

Вариант 4

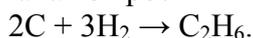
1. Ион XO_3^- содержит 42 электрона. Определите неизвестный элемент и напишите уравнение взаимодействия **X** в виде простого вещества с горячим раствором гидроксида калия. (6 баллов)

Решение. Неизвестный элемент **X** содержит $42 - 3 \cdot 8 - 1 = 17$ электронов, что соответствует атому хлора. Реакция хлора с горячим раствором гидроксида калия:



2. Чему равна теплота образования этана, если при взаимодействии 30 г водорода и 96 г углерода выделилось 333.8 кДж тепла? (6 баллов)

Решение. Реакция образования этана из простых веществ:



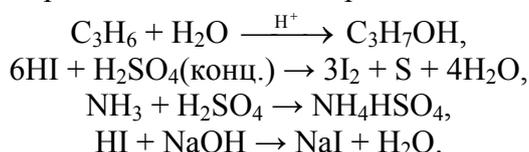
Количества веществ составляют $\nu(\text{C}) = 8$ моль, $\nu(\text{H}_2) = 15$ моль, значит, углерод был в недостатке. Из восьми молей углерода образуются четыре моля этана, следовательно, теплота образования этана равна

$$Q_{\text{обр}}(\text{C}_2\text{H}_6) = \frac{333.8}{4} = 83.45 \text{ кДж/моль}.$$

Ответ: 83.45 кДж/моль.

3. Какие осушители (H_2SO_4 (конц.), NaOH , безводный MgSO_4) нельзя использовать для обезвоживания и количественного выделения каждого из газов: NH_3 , HI , CO , C_3H_6 ? Ответ обоснуйте, напишите уравнения соответствующих реакций. (8 баллов)

Решение. Безводный сульфат магния может использоваться для обезвоживания всех указанных газов. Концентрированной серной кислотой нельзя сушить C_3H_6 , HI и NH_3 . Щелочью нельзя сушить HI . Уравнения возможных реакций:



4. При добавлении к 2 л метана (25°C , 1 атм) неизвестного газа объем газовой смеси увеличился в 1.5 раза, а ее плотность составила 1.241 г/л. Определите неизвестный газ. Как изменится плотность газовой смеси при добавлении к ней 1 л хлороводорода? (8 баллов)

Решение. Рассчитаем среднюю молярную массу смеси:

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

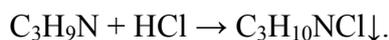
отсюда

$$M = \frac{\rho RT}{p} = \frac{1.241 \cdot 8.31 \cdot 298}{101.3} = 30.333 \text{ г/моль}.$$

Поскольку объем газовой смеси увеличился в 1.5 раза, был добавлен 1 л газа и объем полученной смеси стал равен 3 л.

$$\begin{aligned} M_{\text{cp}} &= \frac{M_1 V_1 + M_2 V_2}{V_1 + V_2}, \\ \frac{16 \cdot 2 + M_2 \cdot 1}{3} &= 30.333. \end{aligned}$$

Получаем $M_2 = 59$ г/моль, что соответствует триметиламину $\text{C}_3\text{H}_9\text{N}$. При добавлении к смеси 1 л хлороводорода происходит реакция с образованием твердой соли:



Оставшийся после реакции газ – метан, его плотность равна

$$\rho = \frac{pM}{RT} = \frac{101.3 \cdot 16}{8.31 \cdot 298} = 0.655 \text{ г/л.}$$

Ответ: триметиламин $\text{C}_3\text{H}_9\text{N}$, 0.655 г/л.

5. Смесь содержит нитрат, оксид и сульфат неизвестного металла в мольном соотношении 2 : 1 : 1 соответственно (степень окисления металла в этих соединениях одинакова). Во сколько раз уменьшится масса смеси после прокаливания при 550°C, если содержание металла в смеси составляет 69.03% по массе? (10 баллов)

Решение. Будем решать задачу методом подбора. Пусть металл Me имеет степень окисления +1:

$$\begin{aligned} v(\text{MeNO}_3) : v(\text{Me}_2\text{O}) : v(\text{Me}_2\text{SO}_4) &= 2 : 1 : 1, \\ 0.6903 &= \frac{m(\text{металла})}{m(\text{смеси})} = \frac{6M}{6M + (62 \cdot 2 + 16 + 96)} = \frac{6M}{6M + 236}. \end{aligned}$$

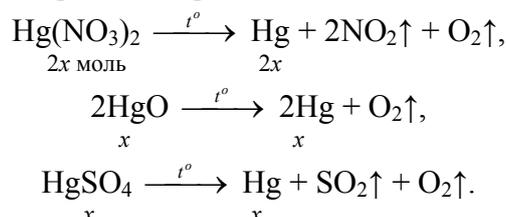
Получаем $M \approx 87$ (г/моль). Эта масса соответствует стронцию, однако он не может проявлять в соединениях степень окисления +1.

Пусть металл имеет степень окисления +2:

$$\begin{aligned} v(\text{Me}(\text{NO}_3)_2) : v(\text{MeO}) : v(\text{MeSO}_4) &= 2 : 1 : 1, \\ 0.6903 &= \frac{m(\text{металла})}{m(\text{смеси})} = \frac{4M}{4M + (62 \cdot 4 + 16 + 96)} = \frac{4M}{4M + 360}. \end{aligned}$$

Получаем $M = 201$ (г/моль), следовательно, металл – это ртуть.

При прокаливании смеси протекают реакции:



Пусть в исходной смеси было $2x$ моль $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$, x моль HgO и x моль HgSO_4 . Остаток после прокаливания – это ртуть:

$$\begin{aligned} m(\text{исх. смеси}) &= (325 \cdot 2 + 217 + 297) \cdot x = 1164x, \\ m(\text{Hg}) &= 201 \cdot 4x = 804x, \\ \frac{m(\text{исх.})}{m(\text{Hg})} &= \frac{1164x}{804x} = 1.45. \end{aligned}$$

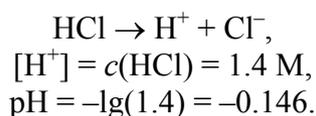
Ответ: в 1.45 раза.

6. Имеются водные растворы двух кислот одинаковой концентрации – уксусной и соляной. В первом растворе $\text{pH} = 2.3$. Найдите концентрацию кислот и pH соляной кислоты. Чему будет равен pH раствора, полученного смешением равных объемов этих кислот? Константа диссоциации уксусной кислоты составляет $K_a(\text{CH}_3\text{COOH}) = 1.8 \cdot 10^{-5}$. (10 баллов)

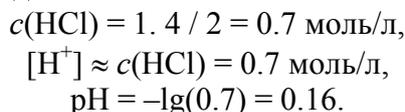
Решение. Уксусная кислота – слабая:

$$\begin{aligned} \text{CH}_3\text{COOH} &\rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{CH}_3\text{COO}^-. \\ [\text{H}^+] &= 10^{-\text{pH}} = 10^{-2.3} = 0.005 \text{ моль/л.} \\ K_a &= \frac{[\text{CH}_3\text{COO}^-][\text{H}^+]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]} = \frac{[\text{H}^+]^2}{C - [\text{H}^+]}, \\ c &= \frac{[\text{H}^+]^2}{K_a} + [\text{H}^+] = 1.4 \text{ моль/л.} \end{aligned}$$

Соляная кислота – сильная, в растворе диссоциирует полностью:

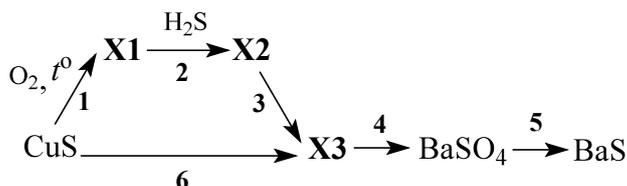


При смешении равных объемов растворов концентрация каждой кислоты уменьшится в два раза. В полученном растворе концентрация $[\text{H}^+]$ будет определяться диссоциацией только сильной кислоты HCl, поскольку диссоциация слабой кислоты CH_3COOH в присутствии сильной заметно подавляется.



Ответ: 1.4 моль/л, -0.146, 0.16.

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

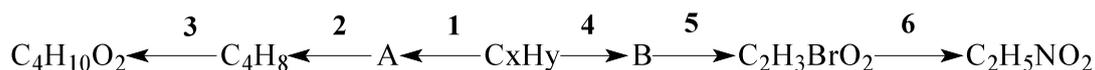


Решение. Приведем один из возможных вариантов решения:

- 1) $2\text{CuS} + 3\text{O}_2 \xrightarrow{t^\circ} 2\text{CuO} + 2\text{SO}_2\uparrow$;
- 2) $\text{SO}_2 + 2\text{H}_2\text{S} \rightarrow 3\text{S} + 2\text{H}_2\text{O}$;
- 3) $\text{S} + 6\text{HNO}_3(\text{конц}) \xrightarrow{t^\circ} \text{H}_2\text{SO}_4 + 6\text{NO}_2\uparrow + 2\text{H}_2\text{O}$;
- 4) $\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{BaCl}_2 \rightarrow \text{BaSO}_4\downarrow + 2\text{HCl}$;
- 5) $\text{BaSO}_4 + 4\text{H}_2 \xrightarrow{t^\circ} \text{BaS} + 4\text{H}_2\text{O}$;
- 6) $\text{CuS} + 10\text{HNO}_3(\text{конц}) \xrightarrow{t^\circ} \text{Cu}(\text{NO}_3)_2 + \text{H}_2\text{SO}_4 + 8\text{NO}_2\uparrow + 4\text{H}_2\text{O}$.

Ответ: X1 – SO_2 ; X2 – S; X3 – H_2SO_4 .

8. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей последовательности превращений.



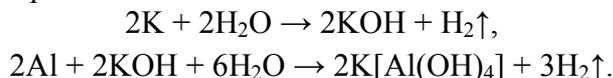
Укажите структурные формулы веществ и условия протекания реакций. (12 баллов)

Решение. Приведем один из возможных вариантов решения:

1. $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3 + \text{Br}_2 \xrightarrow{h\nu} \text{CH}_3\underset{\text{Br}}{\text{CH}}\text{CH}_2\text{CH}_3 + \text{HBr}$
2. $\text{CH}_3\underset{\text{Br}}{\text{CH}}\text{CH}_2\text{CH}_3 + \text{NaOH} \xrightarrow{\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}} \text{CH}_3\text{CH}=\text{CHCH}_3 + \text{NaBr} + \text{H}_2\text{O}$
3. $3\text{CH}_3\text{CH}=\text{CHCH}_3 + 2\text{KMnO}_4 + 4\text{H}_2\text{O} \xrightarrow{0-5^\circ\text{C}} 3\text{CH}_3\underset{\text{OH}}{\text{CH}}-\underset{\text{OH}}{\text{CH}}\text{CH}_3 + 2\text{MnO}_2 + 2\text{KOH}$
4. $2\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3 + 5\text{O}_2 \xrightarrow{\text{кат.}} 4\text{CH}_3\text{COOH} + 2\text{H}_2\text{O}$
5. $\text{CH}_3\text{COOH} + \text{Br}_2 \xrightarrow{\text{P}} \text{BrCH}_2\text{COOH} + \text{HBr}$
6. $\text{BrCH}_2\text{COOH} + 2\text{NH}_3 \longrightarrow \text{H}_2\text{NCH}_2\text{COOH} + \text{NH}_4\text{Br}$

9. Смесь калия и алюминия массой 8.34 г полностью растворили в 15 мл воды. Объем выделившегося при этом водорода составил 2.912 л (н. у.). Рассчитайте массовые доли металлов в исходной смеси. Для образования максимальной массы осадка необходимо добавить 500 мл раствора соляной кислоты. Рассчитайте молярную концентрацию добавленной кислоты и массу выпавшего осадка.

Решение. Уравнения реакций взаимодействия смеси металлов с водой:



Обозначим количество калия за x моль, а количество алюминия – за y моль, тогда

$$m(\text{смеси}) = m(\text{K}) + m(\text{Al}) = x \cdot M(\text{K}) + y \cdot M(\text{Al}) = 39x + 27y = 8.34.$$

По условию задачи металлы растворены, т. е. они полностью прореагировали. Найдем количество выделившегося водорода:

$$v(\text{H}_2) = \frac{2.912}{22.4} = 0.13 \text{ моль},$$

с другой стороны,

$$v(\text{H}_2) = 0.5x + 1.5y = 0.13.$$

Составим и решим систему из двух уравнений с двумя неизвестными:

$$\begin{cases} 39x + 27y = 8.34, \\ 0.5x + 1.5y = 0.13. \end{cases}$$

Решение системы: $x = 0.2$, $y = 0.02$ (моль). Массы металлов в смеси составляют

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

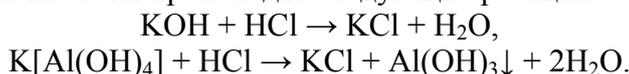
$$m(\text{Al}) = 0.02 \cdot 27 = 0.54 \text{ г}.$$

Массовые доли металлов в смеси:

$$\omega(\text{K}) = \frac{m(\text{K})}{m(\text{смеси})} = \frac{7.8}{8.34} = 0.935 \text{ (или 93.5\%)},$$

$$\omega(\text{Al}) = 0.065 \text{ (или 6.5\%)}.$$

При добавлении соляной кислоты происходят следующие реакции:



Чтобы масса осадка $\text{Al}(\text{OH})_3$ была максимальной, необходимо, чтобы при подкислении раствора комплекс был полностью разрушен, но гидроксид алюминия не вступил в реакцию с соляной кислотой.

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

$$c(\text{HCl}) = \frac{v}{V} = \frac{0.2}{0.5} = 0.4 \text{ моль/л}.$$

Определим массу осадка гидроксида алюминия:

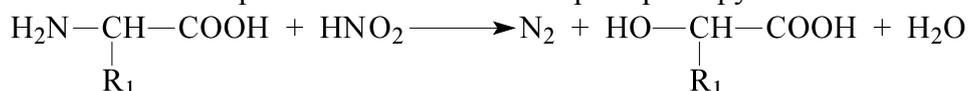
$$v(\text{Al}(\text{OH})_3) = v(\text{Al}) = 0.02 \text{ моль},$$

$$m(\text{Al}(\text{OH})_3) = v \cdot M = 0.02 \cdot 78 = 1.56 \text{ г},$$

Ответ: 93.25% K, 6.5% Al, 0.4 моль/л, 1.56 г.

10. Для сжигания 6.29 г смеси двух природных аминокислот потребовалось 7.112 л кислорода (н. у.). Определите состав и строение аминокислот, если известно, что при обработке азотистой кислотой одной из аминокислот массой 2.67 г выделилось 0.672 л газа (н. у.), а для полной нейтрализации 3.62 г второй аминокислоты потребовалось 20 г 11.2%-ного раствора гидроксида калия. Рассчитайте массовые доли аминокислот в исходной смеси.

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



Количество выделившегося азота:

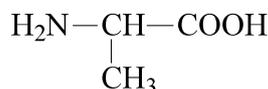
$$v(\text{N}_2) = \frac{0.672}{22.4} = 0.03 \text{ моль,}$$

и при условии наличия в первой аминокислоте только одной аминогруппы

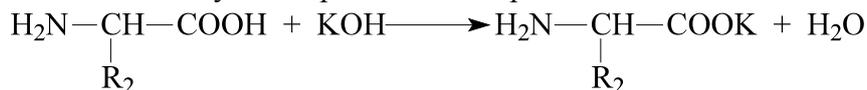
$$v(\text{аминокислоты}) = v(\text{N}_2) = 0.03 \text{ моль.}$$

$$\text{Тогда } M(\text{аминокислоты}) = \frac{m}{v} = \frac{2.67}{0.03} = 89 \text{ г/моль, откуда } M(\text{R}_1) = 89 - 74 = 15 \text{ г/моль,}$$

следовательно, первая аминокислота – аланин:



Вторая аминокислота вступает в реакцию нейтрализации:



$$v(\text{KOH}) = \frac{20 \cdot 0.112}{56} = 0.04 \text{ моль.}$$

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

$$v(\text{аминокислоты}) = v(\text{KOH}) = 0.04 \text{ моль,}$$

$$\text{и тогда } M(\text{аминокислоты}) = \frac{3.62}{0.04} = 90.5 \text{ г/моль, откуда } M(\text{R}_2) = 90.5 - 74 = 16.5 \text{ г/моль.}$$

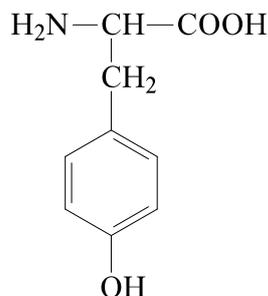
Природной аминокислоты с радикалом такой массы нет, следовательно, радикал R_2 должен содержать группу, способную вступать в реакцию со щёлочью.

В таком случае

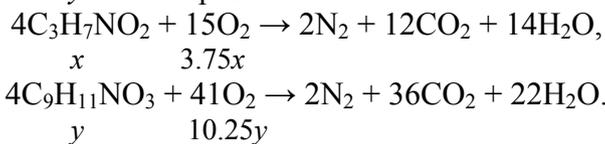
$$v(\text{аминокислоты}) = 0.5v(\text{KOH}) = 0.02 \text{ моль,}$$

$$\text{и тогда } M(\text{аминокислоты}) = \frac{3.62}{0.02} = 181 \text{ г/моль, откуда } M(\text{R}_2) = 181 - 74 = 107 \text{ г/моль. Значит,}$$

вторая аминокислота – тирозин:



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



Найдем количество кислорода:

$$v(\text{O}_2) = \frac{7.112}{22.4} = 0.3175 \text{ моль.}$$

Составим и решим систему уравнений:

$$\begin{cases} 89x + 181y = 6.29, \\ 3.75x + 10.25y = 0.3175. \end{cases}$$

Находим $x = 0.03$, $y = 0.02$ (моль). Тогда массы аминокислот в смеси составляют

$$m(\text{аланина}) = 0.03 \cdot 89 = 2.67 \text{ г},$$

$$m(\text{тирозина}) = 0.02 \cdot 181 = 3.62 \text{ г}.$$

$$\omega(\text{аланина}) = \frac{2.67}{6.29} = 0.424 \text{ (или 42.4\%)},$$

$$\omega(\text{тирозина}) = \frac{3.62}{6.29} = 0.576 \text{ (или 57.6\%)}.$$

Ответ: 42.4% аланина и 57.6% тирозина.