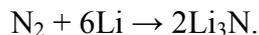


## Вариант 1

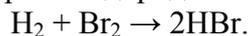
1. Ион  $\text{XO}_2^-$  содержит 24 электрона. Определите неизвестный элемент и напишите уравнение взаимодействия  $\text{X}$  в виде простого вещества с раскалённым литием. (6 баллов)

*Решение.* Неизвестный элемент  $\text{X}$  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,

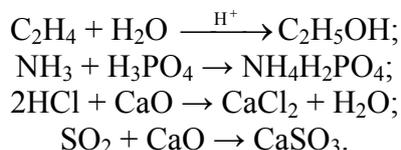
бром был взят в недостатке. Из трех молей брома образуется шесть молей бромоводорода. Следовательно, теплота образования бромоводорода равна

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

*Ответ:* 36.3 кДж/моль.

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

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



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

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

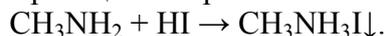
отсюда

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

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  $\text{HI}$ . 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 прокаливании при 800°C, если содержание металла в смеси составляет 78.89% по массе? (10 баллов)

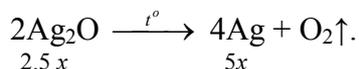
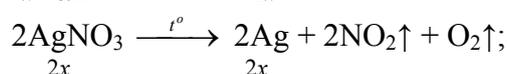
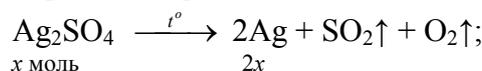
Решение. Будем решать задачу методом подбора. Пусть металл Me имеет степень окисления +1:

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

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

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

При прокаливании смеси протекают реакции:



Пусть в исходной смеси было  $x$  моль  $\text{Ag}_2\text{SO}_4$ ,  $2x$  моль  $\text{AgNO}_3$  и  $2.5x$  моль  $\text{Ag}_2\text{O}$ . Твердый остаток после прокаливании – это серебро:

$$m(\text{исх. смеси}) = (312 + 2 \cdot 170 + 2.5 \cdot 232) \cdot x = 1232x,$$

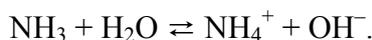
$$m(\text{Ag}) = 108 \cdot 9x = 972x.$$

$$\frac{m(\text{исх.})}{m(\text{Ag})} = \frac{1232x}{972x} = 1.27.$$

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  $\text{pH}$  раствора гидроксида натрия. Чему будет равен  $\text{pH}$  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:

$$[\text{H}^+] = 10^{-\text{pH}} = 10^{-11.7} \text{ моль/л,}$$

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

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

$$K_a = \frac{[\text{NH}_4^+][\text{OH}^-]}{[\text{NH}_3]} = \frac{[\text{OH}^-]^2}{c - [\text{OH}^-]},$$

$$c = \frac{[\text{OH}^-]^2}{K_b} + [\text{OH}^-] = 1.4 \text{ моль/л.}$$

Гидроксид натрия – сильное основание, в растворе диссоциирует полностью:



$$[\text{OH}^-] = c(\text{NaOH}) = 1.4 \text{ моль/л,}$$

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

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

При смешении равных объемов растворов концентрация каждого основания уменьшится в два раза. В полученном растворе концентрация  $[\text{OH}^-]$  будет определяться диссоциацией только сильного основания  $\text{NaOH}$ , поскольку диссоциация слабого основания  $\text{NH}_3$  в присутствии сильного заметно подавляется.

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

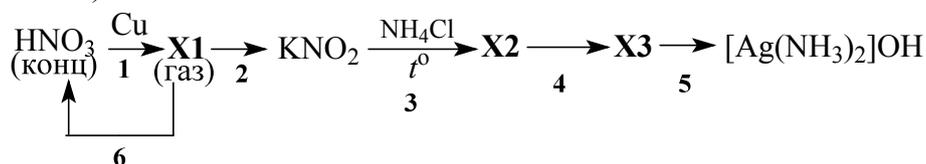
$$[\text{OH}^-] \approx c(\text{NaOH}) = 0.7 \text{ моль/л,}$$

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

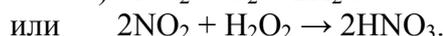
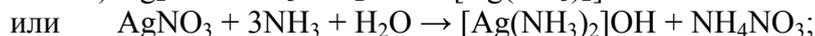
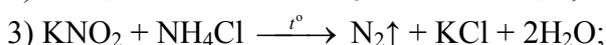
$$\text{pH} = -\lg[\text{H}^+] = 13.85.$$

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).

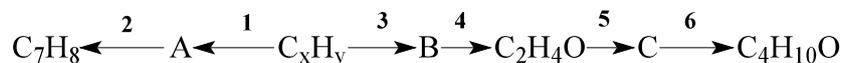


Решение. Приведем один из возможных вариантов решения:



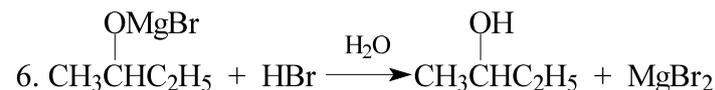
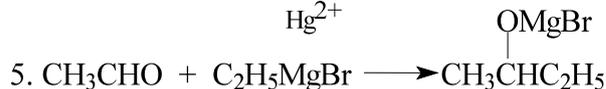
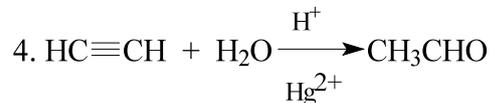
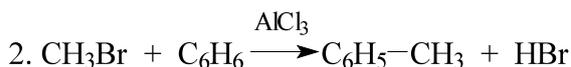
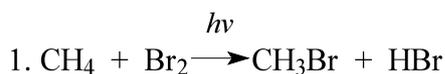
Ответ: **X1** –  $\text{NO}_2$ ; **X2** –  $\text{N}_2$ ; **X3** –  $\text{NH}_3$ .

8. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей последовательности превращений.

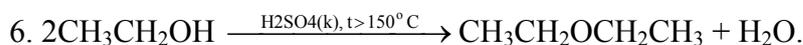
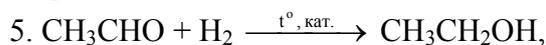


Укажите структурные формулы веществ и условия протекания реакций. (12 баллов)

Решение. Приведем один из возможных вариантов решения:

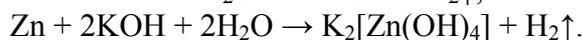
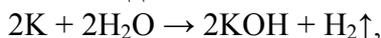


Другой вариант:



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:

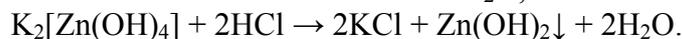
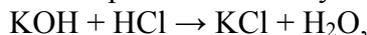
$$\begin{cases} x = 20y, \\ 0.5x + y = 0.44. \end{cases}$$

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.

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

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

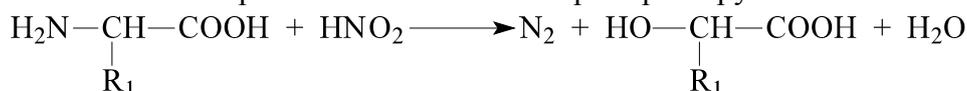
Определим массу осадка:

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

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

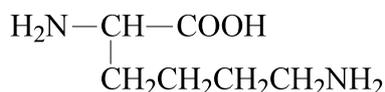
$$v(\text{аминокислоты}) = v(\text{N}_2) = 0.1 \text{ моль.}$$

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



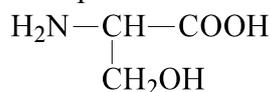
$$v(\text{NaOH}) = \frac{10 \cdot 0.24}{40} = 0.06 \text{ моль.}$$

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

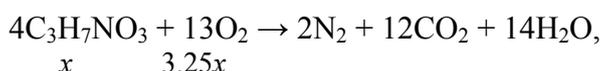
$$v(\text{аминокислоты}) = v(\text{NaOH}) = 0.03 \text{ моль,}$$

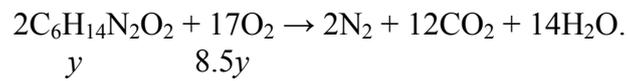
и тогда  $M(\text{аминокислоты}) = \frac{6.3}{0.06} = 105 \text{ г/моль}$ , откуда  $M(\text{R}_2) = 105 - 74 = 31 \text{ г/моль}$ .

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.