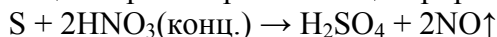


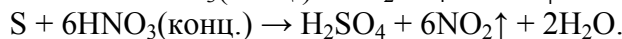
### Вариант 3

1. Ион  $\text{XO}_4^{2-}$  содержит 50 электронов. Определите неизвестный элемент и напишите уравнение взаимодействия  $\text{X}$  в виде простого вещества с горячей концентрированной азотной кислотой. (6 баллов)

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

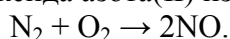


или



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:



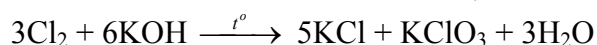
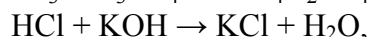
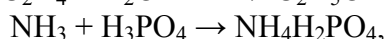
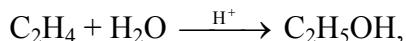
Количества веществ равны  $\nu(\text{N}_2) = 3$  моль,  $\nu(\text{O}_2) = 2$  моль, значит, кислород был в недостатке. Из двух молей кислорода образуются четыре моля  $\text{NO}$ , следовательно, теплота образования  $\text{NO}$  равна

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

*Ответ:*  $-90.2$  кДж/моль.

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

*Решение.* Безводный хлорид кальция может использоваться для обезвоживания всех указанных газов. Концентрированной фосфорной кислотой нельзя сушить  $\text{C}_2\text{H}_4$  и  $\text{NH}_3$ . Щелочью нельзя сушить  $\text{HCl}$  и  $\text{Cl}_2$ . Уравнения возможных реакций:



или



4. При добавлении к 0.5 л бутана ( $25^\circ\text{C}$ , 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

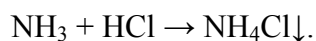
$$M = \frac{\rho RT}{p} = \frac{1.786 \cdot 8.31 \cdot 298}{101.3} = 43.66 \text{ г/моль}.$$

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  $\text{HCl}$ . 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?

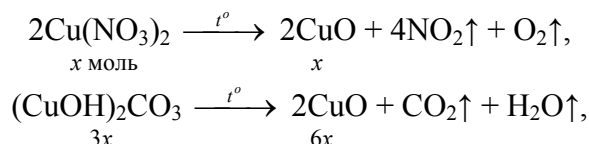
Решение. Эту задачу можно решать методом подбора. Однако с учетом того, что для металлов, находящихся в степени окисления +1, не известны основные карбонаты, начнем рассмотрение со степени окисления +2:

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

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

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  $\text{pH}$  азотной кислоты. Чему будет равен  $\text{pH}$  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:

$$\begin{aligned} \text{HNO}_3 &\rightarrow \text{H}^+ + \text{NO}_3^-, \\ [\text{H}^+] &= c(\text{HNO}_3) = 0.253 \text{ M,} \\ \text{pH} &= -\lg(0.253) = 0.60. \end{aligned}$$

При смешении равных объемов растворов концентрация каждой кислоты уменьшится в два раза. В полученном растворе концентрация  $[\text{H}^+]$  будет определяться диссоциацией только сильной кислоты  $\text{HNO}_3$ , поскольку диссоциация слабой кислоты HF в присутствии сильной заметно подавляется.

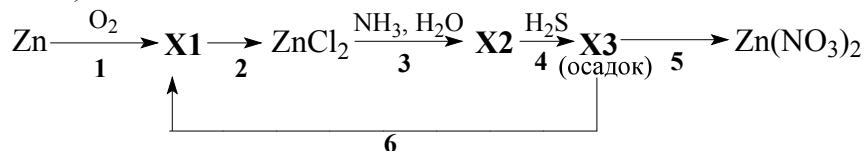
$$c(\text{HNO}_3) = 0.253 / 2 = 0.126 \text{ моль/л,}$$

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

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

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).

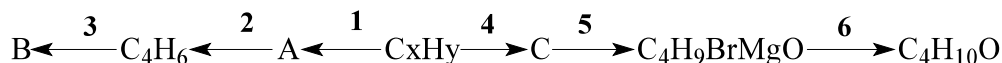


Решение. Приведем один из возможных вариантов решения:

- 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.

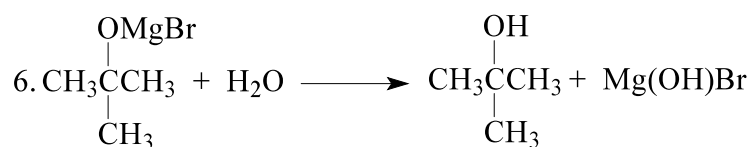
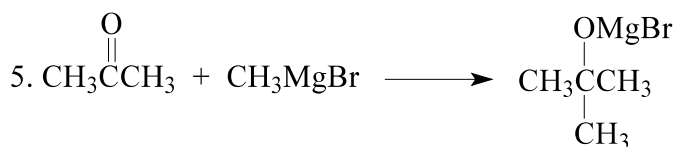
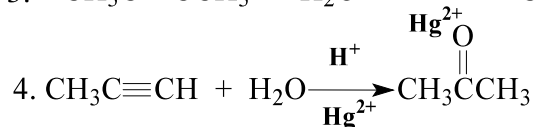
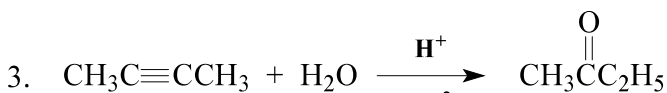
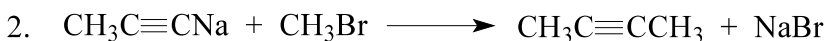
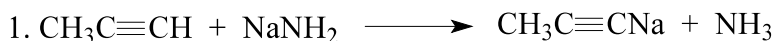
8. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей последовательности превращений:



Вещества В и С – гомологи.

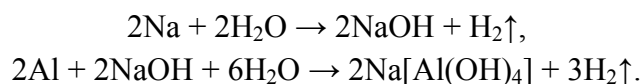
Укажите структурные формулы веществ и условия протекания реакций. (12 баллов)

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

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

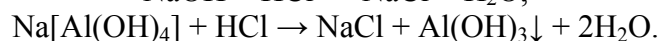
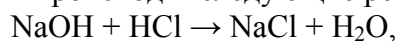
$$m(\text{Al}) = 0.1 \cdot 27 = 2.7 \text{ г}.$$

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:

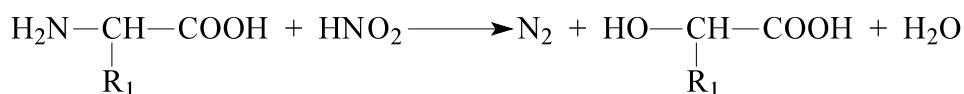
$$v(\text{Al}(\text{OH})_3) = v(\text{Al}) = 0.1 \text{ моль},$$

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

*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

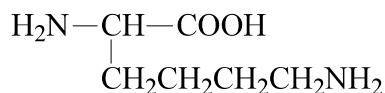
$$v(\text{аминокислоты}) = v(\text{N}_2) = 0.1 \text{ моль.}$$

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

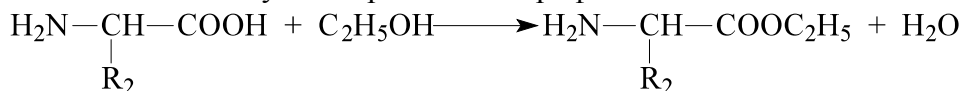
невозможно – следовательно, радикал  $\text{R}_1$  должен содержать группу, способную вступать в реакцию с азотистой кислотой. В таком случае  $v(\text{аминокислоты}) = 0.5v(\text{N}_2) = 0.05$  моль и

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

Следовательно, первая аминокислота – лизин:



Вторая аминокислота вступает в реакцию этерификации:



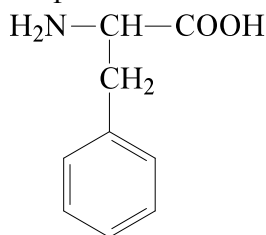
Количество этанола равно

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

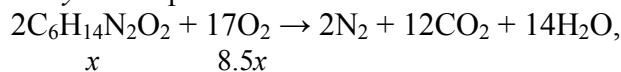
и при условии наличия в составе второй аминокислоты только лишь одной группы, способной вступать в реакцию этерификации,  $v(\text{аминокислоты}) = v(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = 0.08$  моль и

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

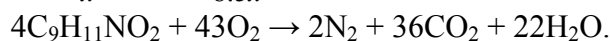
Следовательно, вторая аминокислота – фенилаланин:



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



$$x \qquad \qquad 8.5x$$



$$y \qquad \qquad 10.75y$$

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.