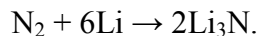


Вариант 1

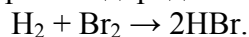
1. Ион XO_2^- содержит 24 электрона. Определите неизвестный элемент и напишите уравнение взаимодействия X в виде простого вещества с раскалённым литием. (6 баллов)

Решение. Неизвестный элемент X содержит $24 - 2 \cdot 8 - 1 = 7$ электронов, что соответствует атому азота. Реакция азота с литием:



2. Чему равна теплота образования бромоводорода, если при взаимодействии 16 г водорода и 480 г брома выделилось 217.8 кДж тепла? (6 баллов)

Решение. Реакция образования бромоводорода:



Количества веществ составляют $\nu(\text{H}_2) = \frac{16}{2} = 8$ моль, $\nu(\text{Br}_2) = \frac{480}{160} = 3$ моль, значит,

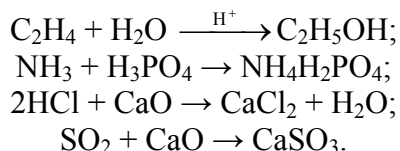
бром был взят в недостатке. Из трех молей брома образуется шесть молей бромоводорода. Следовательно, теплота образования бромоводорода равна

$$Q_{\text{обр}}(\text{HBr}) = \frac{217.8}{6} = 36.3 \text{ кДж/моль}.$$

Ответ: 36.3 кДж/моль.

3. Какие осушители (H_3PO_4 (конц.), CaO , безводный CaCl_2) нельзя использовать для обезвоживания и количественного выделения каждого из газов: HCl , C_2H_4 , NH_3 , SO_2 ? Ответ обоснуйте, напишите уравнения соответствующих реакций. (8 баллов)

Решение. Безводный хлорид кальция можно использовать для обезвоживания всех указанных газов. Концентрированной фосфорной кислотой нельзя сушить C_2H_4 и NH_3 . Оксидом кальция нельзя сушить HCl и SO_2 . Уравнения возможных реакций:



4. При добавлении к 4 л метана (25°C , 1 атм) неизвестного газа объем газовой смеси увеличился в 1.25 раза, а ее плотность составила 1.571 г/л. Определите неизвестный газ. Как изменится плотность газовой смеси при добавлении к ней 1 л метиламина? (8 баллов)

Решение. Рассчитаем среднюю молярную массу смеси:

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

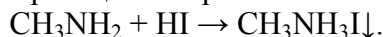
отсюда

$$M = \frac{\rho RT}{p} = \frac{1.571 \cdot 8.31 \cdot 298}{101.3} = 38.4 \text{ г/моль}.$$

Поскольку объем газовой смеси увеличился в 1.25 раза, был добавлен 1 л газа и объем смеси стал равен 5 л.

$$\begin{aligned} M_{\text{ср}} &= \frac{M_1 V_1 + M_2 V_2}{V_1 + V_2}, \\ \frac{16 \cdot 4 + M_2 \cdot 1}{5} &= 38.4. \end{aligned}$$

Получаем $M_2 = 128$ г/моль, что соответствует иодоводороду HI . При добавлении к смеси 1 л метиламина происходит реакция с образованием твердой соли:



Оставшийся газ – метан, его плотность равна

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

Ответ: HI, 0.655 г/л.

5. Смесь содержит сульфат, нитрат и оксид неизвестного металла в мольном соотношении 1 : 2 : 2.5 соответственно (степень окисления металла в этих соединениях одинакова). Во сколько раз уменьшится масса смеси после прокаливания при 800°C, если содержание металла в смеси составляет 78.89% по массе? (10 баллов)

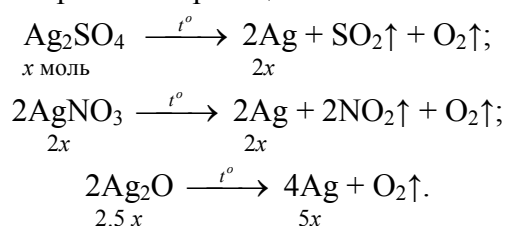
Решение. Будем решать задачу методом подбора. Пусть металл Me имеет степень окисления +1:

$$v(\text{Me}_2\text{SO}_4) : v(\text{MeNO}_3) : v(\text{Me}_2\text{O}) = 1 : 2 : 2.5,$$

$$0.7889 = \frac{m(\text{металла})}{m(\text{смеси})} = \frac{9M}{9M + (96 + 62 \cdot 2 + 2.5 \cdot 16)} = \frac{9M}{9M + 260}.$$

Получаем $M = 108$ г/моль, следовательно, металл – это серебро.

При прокаливании смеси протекают реакции:



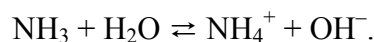
Пусть в исходной смеси было x моль Ag_2SO_4 , $2x$ моль AgNO_3 и $2.5x$ моль Ag_2O . Твердый остаток после прокаливания – это серебро:

$$\begin{aligned} m(\text{исх. смеси}) &= (312 + 2 \cdot 170 + 2.5 \cdot 232) \cdot x = 1232x, \\ m(\text{Ag}) &= 108 \cdot 9x = 972x, \\ \frac{m(\text{исх.})}{m(\text{Ag})} &= \frac{1232x}{972x} = 1.27. \end{aligned}$$

Ответ: в 1.27 раза.

6. Имеются водные растворы двух оснований одинаковой концентрации – аммиака и гидроксида натрия. В первом растворе $\text{pH} = 11.7$. Найдите концентрацию оснований и pH раствора гидроксида натрия. Чему будет равен pH раствора, полученного смешением равных объемов растворов этих оснований? Константа основности аммиака составляет $K_b(\text{NH}_3) = 1.8 \cdot 10^{-5}$. (10 баллов)

Решение. Аммиак – слабое основание:



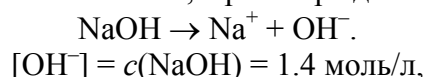
Рассчитаем равновесную концентрацию гидроксид-ионов:

$$\begin{aligned} [\text{H}^+] &= 10^{-\text{pH}} = 10^{-11.7} \text{ моль/л,} \\ [\text{OH}^-] &= \frac{K_w}{[\text{H}^+]} = \frac{10^{-14}}{10^{-11.7}} = 10^{-2.3} = 0.005 \text{ моль/л.} \end{aligned}$$

Пусть концентрация аммиака равнялась c моль/л, тогда

$$\begin{aligned} K_a &= \frac{[\text{NH}_4^+][\text{OH}^-]}{[\text{NH}_3]} = \frac{[\text{OH}^-]^2}{c - [\text{OH}^-]}, \\ c &= \frac{[\text{OH}^-]^2}{K_b} + [\text{OH}^-] = 1.4 \text{ моль/л.} \end{aligned}$$

Гидроксид натрия – сильное основание, в растворе диссоциирует полностью:



$$[\text{H}^+] = \frac{K_w}{[\text{OH}^-]} = \frac{10^{-14}}{1.4} = 0.714 \cdot 10^{-14} \text{ моль/л,}$$

$$\text{pH} = -\lg[\text{H}^+] = 14.15.$$

При смешении равных объемов растворов концентрация каждого основания уменьшится в два раза. В полученном растворе концентрация $[\text{OH}^-]$ будет определяться диссоциацией только сильного основания NaOH , поскольку диссоциация слабого основания NH_3 в присутствии сильного заметно подавляется.

$$c(\text{NaOH}) = 1.4 / 2 = 0.7 \text{ моль/л,}$$

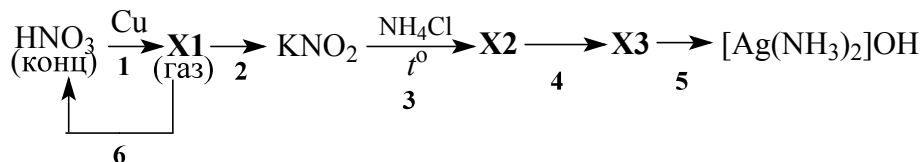
$$[\text{OH}^-] \approx c(\text{NaOH}) = 0.7 \text{ моль/л,}$$

$$[\text{H}^+] = \frac{K_w}{[\text{OH}^-]} = \frac{10^{-14}}{0.7} = 1.43 \cdot 10^{-14} \text{ моль/л,}$$

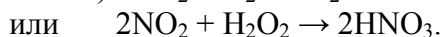
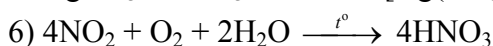
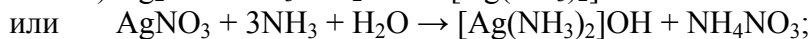
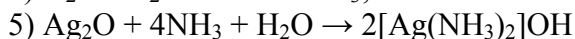
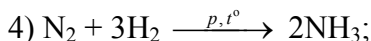
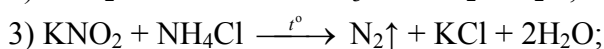
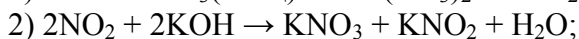
$$\text{pH} = -\lg[\text{H}^+] = 13.85.$$

Ответ: 1.4 моль/л, 14.15, 13.85.

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

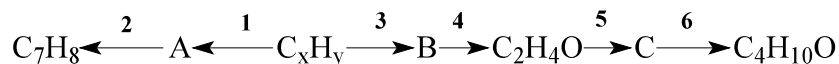


Решение. Приведем один из возможных вариантов решения:



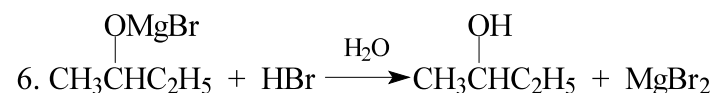
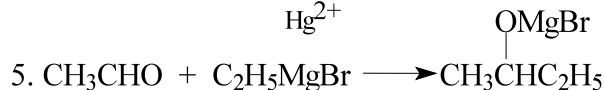
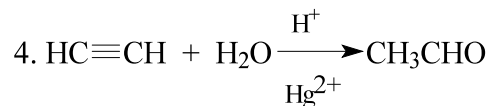
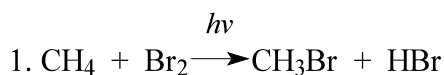
Ответ: **X1** – NO_2 ; **X2** – N_2 ; **X3** – NH_3 .

8. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей последовательности превращений.

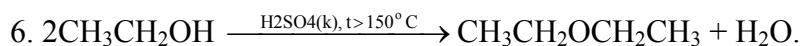
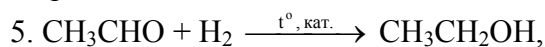


Укажите структурные формулы веществ и условия протекания реакций. (12 баллов)

Решение. Приведем один из возможных вариантов решения:

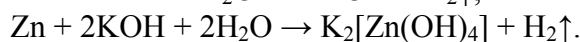
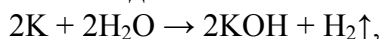


Другой вариант:



9. Смесь калия (92.31 масс.%) и цинка полностью растворили в 45 мл воды. Объем выделившегося при этом водорода составил 9.856 л (н. у.). Рассчитайте массу исходной смеси металлов. Для образования максимальной массы осадка необходимо добавить 1000 мл раствора соляной кислоты. Рассчитайте молярную концентрацию добавленной кислоты и 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

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

Содержание калия в смеси металлов:

$$\omega(\text{K}) = \frac{m(\text{K})}{m(\text{смеси})} = \frac{39x}{39x + 65y} = 0.9231,$$

после упрощения получим $x = 20y$.

Количество выделившегося водорода:

$$v(\text{H}_2) = V(\text{H}_2) / V_m = \frac{9.856}{22.4} = 0.44 \text{ моль},$$

с другой стороны,

$$v(\text{H}_2) = 0.5x + y = 0.44.$$

Получили систему из двух уравнений:

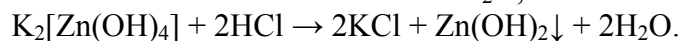
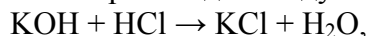
$$\begin{cases} x = 20y, \\ 0.5x + y = 0.44. \end{cases}$$

Решение системы дает $x = 0.8$, $y = 0.04$ (моль).

Масса смеси равна

$$m(\text{смеси}) = m(\text{K}) + m(\text{Zn}) = 39 \cdot 0.8 + 65 \cdot 0.04 = 33.8 \text{ г}.$$

При добавлении соляной кислоты происходят следующие реакции:



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

$$v(\text{HCl}) = v(\text{KOH}) + 2v(\text{K}_2[\text{Zn}(\text{OH})_4]) = 0.72 + 0.08 = 0.8 \text{ моль}.$$

$$c(\text{HCl}) = \frac{v}{V} = \frac{0.8}{1} = 0.8 \text{ моль/л.}$$

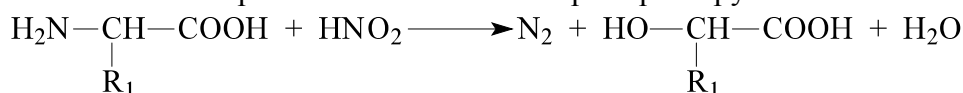
Определим массу осадка:

$$\begin{aligned} v(\text{Zn}(\text{OH})_2) &= v(\text{Zn}) = 0.04 \text{ моль,} \\ m(\text{Zn}(\text{OH})_2) &= v \cdot M = 0.04 \cdot 99 = 3.96 \text{ г.} \end{aligned}$$

Ответ: 33.8 г, 0.8 моль/л, 3.96 г.

10. Для сжигания 13.6 г смеси двух природных аминокислот потребовалось 13.888 л кислорода (н. у.). Определите состав и строение аминокислот, если известно, что при обработке азотистой кислотой одной из аминокислот массой 7.3 г выделилось 2.24 л газа (н. у.), а для полной нейтрализации 6.3 г второй аминокислоты потребовалось 10 г 24%-ного раствора гидроксида натрия. Рассчитайте массовые доли аминокислот в исходной смеси. (14 баллов)

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



Количество выделившегося азота равно

$$v(\text{N}_2) = \frac{2.24}{22.4} = 0.1 \text{ моль,}$$

и при условии наличия в первой аминокислоте только одной аминогруппы

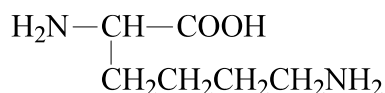
$$v(\text{аминокислоты}) = v(\text{N}_2) = 0.1 \text{ моль.}$$

Тогда $M(\text{аминокислоты}) = \frac{m}{v} = \frac{7.3}{0.1} = 73 \text{ г/моль}$, откуда $M(\text{R}_1) = 73 - 74 < 0$, что

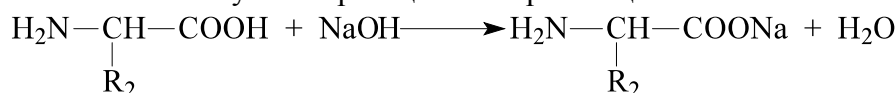
невозможно. Следовательно, радикал R_1 должен содержать группу, способную вступать в реакцию с азотистой кислотой. В таком случае $v(\text{аминокислоты}) = 0.5v(\text{N}_2) = 0.05 \text{ моль}$, и

тогда $M(\text{аминокислоты}) = \frac{m}{v} = \frac{7.3}{0.05} = 146 \text{ г/моль}$, откуда $M(\text{R}_1) = 146 - 74 = 72 \text{ г/моль}$.

Значит, первая аминокислота – лизин:



Вторая аминокислота вступает в реакцию нейтрализации:



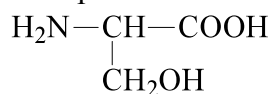
$$v(\text{NaOH}) = \frac{10 \cdot 0.24}{40} = 0.06 \text{ моль.}$$

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

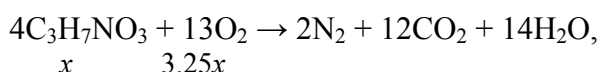
$$v(\text{аминокислоты}) = v(\text{NaOH}) = 0.03 \text{ моль,}$$

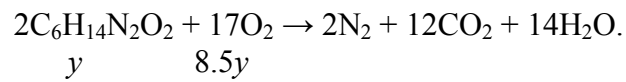
и тогда $M(\text{аминокислоты}) = \frac{6.3}{0.06} = 105 \text{ г/моль}$, откуда $M(\text{R}_2) = 105 - 74 = 31 \text{ г/моль}$.

Следовательно, вторая аминокислота – серин:



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





Найдем количество кислорода:

$$v(\text{O}_2) = \frac{13.888}{22.4} = 0.62 \text{ моль.}$$

Составим и решим систему уравнений:

$$\begin{cases} 105x + 146y = 13.6, \\ 3.25x + 8.5y = 0.62. \end{cases}$$

Находим $x = 0.06$, $y = 0.05$ (моль). Тогда массы аминокислот в смеси:

$$m(\text{C}_3\text{H}_7\text{NO}_3) = 0.06 \cdot 105 = 6.3 \text{ г,}$$

$$m(\text{C}_6\text{H}_{14}\text{N}_2\text{O}_2) = 0.05 \cdot 146 = 7.3 \text{ г.}$$

$$\omega(\text{серина}) = \frac{6.3}{13.6} = 0.463 \text{ (или 46.3\%),}$$

$$\omega(\text{лизина}) = \frac{7.3}{13.6} = 0.537 \text{ (или 53.7\%).}$$

Ответ: 46.3% серина и 53.7% лизина.

Вариант 2

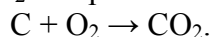
1. Ион XO_4^- содержит 50 электронов. Определите неизвестный элемент и напишите уравнение взаимодействия X в виде простого вещества с холодным раствором гидроксида натрия. (6 баллов)

Решение. Неизвестный элемент X содержит $50 - 4 \cdot 8 - 1 = 17$ электронов, что соответствует атому хлора. Реакция хлора с холодным раствором 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 CO_2 из простых веществ:



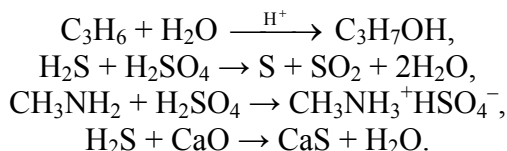
Количества веществ составляют $\nu(\text{C}) = 2$ моль, $\nu(\text{O}_2) = 2.5$ моль, значит, углерод был взят в недостатке. Из двух молей углерода образуется два моля CO_2 . Следовательно, теплота образования CO_2 равна

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

Ответ: 393.5 кДж/моль.

3. Какие осушители (H_2SO_4 (конц.), CaO , безводный CaCl_2) нельзя использовать для обезвоживания и количественного выделения каждого из газов: H_2S , C_3H_6 , O_2 , CH_3NH_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 C_3H_6 , H_2S и CH_3NH_2 . Оксидом кальция нельзя сушить H_2S . Уравнения возможных реакций:



4. При добавлении к 1 л бутана (20°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:

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

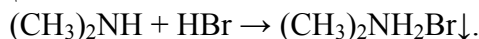
отсюда

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

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 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)

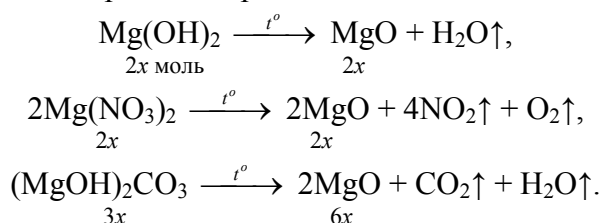
Решение. Эту задачу можно решать методом подбора. Однако с учетом того, что для металлов, находящихся в степени окисления +1, не известны основные карбонаты, начнем рассмотрение со степени окисления +2:

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

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

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

При прокаливании смеси протекают реакции:



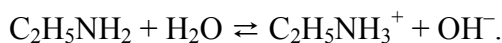
Пусть в исходной смеси было $2x$ моль $\text{Mg}(\text{OH})_2$, $2x$ моль $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ и $3x$ моль $(\text{MgOH})_2\text{CO}_3$. Твердый остаток после прокаливания – оксид магния:

$$\begin{aligned} m(\text{исх. смеси}) &= (2 \cdot 58 + 2 \cdot 148 + 3 \cdot 142) \cdot x = 838x, \\ m(\text{MgO}) &= 40 \cdot 10x = 400x, \\ \frac{m(\text{исх.})}{m(\text{MgO})} &= \frac{838x}{400x} = 2.095. \end{aligned}$$

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 pH раствора гидроксида натрия. Чему будет равен 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:



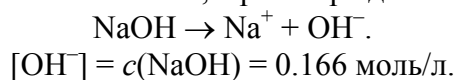
Рассчитаем равновесную концентрацию гидроксид-ионов:

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

Пусть концентрация этиламина равнялась c моль/л, тогда

$$\begin{aligned} K_a &= \frac{[\text{C}_2\text{H}_5\text{NH}_3^+][\text{OH}^-]}{[\text{C}_2\text{H}_5\text{NH}_2]} = \frac{[\text{OH}^-]^2}{c - [\text{OH}^-]}, \\ c &= \frac{[\text{OH}^-]^2}{K_b} + [\text{OH}^-] = 0.166 \text{ моль/л.} \end{aligned}$$

Гидроксид натрия – сильное основание, в растворе диссоциирует полностью:



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

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

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

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

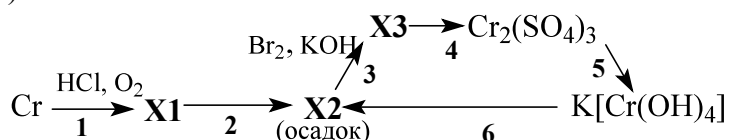
$$[\text{OH}^-] \approx c(\text{NaOH}) = 0.083 \text{ моль/л,}$$

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

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

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).

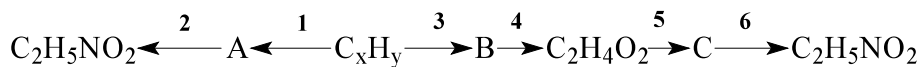


Решение. Приведем один из возможных вариантов решения:

- 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 – CrCl_3 ; X2 – $\text{Cr}(\text{OH})_3$; X3 – K_2CrO_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)

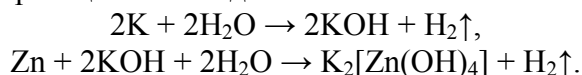
Решение. Приведем один из возможных вариантов решения:

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:

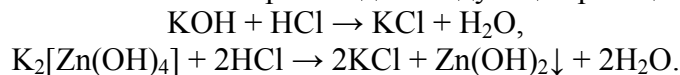
$$\omega(K) = \frac{m(K)}{m(\text{смеси})} = \frac{7.8}{8.45} = 0.923 \text{ (или 92.3\%)},$$

$$\omega(Zn) = 0.077 \text{ (или 7.7\%)}. \quad \omega(O) = 0.000 \text{ (или 0.0\%)}$$

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:

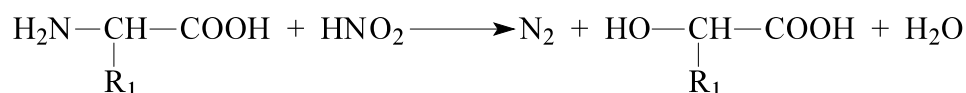
$$v(Zn(OH)_2) = v(Zn) = 0.01 \text{ моль},$$

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

Ответ: 92.3% K, 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

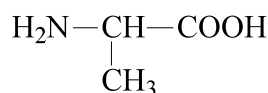
$$\nu(\text{N}_2) = \frac{1.344}{22.4} = 0.06 \text{ моль,}$$

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

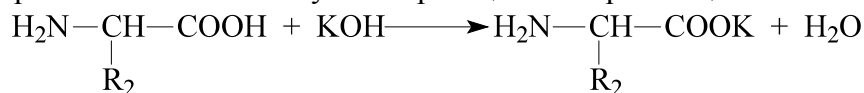
$$\nu(\text{аминокислоты}) = \nu(\text{N}_2) = 0.06 \text{ моль.}$$

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

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,

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

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

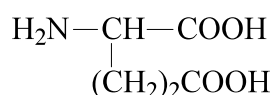
невозможно, следовательно, радикал R_2 должен содержать группу, способную вступить в реакцию со щёлочью.

В таком случае

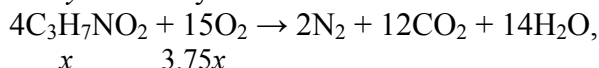
$$\nu(\text{аминокислоты}) = 0.5\nu(\text{KOH}) = 0.03 \text{ моль,}$$

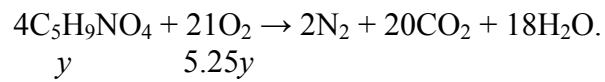
$$\text{и тогда } M(\text{аминокислоты}) = \frac{4.41}{0.03} = 147 \text{ г/моль, откуда } M(\text{R}_2) = 147 - 74 = 73. \text{ Значит, вторая}$$

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

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

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

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

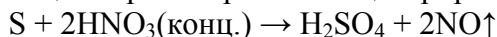
$$\omega(\text{глутаминовой к-ты}) = \frac{5.88}{10.33} = 0.57 \text{ (или 57.0\%).}$$

Ответ: 43% аланина и 57% глутаминовой кислоты.

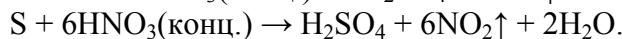
Вариант 3

1. Ион XO_4^{2-} содержит 50 электронов. Определите неизвестный элемент и напишите уравнение взаимодействия X в виде простого вещества с горячей концентрированной азотной кислотой. (6 баллов)

Решение. Неизвестный элемент X содержит $50 - 4 \cdot 8 - 2 = 16$ электронов, что соответствует атому серы. Реакция серы с горячей концентрированной азотной кислотой:

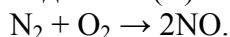


или



2. Чему равна теплота образования оксида азота(II), если при взаимодействии 84 г азота и 64 г кислорода поглотилось 360.8 кДж тепла? (6 баллов)

Решение. Реакция образования оксида азота(II) из простых веществ:



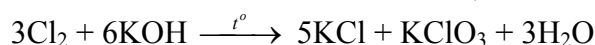
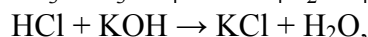
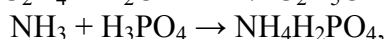
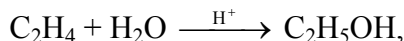
Количества веществ равны $\nu(\text{N}_2) = 3$ моль, $\nu(\text{O}_2) = 2$ моль, значит, кислород был в недостатке. Из двух молей кислорода образуются четыре моля NO , следовательно, теплота образования NO равна

$$Q_{\text{обр}}(\text{NO}) = \frac{-360.8}{4} = -90.2 \text{ кДж/моль}.$$

Ответ: -90.2 кДж/моль.

3. Какие осушители ($\text{H}_3\text{PO}_4(\text{конц.})$, KOH , безводный CaCl_2) нельзя использовать для обезвоживания и количественного выделения каждого из газов: HCl , Cl_2 , NH_3 , C_2H_4 ? Ответ обоснуйте, напишите уравнения соответствующих реакций. (8 баллов)

Решение. Безводный хлорид кальция может использоваться для обезвоживания всех указанных газов. Концентрированной фосфорной кислотой нельзя сушить C_2H_4 и NH_3 . Щелочью нельзя сушить HCl и Cl_2 . Уравнения возможных реакций:



или



4. При добавлении к 0.5 л бутана (25°C , 1 атм) неизвестного газа объем газовой смеси увеличился в 3 раза, а ее плотность составила 1.786 г/л. Определите неизвестный газ. Как изменится плотность газовой смеси при добавлении к ней 1 л аммиака?

Решение. Рассчитаем среднюю молярную массу смеси:

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

отсюда

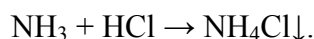
$$M = \frac{\rho RT}{p} = \frac{1.786 \cdot 8.31 \cdot 298}{101.3} = 43.66 \text{ г/моль}.$$

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

$$M_{\text{cp}} = \frac{M_1 V_1 + M_2 V_2}{V_1 + V_2},$$

$$43.66 = \frac{58 \cdot 0.5 + M_2 \cdot 1}{1.5}.$$

Получаем $M_2 = 36.5$ г/моль, что соответствует хлороводороду HCl . При добавлении к смеси 1 л аммиака идет реакция с образованием твердой соли:



Оставшийся после реакции газ – бутан, его плотность равна

$$\rho = \frac{pM}{RT} = \frac{101.3 \cdot 58}{8.31 \cdot 298} = 2.373 \text{ г/л.}$$

Ответ: HCl, 2.373 г/л.

5. Смесь содержит нитрат, основной карбонат и оксид неизвестного металла в мольном соотношении 1 : 3 : 2 соответственно (степень окисления металла в этих соединениях одинакова). Во сколько раз уменьшится масса смеси после прокаливании при 250°C, если содержание металла в смеси составляет 56.80% по массе?

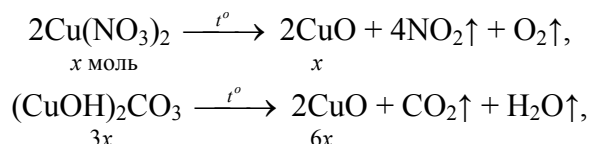
Решение. Эту задачу можно решать методом подбора. Однако с учетом того, что для металлов, находящихся в степени окисления +1, не известны основные карбонаты, начнем рассмотрение со степени окисления +2:

$$\nu(\text{Me}(\text{NO}_3)_2) : \nu((\text{MeOH})_2\text{CO}_3) : \nu(\text{MeO}) = 1 : 3 : 2,$$

$$0.5680 = \frac{m(\text{металла})}{m(\text{смеси})} = \frac{9M}{9M + (62 \cdot 2 + 17 \cdot 6 + 60 \cdot 3 + 16 \cdot 2)} = \frac{9M}{9M + 438}.$$

Получаем $M = 64$ г/моль, следовательно, металл – это медь.

При прокаливании смеси протекают реакции:



а CuO не разлагается.

Пусть в исходной смеси было x моль $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$, $3x$ моль $(\text{CuOH})_2\text{CO}_3$ и $2x$ моль CuO. Твердый остаток после прокаливании – оксид меди CuO.

$$\begin{aligned} m(\text{исх. смеси}) &= (188 + 3 \cdot 223 + 2 \cdot 80) \cdot x = 1014x, \\ m(\text{CuO}) &= 80 \cdot 9x = 720x. \\ \frac{m(\text{исх.})}{m(\text{CuO})} &= \frac{1014x}{720x} = 1.41. \end{aligned}$$

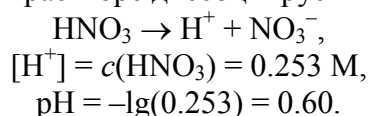
Ответ: в 1.41 раза.

6. Имеются водные растворы двух кислот одинаковой концентрации – плавиковой и азотной. В первом растворе $\text{pH} = 1.9$. Найдите концентрацию кислот и pH азотной кислоты. Чему будет равен pH раствора, полученного смешением равных объемов этих кислот? Константа диссоциации плавиковой кислоты составляет $K_a(\text{HF}) = 6.6 \cdot 10^{-4}$. (10 баллов)

Решение. Плавиковая кислота – слабая:

$$\begin{aligned} \text{HF} &\rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{F}^-. \\ [\text{H}^+] &= 10^{-\text{pH}} = 10^{-1.9} = 0.0126 \text{ моль/л.} \\ K_a &= \frac{[\text{F}^-][\text{H}^+]}{[\text{HF}]} = \frac{[\text{H}^+]^2}{C - [\text{H}^+]}, \\ c &= \frac{[\text{H}^+]^2}{K_a} + [\text{H}^+] = 0.253 \text{ моль/л.} \end{aligned}$$

Азотная 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 HNO_3 , поскольку диссоциация слабой кислоты HF в присутствии сильной заметно подавляется.

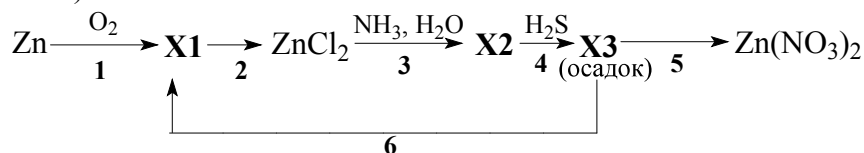
$$c(\text{HNO}_3) = 0.253 / 2 = 0.126 \text{ моль/л,}$$

$$[\text{H}^+] \approx c(\text{HNO}_3) = 0.126 \text{ моль/л,}$$

$$\text{pH} = -\lg(0.126) = 0.90.$$

Ответ: 0.253 моль/л, 0.6, 0.9.

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

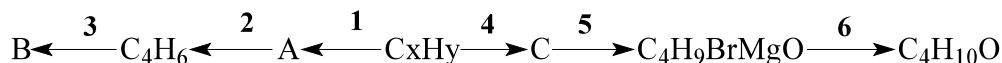


Решение. Приведем один из возможных вариантов решения:

- 1) $2\text{Zn} + \text{O}_2 \xrightarrow{t^\circ} 2\text{ZnO}$;
- 2) $\text{ZnO} + 2\text{HCl}(\text{p-p}) \rightarrow \text{ZnCl}_2 + \text{H}_2\text{O}$;
- 3) $\text{ZnCl}_2 + 4\text{NH}_3(\text{p-p, изб.}) \rightarrow [\text{Zn}(\text{NH}_3)_4]\text{Cl}_2$;
- 4) $[\text{Zn}(\text{NH}_3)_4]\text{Cl}_2 + \text{H}_2\text{S} \rightarrow \text{ZnS}\downarrow + 2\text{NH}_4\text{Cl} + 2\text{NH}_3$;
- 5) $\text{ZnS} + 10\text{HNO}_3(\text{конц}) \xrightarrow{t^\circ} \text{Zn(NO}_3)_2 + \text{H}_2\text{SO}_4 + 8\text{NO}_2\uparrow + 4\text{H}_2\text{O}$;
- 6) $2\text{ZnS} + 3\text{O}_2 \rightarrow 2\text{ZnO} + 2\text{SO}_2\uparrow$.

Ответ: X1 – ZnO; X2 – $[\text{Zn}(\text{NH}_3)_4]\text{Cl}_2$; X3 – ZnS.

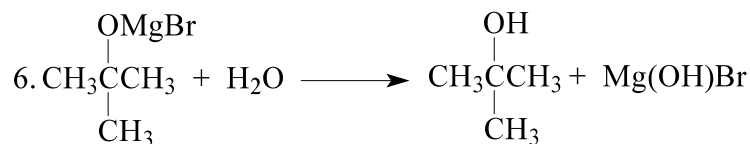
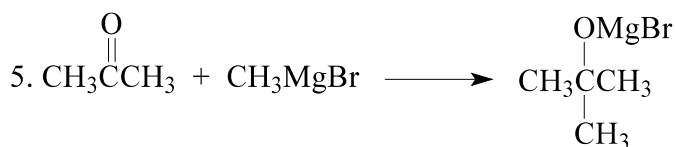
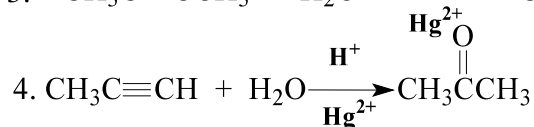
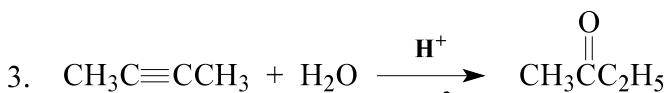
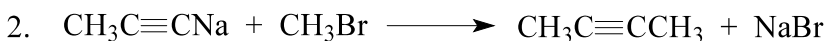
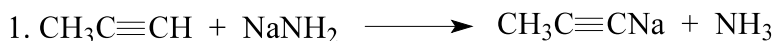
8. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей последовательности превращений:



Вещества В и С – гомологи.

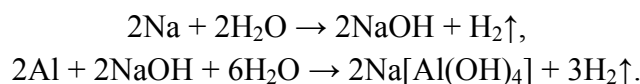
Укажите структурные формулы веществ и условия протекания реакций. (12 баллов)

Решение. Приведем один из возможных вариантов решения:



9. Смесь натрия и алюминия массой 21.1 г полностью растворили в 100 мл воды. Объем выделившегося при этом водорода составил 12.32 л (н. у.). Рассчитайте массовые доли металлов в исходной смеси. Какой объем 0.5 М раствора соляной 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 натрия за x моль, а количество алюминия – за y моль, тогда

$$m(\text{смеси}) = m(\text{Na}) + m(\text{Al}) = x \cdot M(\text{Na}) + y \cdot M(\text{Al}) = 23x + 27y = 21.1.$$

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

$$v(\text{H}_2) = \frac{12.32}{22.4} = 0.55 \text{ моль},$$

с другой стороны,

$$v(\text{H}_2) = 0.5x + 1.5y = 0.55.$$

Составим и решим систему из двух уравнений с двумя неизвестными:

$$\begin{cases} 23x + 27y = 21.1, \\ 0.5x + 1.5y = 0.55. \end{cases}$$

Решение системы: $x = 0.8$, $y = 0.1$ (моль). Массы металлов в смеси составляют

$$m(\text{Na}) = 0.8 \cdot 23 = 18.4 \text{ г},$$

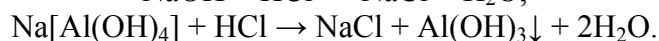
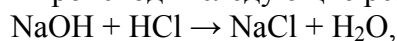
$$m(\text{Al}) = 0.1 \cdot 27 = 2.7 \text{ г}.$$

Массовые доли металлов в смеси:

$$\omega(\text{Na}) = \frac{m(\text{Na})}{m(\text{смеси})} = \frac{18.4}{21.1} = 0.872 \text{ (или 87.2\%)},$$

$$\omega(\text{Al}) = 0.128 \text{ (или 12.8\%)}.$$

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.

$$v(\text{HCl}) = v(\text{NaOH}) + v(\text{Na}[\text{Al}(\text{OH})_4]) = 0.7 + 0.1 = 0.8 \text{ моль}.$$

$$V(\text{р-ра HCl}) = \frac{v}{c} = \frac{0.8}{0.5} = 1.6 \text{ л}.$$

Определим массу осадка гидроксида алюминия:

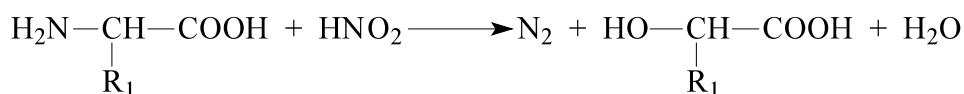
$$v(\text{Al}(\text{OH})_3) = v(\text{Al}) = 0.1 \text{ моль},$$

$$m(\text{Al}(\text{OH})_3) = v \cdot M = 0.1 \cdot 78 = 7.8 \text{ г},$$

Ответ: 87.2% Na, 12.8% Al, 1.6 л, 7.8 г.

10. Для сжигания 15.55 г смеси двух природных аминокислот потребовалось 21.56 л кислорода (н. у.). Определите состав и строение аминокислот, если известно, что при обработке азотистой кислотой одной из аминокислот массой 7.3 г выделилось 2.24 л газа (н. у.), а для полной этерификации 13.2 г второй аминокислоты потребовалось 4.6 мл этилового спирта (плотность 0.8 г/мл). Рассчитайте массовые доли аминокислот в исходной смеси. (14 баллов)

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



Количество выделившегося азота:

$$v(\text{N}_2) = \frac{2.24}{22.4} = 0.1 \text{ моль},$$

и при условии наличия в первой аминокислоте только одной аминогруппы

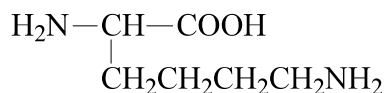
$$v(\text{аминокислоты}) = v(\text{N}_2) = 0.1 \text{ моль.}$$

$$\text{Тогда } M(\text{аминокислоты}) = \frac{m}{v} = \frac{7.3}{0.1} = 73 \text{ г/моль, откуда } M(\text{R}_1) = 73 - 74 < 0, \text{ что}$$

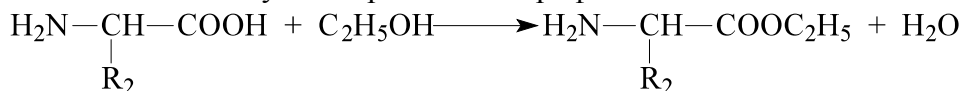
невозможно – следовательно, радикал R_1 должен содержать группу, способную вступать в реакцию с азотистой кислотой. В таком случае $v(\text{аминокислоты}) = 0.5v(\text{N}_2) = 0.05$ моль и

$$\text{тогда } M(\text{аминокислоты}) = \frac{m}{v} = \frac{7.3}{0.05} = 146 \text{ г/моль, откуда } M(\text{R}_1) = 146 - 74 = 72 \text{ г/моль.}$$

Следовательно, первая аминокислота – лизин:



Вторая аминокислота вступает в реакцию этерификации:



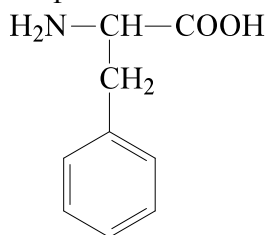
Количество этанола равно

$$v(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = \frac{4.6 \cdot 0.8}{46} = 0.08 \text{ моль,}$$

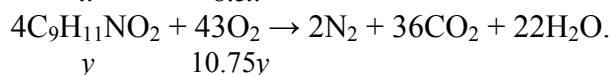
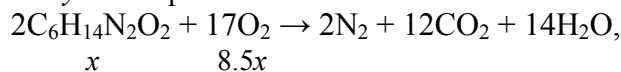
и при условии наличия в составе второй аминокислоты только лишь одной группы, способной вступать в реакцию этерификации, $v(\text{аминокислоты}) = v(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = 0.08$ моль и

$$\text{тогда } M(\text{аминокислоты}) = \frac{13.2}{0.08} = 165 \text{ г/моль, откуда } M(\text{R}_2) = 165 - 74 = 91 \text{ г/моль.}$$

Следовательно, вторая аминокислота – фенилаланин:



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



Найдем количество кислорода:

$$v(\text{O}_2) = \frac{21.56}{22.4} = 0.9625 \text{ моль.}$$

Составим и решим систему уравнений:

$$\begin{cases} 146x + 165y = 15.55, \\ 8.5x + 10.75y = 0.9625. \end{cases}$$

Находим $x = y = 0.05$ (моль). Тогда массы аминокислот в смеси:

$$m(\text{лизина}) = 0.05 \cdot 146 = 7.3 \text{ г,}$$

$$m(\text{фенилаланина}) = 0.05 \cdot 165 = 8.25 \text{ г.}$$

$$\omega(\text{лизина}) = \frac{7.3}{15.55} = 0.469 \text{ (или 46.9\%),}$$

$$\omega(\text{фенилаланина}) = \frac{8.25}{15.55} = 0.531 \text{ (или 53.1\%).}$$

Ответ: 46.9% лизина и 53.1% фенилаланина.

Вариант 4

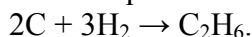
1. Ион XO_3^- содержит 42 электрона. Определите неизвестный элемент и напишите уравнение взаимодействия X в виде простого вещества с горячим раствором гидроксида калия. (6 баллов)

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:



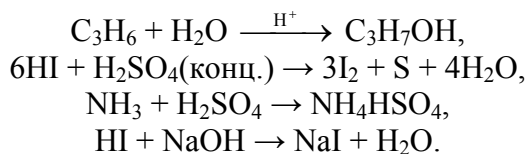
Количества веществ составляют $\nu(\text{C}) = 8$ моль, $\nu(\text{H}_2) = 15$ моль, значит, углерод был в недостатке. Из восьми молей углерода образуются четыре моля этана, следовательно, теплота образования этана равна

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

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:

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

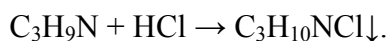
отсюда

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

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 прокаливании 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:

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

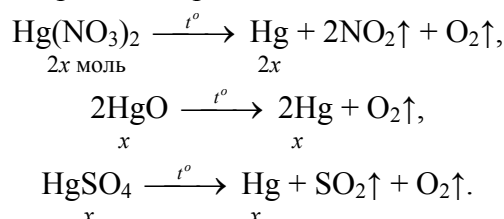
Получаем $M \approx 87$ (г/моль). Эта масса соответствует стронцию, однако он не может проявлять в соединениях степень окисления +1.

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 прокаливании – это ртуть:

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

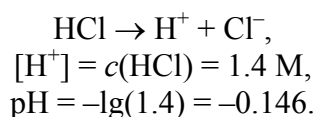
Ответ: в 1.45 раза.

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)

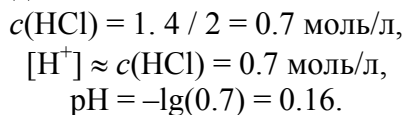
Решение. Уксусная кислота – слабая:

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

Соляная кислота – сильная, в растворе диссоциирует полностью:

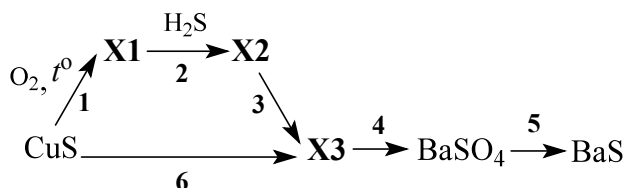


При смешении равных объемов растворов концентрация каждой кислоты уменьшится в два раза. В полученном растворе концентрация $[\text{H}^+]$ будет определяться диссоциацией только сильной кислоты HCl, поскольку диссоциация слабой кислоты CH_3COOH в присутствии сильной заметно подавляется.



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).

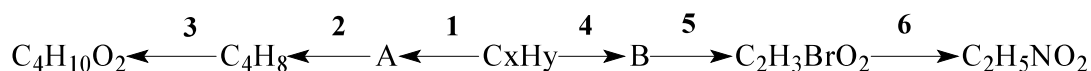


Решение. Приведем один из возможных вариантов решения:

- 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.



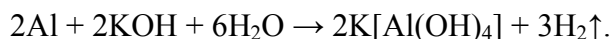
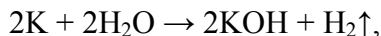
Укажите структурные формулы веществ и условия протекания реакций. (12 баллов)

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

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

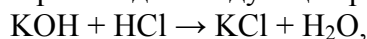
$$m(\text{Al}) = 0.02 \cdot 27 = 0.54 \text{ г}.$$

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:

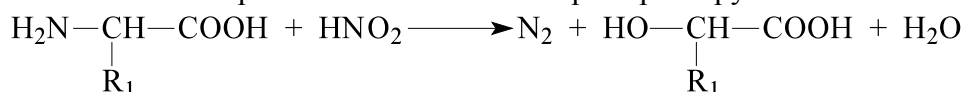
$$v(\text{Al}(\text{OH})_3) = v(\text{Al}) = 0.02 \text{ моль},$$

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

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:

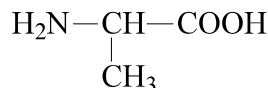
$$v(\text{N}_2) = \frac{0.672}{22.4} = 0.03 \text{ моль,}$$

и при условии наличия в первой аминокислоте только одной аминогруппы

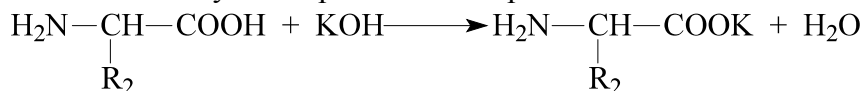
$$v(\text{аминокислоты}) = v(\text{N}_2) = 0.03 \text{ моль.}$$

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

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,

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

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

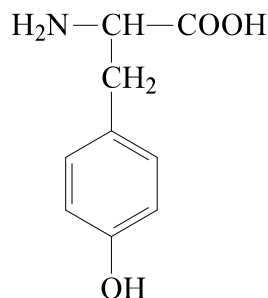
Природной аминокислоты с радикалом такой массы нет, следовательно, радикал R_2 должен содержать группу, способную вступать в реакцию со щёлочью.

В таком случае

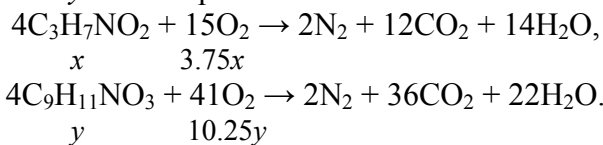
$$v(\text{аминокислоты}) = 0.5v(\text{KOH}) = 0.02 \text{ моль,}$$

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

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.