

## Вариант 2

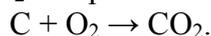
1. Ион  $\text{XO}_4^-$  содержит 50 электронов. Определите неизвестный элемент и напишите уравнение взаимодействия  $\text{X}$  в виде простого вещества с холодным раствором гидроксида натрия. (6 баллов)

*Решение.* Неизвестный элемент  $\text{X}$  содержит  $50 - 4 \cdot 8 - 1 = 17$  электронов, что соответствует атому хлора. Реакция хлора с холодным раствором  $\text{NaOH}$ :



2. Чему равна теплота образования оксида углерода(IV), если при взаимодействии 24 г углерода и 80 г кислорода выделилось 787 кДж тепла? (6 баллов)

*Решение.* Реакция образования  $\text{CO}_2$  из простых веществ:



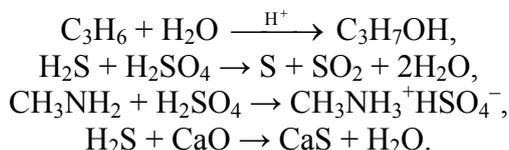
Количества веществ составляют  $\nu(\text{C}) = 2$  моль,  $\nu(\text{O}_2) = 2.5$  моль, значит, углерод был взят в недостатке. Из двух молей углерода образуется два моля  $\text{CO}_2$ . Следовательно, теплота образования  $\text{CO}_2$  равна

$$Q_{\text{обр}}(\text{CO}_2) = \frac{787}{2} = 393.5 \text{ кДж/моль}.$$

*Ответ:* 393.5 кДж/моль.

3. Какие осушители ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ (конц.),  $\text{CaO}$ , безводный  $\text{CaCl}_2$ ) нельзя использовать для обезвоживания и количественного выделения каждого из газов:  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{C}_3\text{H}_6$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{CH}_3\text{NH}_2$ ? Ответ обоснуйте, напишите уравнения соответствующих реакций. (8 баллов)

*Решение.* Безводный хлорид кальция может использоваться для обезвоживания всех указанных газов. Концентрированной серной кислотой нельзя сушить  $\text{C}_3\text{H}_6$ ,  $\text{H}_2\text{S}$  и  $\text{CH}_3\text{NH}_2$ . Оксидом кальция нельзя сушить  $\text{H}_2\text{S}$ . Уравнения возможных реакций:



4. При добавлении к 1 л бутана ( $20^\circ\text{C}$ , 1 атм) неизвестного газа объем газовой смеси увеличился в 1.5 раза, а ее плотность составила 2.732 г/л. Определите неизвестный газ. Как изменится плотность газовой смеси при добавлении к ней 0.5 л диметиламина? (8 баллов)

*Решение.* Рассчитаем среднюю молярную массу смеси:

$$pV = \nu RT, \quad \nu = \frac{m}{M},$$

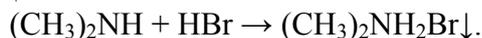
отсюда

$$M = \frac{\rho RT}{p} = \frac{2.732 \cdot 8.31 \cdot 293}{101.3} = 65.666 \text{ г/моль}.$$

Поскольку объем газовой смеси увеличился в 1.5 раза, было добавлено 0.5 л газа, и объем смеси стал равен 1.5.

$$\begin{aligned} M_{\text{cp}} &= \frac{M_1 V_1 + M_2 V_2}{V_1 + V_2}, \\ 65.666 &= \frac{58 \cdot 1 + M_2 \cdot 0.5}{1.5}. \end{aligned}$$

Получаем  $M_2 = 81$  г/ моль, это бромоводород  $\text{HBr}$ . При добавлении к смеси 0.5 л диметиламина происходит реакция



Оставшийся газ – бутан, его плотность равна

$$\rho = \frac{pM}{RT} = \frac{101.3 \cdot 58}{8.31 \cdot 293} = 2.413 \text{ г/л.}$$

Ответ: HBr, 2.413 г/л.

5. Смесь содержит гидроксид, нитрат и основной карбонат неизвестного металла в мольном соотношении 2 : 2 : 3 соответственно (степень окисления металла в этих соединениях одинакова). Во сколько раз уменьшится масса смеси после прокаливания при 650°C, если содержание металла в смеси составляет 28.64% по массе? (10 баллов)

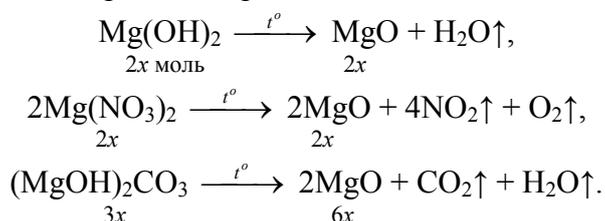
Решение. Эту задачу можно решать методом подбора. Однако с учетом того, что для металлов, находящихся в степени окисления +1, не известны основные карбонаты, начнем рассмотрение со степени окисления +2:

$$\nu(\text{MeSO}_4) : \nu(\text{Me}(\text{NO}_3)_2) : \nu(\text{Me}(\text{OH})_2\text{CO}_3) = 2 : 2 : 3,$$

$$0.2864 = \frac{m(\text{металла})}{m(\text{смеси})} = \frac{10M}{10M + (34 \cdot 2 + 62 \cdot 4 + 17 \cdot 6 + 60 \cdot 3)} = \frac{10M}{10M + 598}.$$

Получаем  $M = 24$  г/моль, следовательно, металл – это магний.

При прокаливании смеси протекают реакции:



Пусть в исходной смеси было  $2x$  моль  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ ,  $2x$  моль  $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$  и  $3x$  моль  $(\text{Mg}(\text{OH})_2\text{CO}_3$ . Твердый остаток после прокаливания – оксид магния:

$$m(\text{исх. смеси}) = (2 \cdot 58 + 2 \cdot 148 + 3 \cdot 142) \cdot x = 838x,$$

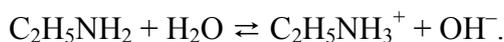
$$m(\text{MgO}) = 40 \cdot 10x = 400x.$$

$$\frac{m(\text{исх.})}{m(\text{MgO})} = \frac{838x}{400x} = 2.095.$$

Ответ: в 2.095 раза.

6. Имеются водные растворы двух оснований одинаковой концентрации – этиламина и гидроксида натрия. В первом растворе  $\text{pH} = 12.0$ . Найдите концентрацию оснований и  $\text{pH}$  раствора гидроксида натрия. Чему будет равен  $\text{pH}$  раствора, полученного смешением равных объемов растворов этих оснований? Константа основности этиламина составляет  $K_b(\text{C}_2\text{H}_5\text{NH}_2) = 6.4 \cdot 10^{-4}$ . (10 баллов)

Решение. Этиламин – слабое основание:



Рассчитаем равновесную концентрацию гидроксид-ионов:

$$[\text{H}^+] = 10^{-\text{pH}} = 10^{-12} \text{ моль/л,}$$

$$[\text{OH}^-] = \frac{K_w}{[\text{H}^+]} = \frac{10^{-14}}{10^{-12}} = 10^{-2} = 0.01 \text{ моль/л.}$$

Пусть концентрация этиламина равнялась  $c$  моль/л, тогда

$$K_a = \frac{[\text{C}_2\text{H}_5\text{NH}_3^+][\text{OH}^-]}{[\text{C}_2\text{H}_5\text{NH}_2]} = \frac{[\text{OH}^-]^2}{c - [\text{OH}^-]},$$

$$c = \frac{[\text{OH}^-]^2}{K_b} + [\text{OH}^-] = 0.166 \text{ моль/л.}$$

Гидроксид натрия – сильное основание, в растворе диссоциирует полностью:



$$[\text{OH}^-] = c(\text{NaOH}) = 0.166 \text{ моль/л.}$$

$$[\text{H}^+] = \frac{K_w}{[\text{OH}^-]} = \frac{10^{-14}}{0.166} = 6.024 \cdot 10^{-14} \text{ моль/л,}$$

$$\text{pH} = -\lg[\text{H}^+] = 13.2.$$

При смешении равных объемов растворов концентрация каждого основания уменьшится в два раза. В полученном растворе концентрация  $[\text{OH}^-]$  будет определяться диссоциацией только сильного основания  $\text{NaOH}$ , поскольку диссоциация слабого основания  $\text{C}_2\text{H}_5\text{NH}_2$  в присутствии сильного заметно подавляется.

$$c(\text{NaOH}) = 0.166 / 2 = 0.083 \text{ моль/л,}$$

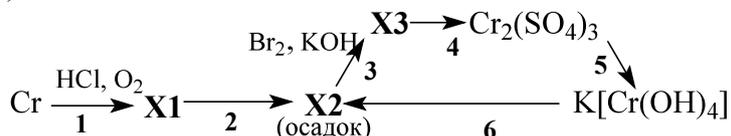
$$[\text{OH}^-] \approx c(\text{NaOH}) = 0.083 \text{ моль/л,}$$

$$[\text{H}^+] = \frac{K_w}{[\text{OH}^-]} = \frac{10^{-14}}{0.083} = 1.2 \cdot 10^{-13} \text{ моль/л,}$$

$$\text{pH} = -\lg[\text{H}^+] = 12.92.$$

Ответ: 0.166 моль/л, 13.2, 12.92.

7. Приведите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме (все неизвестные вещества содержат хром). Расшифруйте неизвестные вещества, укажите условия протекания реакций (12 баллов).

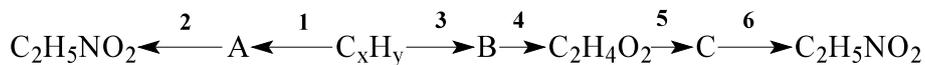


Решение. Приведем один из возможных вариантов решения:

- 1)  $4\text{Cr} + 12\text{HCl} + 3\text{O}_2 \rightarrow 4\text{CrCl}_3 + 6\text{H}_2\text{O}$ ;
  - 2)  $2\text{CrCl}_3 + 3\text{Na}_2\text{S} + 6\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{Cr}(\text{OH})_3\downarrow + 3\text{H}_2\text{S} + 6\text{NaCl}$
- или  $\text{CrCl}_3 + 4\text{KOH}(\text{p-p, недост.}) \rightarrow \text{Cr}(\text{OH})_3\downarrow + 3\text{KCl}$ ;
- 3)  $2\text{Cr}(\text{OH})_3 + 3\text{Br}_2 + 10\text{KOH} \rightarrow 2\text{K}_2\text{CrO}_4 + 6\text{KBr} + 8\text{H}_2\text{O}$ ;
  - 4)  $2\text{K}_2\text{CrO}_4 + 3\text{K}_2\text{SO}_3 + 5\text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 + 5\text{K}_2\text{SO}_4 + 5\text{H}_2\text{O}$ ;
  - 5)  $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 + 8\text{KOH}(\text{p-p, изб.}) \rightarrow 2\text{K}[\text{Cr}(\text{OH})_4] + 3\text{K}_2\text{SO}_4$ ;
  - 6)  $\text{K}[\text{Cr}(\text{OH})_4] + \text{CO}_2(\text{изб.}) \rightarrow \text{Cr}(\text{OH})_3\downarrow + \text{KHCO}_3$
- или  $2\text{K}[\text{Cr}(\text{OH})_4] + \text{CO}_2 \rightarrow 2\text{Cr}(\text{OH})_3\downarrow + \text{K}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ .

Ответ: X1 –  $\text{CrCl}_3$ ; X2 –  $\text{Cr}(\text{OH})_3$ ; X3 –  $\text{K}_2\text{CrO}_4$ .

8. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей последовательности превращений:



Вещества  $\text{C}_2\text{H}_5\text{NO}_2$  – изомеры.

Укажите структурные формулы веществ и условия протекания реакций. (12 баллов)

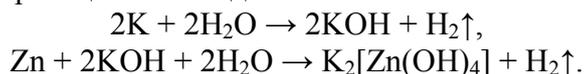
Решение. Приведем один из возможных вариантов решения:

1.  $C_2H_4 + H_2 \longrightarrow C_2H_6$
2.  $C_2H_6 + HNO_3(\text{разб}) \xrightarrow{t^0} CH_3CH_2NO_2 + H_2O$
3.  $C_2H_4 + H_2O \xrightarrow{H^+} CH_3CH_2OH$
4.  $5CH_3CH_2OH + 4KMnO_4 + 6H_2SO_4 \longrightarrow 5CH_3COOH + 4MnSO_4 + 2K_2SO_4 + 11H_2O$
5.  $CH_3COOH + Br_2 \xrightarrow{P} BrCH_2COOH + HBr$
6.  $BrCH_2COOH + 2NH_3 \longrightarrow H_2NCH_2COOH + NH_4Br$

*Примечание:* в качестве вещества  $C_xH_y$  можно было выбрать  $C_2H_2$ .

9. Смесь калия и цинка массой 8.45 г залили 15 мл воды. В исходной смеси количество калия превышает количество цинка в 20 раз. Рассчитайте массовые доли металлов в исходной смеси и объем газа (н. у.), который выделится после полного протекания реакций. Какой объем 0.8 М раствора соляной кислоты потребуется добавить к полученному раствору, чтобы масса выпавшего осадка была максимальной? Рассчитайте массу выпавшего осадка. (14 баллов)

*Решение.* Уравнения реакций взаимодействия смеси металлов с водой:



Обозначим количество калия за  $x$  моль, а количество цинка – за  $y$  моль, тогда

$$m(\text{смеси}) = m(K) + m(Zn) = x \cdot M(K) + y \cdot M(Zn) = 39x + 65y.$$

По условию, соотношение количеств металлов в исходной смеси:

$$v(K) : v(Zn) = x : y = 20.$$

Получили систему из двух уравнений с двумя неизвестными:

$$\begin{cases} 39x + 65y = 8.45, \\ x = 20y. \end{cases}$$

Решая систему, находим  $x = 0.2$ ,  $y = 0.01$  (моль).

Массы металлов в смеси составляют:

$$m(K) = 0.2 \cdot 39 = 7.8 \text{ г},$$

$$m(Zn) = 0.01 \cdot 65 = 0.65 \text{ г}.$$

Массовые доли металлов в смеси:

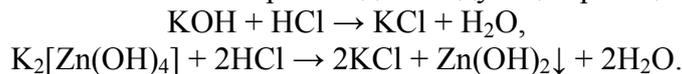
$$\omega(K) = \frac{m(K)}{m(\text{смеси})} = \frac{7.8}{8.45} = 0.923 \text{ (или 92.3\%)},$$

$$\omega(Zn) = 0.077 \text{ (или 7.7\%)}. \quad \omega(O) = 0.000 \text{ (или 0\%)}$$

Объем водорода:

$$V(H_2) = (0.5x + y) \cdot V_m = 0.11 \cdot 22.4 = 2.464 \text{ л}.$$

При добавлении соляной кислоты происходят следующие реакции:



Чтобы масса осадка  $Zn(OH)_2$  была максимальной, необходимо, чтобы при подкислении раствора комплекс был полностью разрушен, но гидроксид цинка не вступил в реакцию с соляной кислотой.

$$v(HCl) = v(KOH) + 2v(K_2[Zn(OH)_4]) = 0.18 + 0.02 = 0.2 \text{ моль}.$$

$$V(\text{р-ра HCl}) = \frac{v}{c} = \frac{0.2}{0.8} = 0.25 \text{ л}.$$

Определим массу осадка гидроксида цинка:

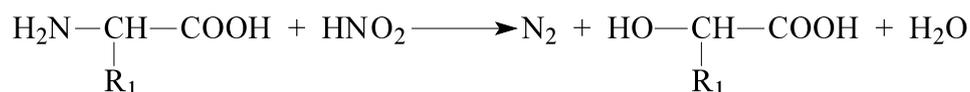
$$v(Zn(OH)_2) = v(Zn) = 0.01 \text{ моль},$$

$$m(\text{Zn}(\text{OH})_2) = \nu \cdot M = 0.01 \cdot 99 = 0.99 \text{ г,}$$

Ответ: 92.3% К, 7.7% Zn, 2.464 л водорода, 0.25 л, 0.99 г.

10. Для сжигания 10.33 г смеси двух природных аминокислот потребовалось 8.904 л кислорода (н. у.). Определите состав и строение аминокислот, если известно, что при обработке азотистой кислотой одной из аминокислот массой 5.34 г выделилось 1.344 л газа (н. у.), а для полной нейтрализации 4.41 г второй аминокислоты потребовалось 16.8 г 20%-ного раствора гидроксида калия. Рассчитайте массовые доли аминокислот в исходной смеси. (14 баллов)

Решение. Установим строение аминокислот. Первая из них реагирует с азотистой кислотой:



Количество выделившегося азота составляет

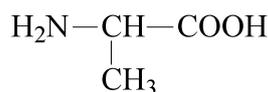
$$\nu(\text{N}_2) = \frac{1.344}{22.4} = 0.06 \text{ моль,}$$

и если в молекуле первой аминокислоты есть только одна аминогруппа, то

$$\nu(\text{аминокислоты}) = \nu(\text{N}_2) = 0.06 \text{ моль.}$$

$$\text{Тогда } M(\text{аминокислоты}) = \frac{m}{\nu} = \frac{5.34}{0.06} = 89 \text{ г/моль, откуда } M(\text{R}_1) = 89 - 74 = 15 \text{ г/моль,}$$

следовательно, первая аминокислота – аланин:



г/моль Вторая аминокислота вступает в реакцию нейтрализации:



$$\nu(\text{KOH}) = \frac{16.8 \cdot 0.2}{56} = 0.06 \text{ моль.}$$

При условии наличия в составе второй аминокислоты только одной группы, способной вступить в реакцию нейтрализации,

$$(\text{аминокислоты}) = \nu(\text{KOH}) = 0.06 \text{ моль,}$$

$$\text{и тогда } M(\text{аминокислоты}) = \frac{4.41}{0.06} = 73.5 \text{ г/моль, откуда } M(\text{R}_2) = 73.5 - 74 < 0. \text{ Это}$$

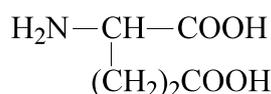
невозможно, следовательно, радикал  $\text{R}_2$  должен содержать группу, способную вступить в реакцию со щёлочью.

В таком случае

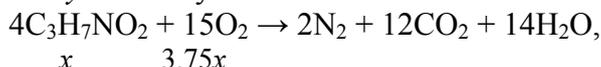
$$\nu(\text{аминокислоты}) = 0.5\nu(\text{KOH}) = 0.03 \text{ моль,}$$

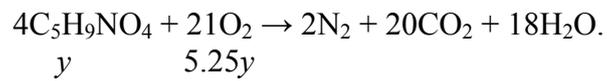
$$\text{и тогда } M(\text{аминокислоты}) = \frac{4.41}{0.03} = 147 \text{ г/моль, откуда } M(\text{R}_2) = 147 - 74 = 73. \text{ Значит, вторая}$$

аминокислота – глутаминовая:



Запишем уравнения сжигания исходной смеси аминокислот, считая, что в ней содержится  $x$  моль аланина и  $y$  моль глутаминовой кислоты:





Найдем количество кислорода:

$$v(\text{O}_2) = \frac{8.904}{22.4} = 0.3975 \text{ моль.}$$

Составим и решим систему уравнений:

$$\begin{cases} 89x + 147y = 10.33, \\ 3.75x + 5.25y = 0.3975. \end{cases}$$

Находим  $x = 0.05$ ,  $y = 0.04$  (моль). Тогда массы аминокислот в смеси составляют

$$m(\text{аланина}) = 0.05 \cdot 89 = 4.45 \text{ г,}$$

$$m(\text{глутаминовой к-ты}) = 0.04 \cdot 147 = 5.88 \text{ г.}$$

$$\omega(\text{аланина}) = \frac{4.45}{10.33} = 0.43 \text{ (или 43.0\%),}$$

$$\omega(\text{глутаминовой к-ты}) = \frac{5.88}{10.33} = 0.57 \text{ (или 57.0\%).}$$

*Ответ:* 43% аланина и 57% глутаминовой кислоты.