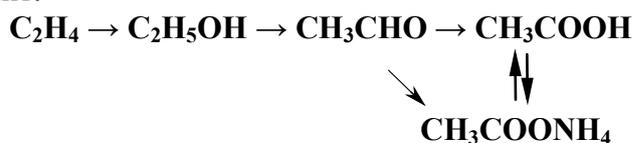


(12 баллов).

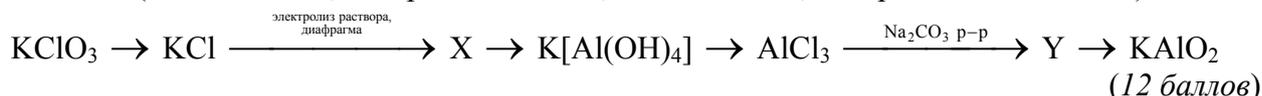
Решение. Один из возможных вариантов решения:



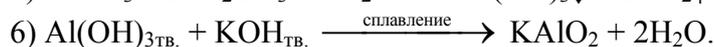
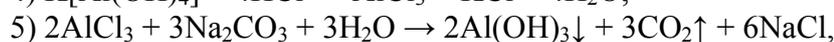
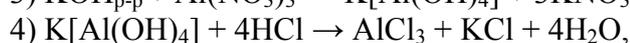
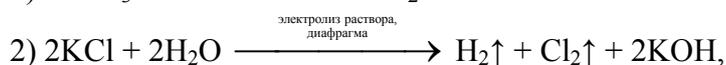
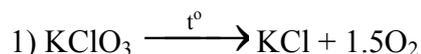
Другой вариант:



8.3. Напишите уравнения реакций приведенных ниже превращений и укажите условия их проведения (X – вещество, содержащее калий, Y – вещество, содержащее алюминий):



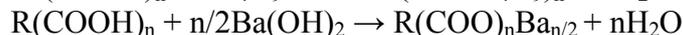
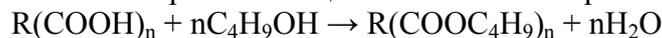
Решение.



Ответ: X – KOH, Y – Al(OH)₃.

9.6. В результате реакции карбоновой кислоты с бутанолом-1 получено 6.48 г сложного эфира с выходом 75%. При полной нейтрализации такого же количества этой кислоты водным раствором гидроксида бария образовалось 9.56 г соли. Установите формулу карбоновой кислоты. Что происходит с этой кислотой при нагревании до 150°C? Напишите уравнения протекающих реакций (14 баллов).

Решение. Карбоновая кислота может быть одноосновной или многоосновной. Обозначим основность кислоты через n . Реакции кислоты со спиртом и щелочью:



$$m(\text{эфира})_{\text{теор.}} = 6.48 \cdot 0.75 = 8.64 \text{ г.}$$

$$v(\text{кислоты}) = v(\text{соли}) = v(\text{эфира})$$

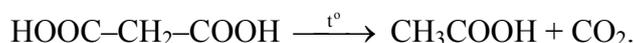
$$m(\text{соли}) / M(\text{соли}) = m(\text{эфира}) / M(\text{эфира}).$$

Пусть молярная масса радикала R равна x , тогда:

$$9.56 / (x + 112.5n) = 8.64 / (x + 101n),$$

$$x = 7n,$$

При $n = 1$ $x = 7$ (такого радикала нет), при $n = 2$ $x = 14$, это радикал $-\text{CH}_2-$, кислота – малоновая $\text{HOOC}-\text{CH}_2-\text{COOH}$.



10.8. При взаимодействии двух простых веществ, одно из которых – чёрные кристаллы с фиолетовым отблеском (относительная плотность паров данного вещества по азоту равна 9.07), получают красные кристаллы. Массовая доля более лёгкого элемента в полученном соединении равна 21.846%. Полученные красные кристаллы активно взаимодействуют с раствором гидроксида натрия. При электролизе полученного раствора с диафрагмой (продукты электролиза не взаимодействуют с раствором) на аноде выделяется 7.21 г веществ до начала выделения кислорода. Рассчитайте максимальный объём сернистого газа (н.у.), который может быть окислен полученным раствором.

Решение. Одно из реагирующих веществ определяем по его молярной массе:

$$M = D_{\text{N}_2} \cdot M(\text{N}_2) = 9.07 \cdot 28 = 254 \text{ г/моль, это } \text{I}_2 \text{ (чёрные кристаллы с фиолетовым отблеском).}$$

Иод может реагировать с другим веществом (обозначим его через Z) либо в качестве восстановителя, либо в качестве окислителя. Если I_2 – восстановитель, то Z – окислитель, тогда



Логично предположить, что иод в полученном веществе IZ_n является более тяжелым элементом. Тогда по условию задачи

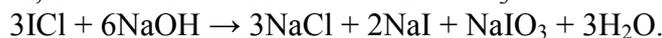
$$\omega(\text{Z}) = \frac{nM_Z}{nM_Z + 127} = 0.21846, \text{ отсюда } 0.78154nM_Z = 27.74442.$$

Если $n = 1$, то $M_Z = 35.5$ г/моль – искомый элемент Cl.

Тогда реакция взаимодействия двух простых веществ:



При взаимодействии со щелочью происходит реакция диспропорционирования I^+ с образованием x моль NaI, $1.5x$ моль NaCl и $0.5x$ моль NaIO_3 .

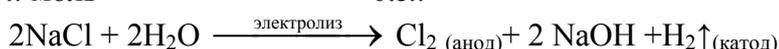


$$1.5x \quad x \quad 0.5x \text{ моль}$$

При электролизе полученного раствора на аноде выделяется I_2 и Cl_2 за счет окисления иодид- и хлорид-ионов (иодат натрия электролизу не подвергается и остается в растворе и после окончания электролиза):



$$x \text{ моль} \quad 0.5x$$



1.5x моль

0.75x

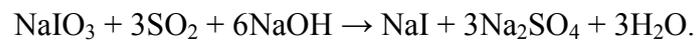
Масса продуктов, выделившихся на аноде:

$$m = m(\text{I}_2) + m(\text{Cl}_2) = 0.5x \cdot 254 + 0.75x \cdot 71 = 7.21,$$

отсюда $x = 0.04$ моль.

Сернистый газ будет окислен иодатом натрия. Количество иодата натрия составляет

$$v = 0.5x \text{ моль} = 0.5 \cdot 0.04 = 0.02 \text{ моль.}$$



0.02 моль

Отсюда $v(\text{SO}_2) = 3 \cdot v(\text{NaIO}_3) = 0.06$ моль.

$$V(\text{SO}_2) = 0.06 \cdot 22.4 = 1.344 \text{ л.}$$

Ответ: 1.344 л.