

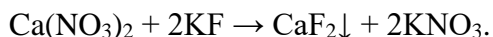
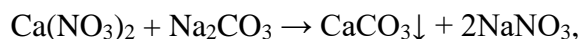
## Решения задач отборочного тура олимпиады «Ломоносов» по химии

### 10-11 классы

#### Задача 1 (4 балла)

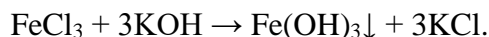
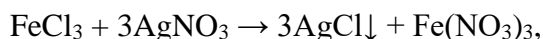
**1.1.** Приведите пример растворимой в воде соли, при добавлении к которой как раствора карбоната натрия, так и раствора фторида калия образуется осадок. Запишите уравнения соответствующих реакций.

*Решение.* Один из вариантов ответа – растворимая соль кальция:



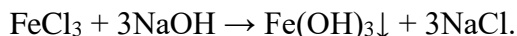
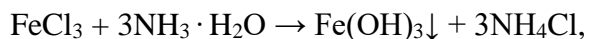
**1.2.** Приведите пример растворимой в воде соли, при добавлении к которой как раствора нитрата серебра, так и избытка раствора щелочи образуется осадок. Запишите уравнения соответствующих реакций.

*Решение.* Один из вариантов ответа – растворимый галогенид железа:



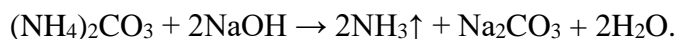
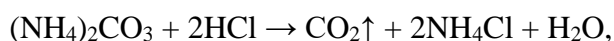
**1.3.** Приведите пример растворимой в воде соли, при добавлении к которой как избытка раствора аммиака, так и избытка раствора гидроксида натрия образуется осадок. Запишите уравнения соответствующих реакций.

*Решение.* Один из вариантов ответа – растворимый галогенид металла, образующего нерастворимый гидроксид и не образующего комплексного соединения как с избытком щелочи, так и с избытком аммиака:



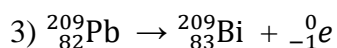
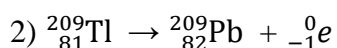
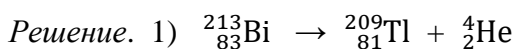
**1.4.** Приведите пример растворимой в воде соли, при добавлении к которой как соляной кислоты, так и раствора гидроксида натрия выделяется газ. Запишите уравнения соответствующих реакций.

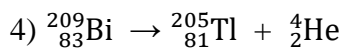
*Решение.* Один из вариантов ответа – карбонат аммония:



#### Задача 2 (8 баллов)

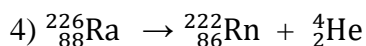
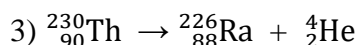
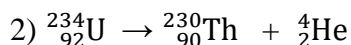
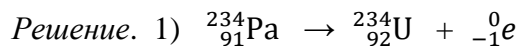
**2.1.** На схеме представлен фрагмент радиоактивного ряда. Определите неизвестные элементы А, В и С, а также тип распада X. Напишите соответствующие уравнения реакций.





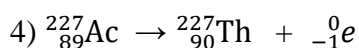
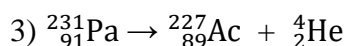
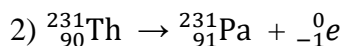
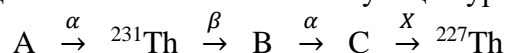
Ответ: А –  ${}^{213}_{83}\text{Bi}$ , В –  ${}^{209}_{82}\text{Pb}$ , С –  ${}^{209}_{83}\text{Bi}$ , Х –  $\alpha$ -распад.

**2.2.** На схеме представлен фрагмент радиоактивного ряда. Определите неизвестные элементы А, В и С, а также тип распада Х. Напишите соответствующие уравнения реакций.



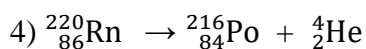
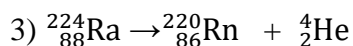
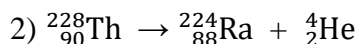
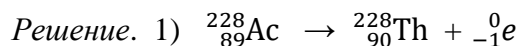
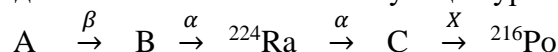
Ответ: А –  ${}^{234}_{91}\text{Pa}$ , В –  ${}^{234}_{92}\text{U}$ , С –  ${}^{226}_{88}\text{Ra}$ , Х –  $\alpha$ -распад.

**2.3.** На схеме представлен фрагмент радиоактивного ряда. Определите неизвестные элементы А, В и С, а также тип распада Х. Напишите соответствующие уравнения реакций.



Ответ: А –  ${}^{235}_{92}\text{U}$ , В –  ${}^{231}_{91}\text{Pa}$ , С –  ${}^{227}_{89}\text{Ac}$ , Х –  $\beta$ -распад.

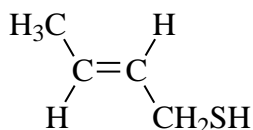
**2.4.** На схеме представлен фрагмент радиоактивного ряда. Определите неизвестные элементы А, В и С, а также тип распада Х. Напишите соответствующие уравнения реакций.



Ответ: А –  ${}^{228}_{89}\text{Ac}$ , В –  ${}^{228}_{90}\text{Th}$ , С –  ${}^{220}_{86}\text{Rn}$ , Х –  $\alpha$ -распад.

### Задача 3 (10 баллов)

**3.1.** *Транс*-бут-2-ентиол – основной компонент жидкости, вырабатываемой железой скунса. Рассчитайте плотность (в единицах г/л) газовой смеси, полученной при полном сгорании *транс*-бут-2-ентиола (108°C, 1 атм).



*Решение.* Запишем уравнение полного сгорания *транс*-бут-2-ентиола:



При сгорании 1 моль вещества образовалось 9 моль продуктов (в указанных условиях все продукты реакции – газы). Средняя молярная масса смеси продуктов:

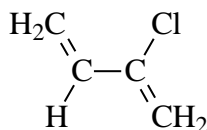
$$M_{\text{ср}} = \frac{44 \cdot 4 + 18 \cdot 4 + 64 \cdot 1}{9} = 34.67 \text{ г/моль.}$$

Плотность газовой смеси при указанных условиях:

$$\rho = \frac{p \cdot M}{R \cdot T} = \frac{101.3 \cdot 34.67}{8.314 \cdot 381} = 1.109 \text{ г/л.}$$

*Ответ:* 1.109 г/л.

**3.2.** Полимер, получаемый из хлоропрена (2-хлорбутадиена-1,3), широко используется для производства электроизоляционных материалов. Рассчитайте плотность (в единицах г/л) газовой смеси, полученной при полном сгорании хлоропрена (105°C, 1 атм).



*Решение.* Запишем уравнение полного сгорания хлоропрена:



При сгорании 1 моль вещества образовалось 7 моль продуктов (в указанных условиях все продукты реакции – газы). Средняя молярная масса смеси продуктов:

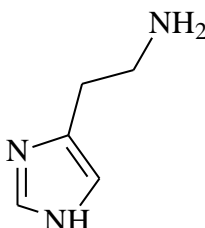
$$M_{\text{ср}} = \frac{44 \cdot 4 + 18 \cdot 2 + 36.5 \cdot 1}{7} = 35.5 \text{ г/моль.}$$

Плотность газовой смеси при указанных условиях:

$$\rho = \frac{p \cdot M}{R \cdot T} = \frac{101.3 \cdot 35.5}{8.314 \cdot 378} = 1.144 \text{ г/л.}$$

*Ответ:* 1.144 г/л.

**3.3.** Гистамин является биогенным амином и медиатором аллергических реакций. Рассчитайте плотность (в единицах г/л) газовой смеси, полученной при полном сгорании гистамина (29°C, 1 атм).



*Решение.* Запишем уравнение полного сгорания гистамина:



При сгорании 1 моль вещества образовалось 6.5 моль газообразных продуктов (в указанных условиях  $\text{CO}_2$  и  $\text{N}_2$  – газы, вода – жидкость). Средняя молярная масса газовой смеси:

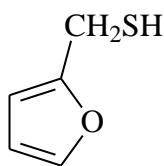
$$M_{\text{ср}} = \frac{44 \cdot 5 + 28 \cdot 1.5}{6.5} = 40.3 \text{ г/моль.}$$

Плотность газовой смеси при указанных условиях:

$$\rho = \frac{p \cdot M}{R \cdot T} = \frac{101.3 \cdot 40.3}{8.314 \cdot 302} = 1.626 \text{ г/л.}$$

*Ответ:* 1.626 г/л.

**3.4.** Основной носитель запаха жареного кофе – 2-фурфурилтиол. Рассчитайте плотность (в единицах г/л) газовой смеси, полученной при полном сгорании этого вещества ( $105^\circ\text{C}$ , 1 атм).



*Решение.* Запишем уравнение полного сгорания 2-фурфурилтиола:



При сгорании 1 моль вещества образовалось 9 моль продуктов (в указанных условиях все продукты реакции – газы). Средняя молярная масса смеси продуктов:

$$M_{\text{ср}} = \frac{44 \cdot 5 + 18 \cdot 3 + 64 \cdot 1}{9} = 37.56 \text{ г/моль.}$$

Плотность газовой смеси при указанных условиях:

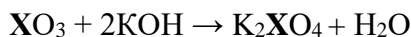
$$\rho = \frac{p \cdot M}{R \cdot T} = \frac{101.3 \cdot 37.56}{8.314 \cdot 378} = 1.209 \text{ г/л.}$$

*Ответ:* 1.209 г/л.

## Задача 4 (12 баллов)

**4.1.** Кислотный оксид  $\text{XO}_3$  массой 7.62 г, представляющий собой кристаллическое вещество, обработали 125 г 13.44%-ного раствора гидроксида калия и получили раствор, в котором массовая доля соли составила 10%. Определите элемент **X** и установите формулу соли. Рассчитайте массовую долю щелочи в конечном растворе.

*Решение.* Так как в конечном растворе по условию остался избыток щелочи, можно предположить, что при реакции оксида  $\text{XO}_3$  с раствором гидроксида калия образовалась соль состава  $\text{K}_2\text{XO}_4$ :



Масса образовавшегося раствора:

$$m(\text{р-ра}) = 125 + 7.62 = 132.62 \text{ г,}$$

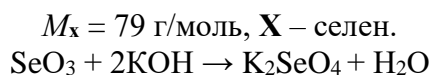
масса соли в нем:

$$m(\text{соли}) = 132.62 \cdot 0.1 = 13.262 \text{ г.}$$

По уравнению реакции количества оксида и соли равны:

$$\nu(\text{XO}_3) = \nu(\text{K}_2\text{XO}_4),$$

$$7.62 / (M_{\text{X}} + 48) = 13.262 / (M_{\text{X}} + 142),$$



Количество вещества исходного оксида:

$$\nu(\text{SeO}_3) = 7.62 / 127 = 0.06 \text{ моль.}$$

В реакцию с  $\text{SeO}_3$  вступило щелочи

$$\nu(\text{KOH}) = 0.06 \cdot 2 = 0.12 \text{ моль.}$$

В конечном растворе осталось KOH

$$m(\text{KOH}) = 125 \cdot 0.1344 - 56 \cdot 0.12 = 10.08 \text{ г,}$$

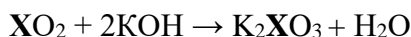
его массовая доля

$$\omega(\text{KOH}) = 10.08 / 132.62 = 0.076 (7.6\%).$$

Ответ: X – селен, соль –  $\text{K}_2\text{SeO}_4$ , 7.6% KOH.

**4.2.** Кислотный оксид  $\text{XO}_2$  массой 11.2 г, представляющий собой кристаллическое вещество, обработали 166.6 г 14.12%-ного раствора гидроксида калия и получили раствор, в котором массовая доля соли составила 10%. Определите элемент X и установите формулу соли. Рассчитайте массовую долю щелочи в конечном растворе.

*Решение.* Так как в конечном растворе по условию остался избыток щелочи, можно предположить, что при реакции оксида  $\text{XO}_2$  с раствором гидроксида калия образовалась соль состава  $\text{K}_2\text{XO}_3$ :



Масса образовавшегося раствора:

$$m(\text{р-ра}) = 166.6 + 11.2 = 177.8 \text{ г,}$$

масса соли в нем:

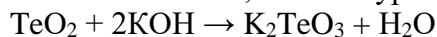
$$m(\text{соли}) = 177.8 \cdot 0.1 = 17.78 \text{ г.}$$

По уравнению реакции количества оксида и соли равны:

$$\nu(\text{XO}_2) = \nu(\text{K}_2\text{XO}_3),$$

$$11.2 / (M_X + 32) = 17.78 / (M_X + 126),$$

$$M_X = 128 \text{ г/моль, } X - \text{теллур.}$$



Количество вещества исходного оксида:

$$\nu(\text{TeO}_2) = 11.2 / 160 = 0.07 \text{ моль.}$$

В реакцию с  $\text{TeO}_2$  вступило щелочи

$$\nu(\text{KOH}) = 0.07 \cdot 2 = 0.14 \text{ моль.}$$

В конечном растворе осталось KOH

$$m(\text{KOH}) = 166.6 \cdot 0.1412 - 56 \cdot 0.14 = 15.68 \text{ г,}$$

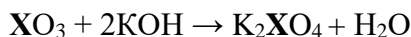
его массовая доля

$$\omega(\text{KOH}) = 15.68 / 177.8 = 0.088 (8.8\%).$$

Ответ: X – теллур, соль –  $\text{K}_2\text{TeO}_3$ , 8.8% KOH.

**4.3.** Кислотный оксид  $\text{XO}_3$  массой 4.50 г, представляющий собой кристаллическое вещество, обработали 170.1 г 7.90%-ного раствора гидроксида калия и получили раствор, в котором массовая доля соли составила 5%. Определите элемент X и установите формулу соли. Рассчитайте массовую долю щелочи в конечном растворе.

*Решение.* Так как в конечном растворе по условию остался избыток щелочи, можно предположить, что при реакции оксида  $\text{XO}_3$  с раствором гидроксида калия образовалась соль состава  $\text{K}_2\text{XO}_4$ :



Масса образовавшегося раствора:

$$m(\text{р-ра}) = 170.1 + 4.50 = 174.6 \text{ г,}$$

$$m(\text{соли}) = 174.6 \cdot 0.05 = 8.73 \text{ г.}$$

По уравнению реакции количества оксида и соли равны:

$$\begin{aligned}v(\text{XO}_3) &= v(\text{K}_2\text{XO}_4), \\4.50 / (M_{\text{X}} + 48) &= 8.73 / (M_{\text{X}} + 142), \\M_{\text{X}} &= 52 \text{ г/моль, X – хром.}\end{aligned}$$

Количество вещества исходного оксида:

$$v(\text{CrO}_3) = 4.50 / 100 = 0.045 \text{ моль.}$$

В реакцию с  $\text{CrO}_3$  вступило щелочи:

$$v(\text{KOH}) = 0.045 \cdot 2 = 0.09 \text{ моль.}$$

В конечном растворе осталось KOH

$$m(\text{KOH}) = 170.1 \cdot 0.0790 - 56 \cdot 0.09 = 8.40 \text{ г,}$$

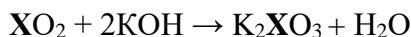
его массовая доля

$$\omega(\text{KOH}) = 8.40 / 174.6 = 0.048 \text{ (4.8\%).}$$

Ответ: X – хром, соль –  $\text{K}_2\text{CrO}_4$ , 4.8% KOH.

**4.4.** Кислотный оксид  $\text{XO}_2$  массой 5.55 г, представляющий собой кристаллическое вещество, обработали 140.9 г 8.74%-ного раствора гидроксида калия и получили раствор, в котором массовая доля соли составила 7%. Определите элемент X и установите формулу соли. Рассчитайте массовую долю щелочи в конечном растворе.

*Решение.* Так как в конечном растворе по условию остался избыток щелочи, можно предположить, что при реакции оксида  $\text{XO}_2$  с раствором гидроксида калия образовалась соль состава  $\text{K}_2\text{XO}_3$ :



Масса образовавшегося раствора:

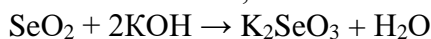
$$m(\text{р-а}) = 140.9 + 5.55 = 146.45 \text{ г,}$$

масса соли в нем:

$$m(\text{соли}) = 146.45 \cdot 0.07 = 10.25 \text{ г.}$$

По уравнению реакции количества оксида и соли равны:

$$\begin{aligned}v(\text{XO}_2) &= v(\text{K}_2\text{XO}_3), \\5.55 / (M_{\text{X}} + 32) &= 10.25 / (M_{\text{X}} + 126), \\M_{\text{X}} &= 79 \text{ г/моль, X – селен.}\end{aligned}$$



Количество вещества исходного оксида:

$$v(\text{SeO}_2) = 5.55 / 111 = 0.05 \text{ моль.}$$

В реакцию с  $\text{SeO}_2$  вступило щелочи

$$v(\text{KOH}) = 0.05 \cdot 2 = 0.10 \text{ моль.}$$

В конечном растворе осталось KOH

$$m(\text{KOH}) = 140.9 \cdot 0.0874 - 56 \cdot 0.10 = 6.71 \text{ г,}$$

ее массовая доля

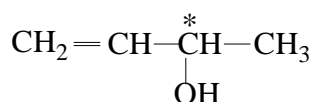
$$\omega(\text{KOH}) = 6.71 / 146.45 = 0.046 \text{ (4.6\%).}$$

Ответ: X – селен, соль –  $\text{K}_2\text{SeO}_3$ , 4.6% KOH.

## Задача 5 (14 баллов)

**5.1.** Изомерные спирты **A** (оптически активный) и **B** (оптически неактивный) имеют брутто-формулу  $\text{C}_4\text{H}_8\text{O}$ . Обработка спиртов концентрированной серной кислотой дает один и тот же углеводород **C**. При действии бромоводорода на **C** возможно образование двух изомеров **D** и **E** состава  $\text{C}_4\text{H}_7\text{Br}$ . Определите неизвестные соединения, запишите уравнения протекающих реакций.

*Решение.* Изомерные спирты, отвечающие брутто-формуле  $\text{C}_4\text{H}_8\text{O}$ :

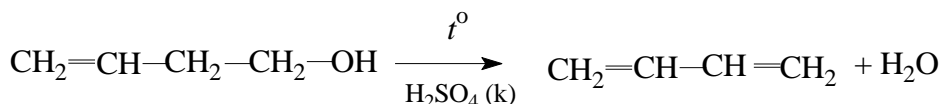
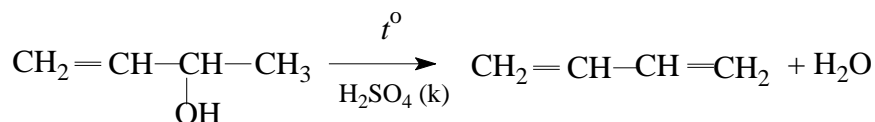


спирт **A**, оптически активный

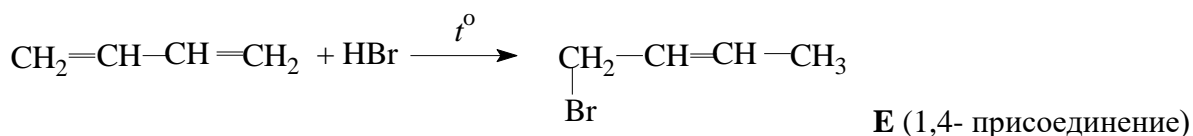
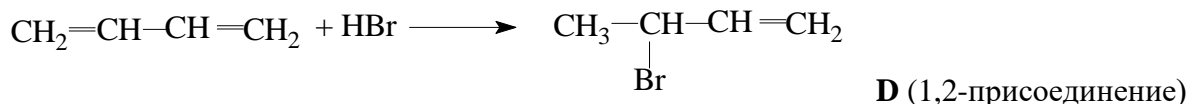


спирт **B**, оптически неактивный

Дегидратация спиртов под действием концентрированной  $\text{H}_2\text{SO}_4$  приводит к одному и тому же продукту – бутadiену (**C**):

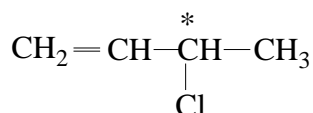


Присоединение эквимолярного количества бромоводорода к **C**, в зависимости от условий, дает разные продукты – изомеры состава  $\text{C}_4\text{H}_7\text{Br}$ :

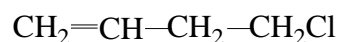


**5.2.** Изомерные хлориды **A** (оптически активный) и **B** (оптически неактивный) имеют брутто-формулу  $\text{C}_4\text{H}_7\text{Cl}$ . Обработка хлоридов спиртовым раствором щелочи дает один и тот же углеводород **C**. При действии бромоводорода на **C** возможно образование двух изомеров **D** и **E** состава  $\text{C}_4\text{H}_7\text{Br}$ . Определите неизвестные соединения, запишите уравнения протекающих реакций.

*Решение.* Изомерные хлориды, отвечающие брутто-формуле  $\text{C}_4\text{H}_7\text{Cl}$ :

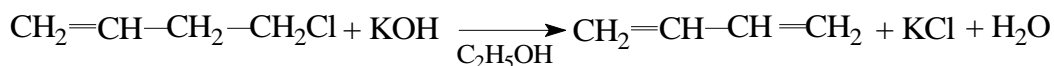
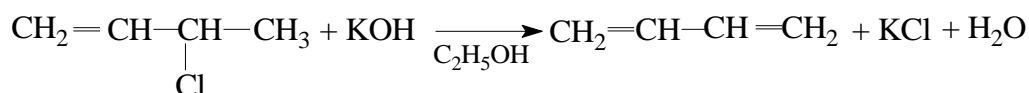


**A**, оптически активный

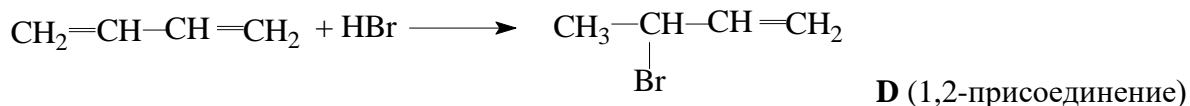


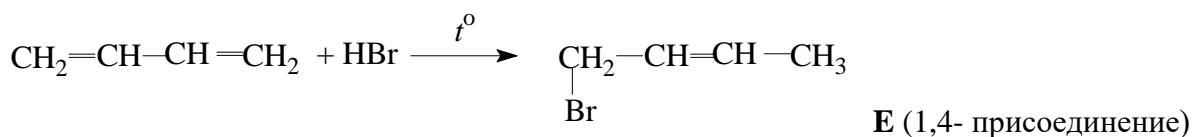
**B**, оптически неактивный

Дегидрогалогенирование под действием спиртового раствора щелочи приводит к одному и тому же продукту – бутadiену (**C**):

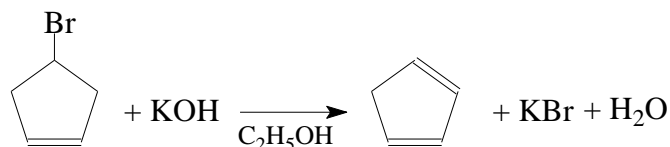


Присоединение эквимолярного количества бромоводорода к **C**, в зависимости от условий, дает разные продукты – изомеры состава  $\text{C}_4\text{H}_7\text{Br}$ :

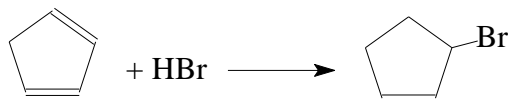




**5.3.** Изомерные бромиды **A** (оптически активный) и **B** (оптически неактивный) имеют брутто-формулу  $\text{C}_5\text{H}_7\text{Br}$ . Обработка бромидов спиртовым раствором щелочи дает один и тот же углеводород **C**, образующий при действии хлороводорода только одно соединение **D** состава  $\text{C}_5\text{H}_7\text{Cl}$ . Определите неизвестные соединения, запишите уравнения протекающих реакций.

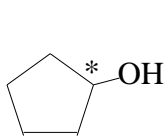


Присоединение бромоводорода к **C** дает только одно соединение **D**:

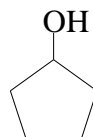


**5.4.** Изомерные спирты **A** (оптически активный) и **B** (оптически неактивный) имеют брутто-формулу  $\text{C}_5\text{H}_8\text{O}$ . Обработка спиртов концентрированной серной кислотой дает один и тот же углеводород **C**, образующий при действии бромоводорода только одно соединение **D** состава  $\text{C}_5\text{H}_7\text{Br}$ . Определите неизвестные соединения, запишите уравнения протекающих реакций.

*Решение.* Изомерные спирты, отвечающие брутто-формуле  $\text{C}_5\text{H}_8\text{O}$ :

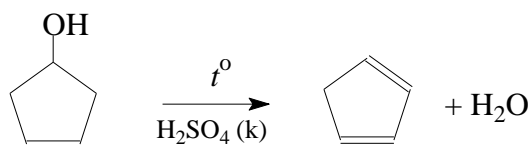
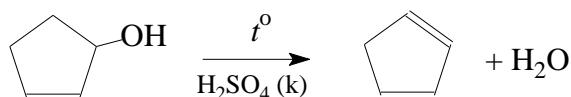


спирт **A**, оптически активный

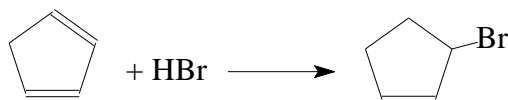


спирт **B**, оптически неактивный

Дегидратация спиртов под действием концентрированной  $\text{H}_2\text{SO}_4$  приводит к одному и тому же продукту – цикlopentadiену (**C**):

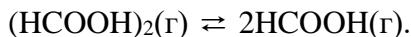


Присоединение бромоводорода к **C** дает только одно соединение **D**:



## Задача 6 (16 баллов)

**6.1.** Муравьиная кислота в газовой фазе частично димеризована и находится в равновесии со своим димером:



При температуре 150 °С и давлении 0.888 атм плотность равновесной газовой смеси равна 1.37 г/л. Рассчитайте константу равновесия  $K_c$  реакции диссоциации димера, выраженную через равновесные молярные концентрации. Газовую смесь считайте идеальной.

*Решение.* Молярная масса муравьиной кислоты  $M(\text{HCOOH}) = 46$  г/моль, а молярная масса димера  $M(\text{HCOOH})_2 = 92$  г/моль.

Пусть объём сосуда равен 1 л. Тогда масса смеси равна

$$1.37 \text{ г/л} \cdot 1 \text{ л} = 1.37 \text{ г}.$$

Пусть в равновесной смеси находится  $x$  моль мономера и  $y$  моль димера. Тогда

$$46x + 92y = 1.37.$$

Согласно уравнению Клапейрона–Менделеева,

$$pV = nRT,$$

или

$$(0.888 \cdot 101.3) \cdot 1 = (x + y) \cdot 8.31 \cdot (150 + 273).$$

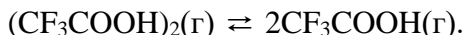
Решая полученную систему, находим:  $x = 2.14 \cdot 10^{-2}$ ,  $y = 4.19 \cdot 10^{-3}$ . Следовательно, равновесная концентрация мономера равна  $2.14 \cdot 10^{-2}$  моль/л, а димера  $4.19 \cdot 10^{-3}$  моль/л.

Константа равновесия  $K_c$  реакции диссоциации димера, выраженная через равновесные концентрации, равна

$$K_c = \frac{[\text{HCOOH}]^2}{[(\text{HCOOH})_2]} = \frac{(2.14 \cdot 10^{-2})^2}{4.19 \cdot 10^{-3}} = 0.109.$$

*Ответ:*  $K_c = 0.109$ .

**6.2.** Трифторуксусная кислота в газовой фазе частично димеризована и находится в равновесии со своим димером:



При температуре 150 °С и давлении 0.906 атм плотность равновесной газовой смеси равна 3.36 г/л. Рассчитайте константу равновесия  $K_c$  реакции диссоциации димера, выраженную через равновесные молярные концентрации. Газовую смесь считайте идеальной.

*Решение.* Молярная масса трифторуксусной кислоты  $M(\text{CF}_3\text{COOH}) = 114$  г/моль, а молярная масса димера  $M(\text{CF}_3\text{COOH})_2 = 228$  г/моль.

Пусть объём сосуда равен 1 л. Тогда масса смеси равна

$$3.36 \text{ г/л} \cdot 1 \text{ л} = 3.36 \text{ г}.$$

Пусть в равновесной смеси находится  $x$  моль мономера и  $y$  моль димера. Тогда

$$114x + 228y = 3.36.$$

Согласно уравнению Клапейрона–Менделеева,

$$pV = nRT,$$

или

$$(0.906 \cdot 101.3) \cdot 1 = (x + y) \cdot 8.31 \cdot (150 + 273).$$

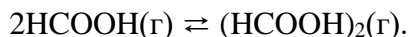
Решая полученную систему, находим:  $x = 2.27 \cdot 10^{-2}$ ,  $y = 3.36 \cdot 10^{-3}$ . Следовательно, равновесная концентрация мономера равна  $2.27 \cdot 10^{-2}$  моль/л, а димера  $3.36 \cdot 10^{-3}$  моль/л.

Константа равновесия  $K_c$  реакции диссоциации димера, выраженная через равновесные концентрации, равна

$$K_c = \frac{[\text{CF}_3\text{COOH}]^2}{[(\text{CF}_3\text{COOH})_2]} = \frac{(2.27 \cdot 10^{-2})^2}{3.36 \cdot 10^{-3}} = 0.153.$$

*Ответ:*  $K_c = 0.153$ .

**6.3.** Муравьиная кислота в газовой фазе частично димеризована и находится в равновесии со своим димером:



При температуре 140 °С и давлении 0.864 атм плотность равновесной газовой смеси равна 1.42 г/л. Рассчитайте константу равновесия  $K_c$  реакции димеризации, выраженную через равновесные молярные концентрации. Газовую смесь считайте идеальной.

*Решение.* Молярная масса муравьиной кислоты  $M(\text{НСООН}) = 46$  г/моль, а молярная масса димера  $M(\text{НСООН})_2 = 92$  г/моль.

Пусть объём сосуда равен 1 л. Тогда масса смеси равна

$$1.42 \text{ г/л} \cdot 1 \text{ л} = 1.42 \text{ г}.$$

Пусть в равновесной смеси находится  $x$  моль мономера и  $y$  моль димера. Тогда

$$46x + 92y = 1.42.$$

Согласно уравнению Клапейрона–Менделеева,

$$pV = nRT,$$

или

$$(0.864 \cdot 101.3) \cdot 1 = (x + y) \cdot 8.31 \cdot (140 + 273).$$

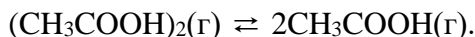
Решая полученную систему, находим:  $x = 2.00 \cdot 10^{-2}$ ,  $y = 5.44 \cdot 10^{-3}$ . Следовательно, равновесная концентрация мономера равна  $2.00 \cdot 10^{-2}$  моль/л, а димера  $5.44 \cdot 10^{-3}$  моль/л.

Константа равновесия  $K_c$  реакции димеризации, выраженная через равновесные концентрации, равна

$$K_c = \frac{[(\text{НСООН})_2]}{[\text{НСООН}]^2} = \frac{5.44 \cdot 10^{-3}}{(2.00 \cdot 10^{-2})^2} = 13.6.$$

*Ответ:*  $K_c = 13.6$ .

**6.4.** Уксусная кислота в газовой фазе частично димеризована и находится в равновесии со своим димером:



При температуре 180 °С и давлении 0.987 атм плотность равновесной газовой смеси равна 1.84 г/л. Рассчитайте константу равновесия  $K_c$  реакции диссоциации димера, выраженную через равновесные молярные концентрации. Газовую смесь считайте идеальной.

*Решение.* Молярная масса уксусной кислоты  $M(\text{CH}_3\text{СООН}) = 60$  г/моль, а молярная масса димера  $M(\text{CH}_3\text{СООН})_2 = 120$  г/моль.

Пусть объём сосуда равен 1 л. Тогда масса смеси равна

$$1.84 \text{ г/л} \cdot 1 \text{ л} = 1.84 \text{ г}.$$

Пусть в равновесной смеси находится  $x$  моль мономера и  $y$  моль димера. Тогда

$$60x + 120y = 1.84.$$

Согласно уравнению Клапейрона–Менделеева,

$$pV = nRT,$$

или

$$(0.987 \cdot 101.3) \cdot 1 = (x + y) \cdot 8.31 \cdot (180 + 273).$$

Решая полученную систему, находим:  $x = 2.24 \cdot 10^{-2}$ ,  $y = 4.12 \cdot 10^{-3}$ . Следовательно, равновесная концентрация мономера равна  $2.24 \cdot 10^{-2}$  моль/л, а димера  $4.12 \cdot 10^{-3}$  моль/л.

Константа равновесия  $K_c$  реакции диссоциации димера, выраженная через равновесные концентрации, равна

$$K_c = \frac{[\text{CH}_3\text{СООН}]^2}{[(\text{CH}_3\text{СООН})_2]} = \frac{(2.24 \cdot 10^{-2})^2}{4.12 \cdot 10^{-3}} = 0.122.$$

*Ответ:*  $K_c = 0.122$ .

### Задача 7 (18 баллов)

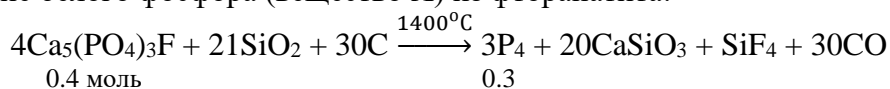
**7.1.** Образец фторапатита  $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$  массой 201.4 г прокалили при  $1400^\circ\text{C}$  со смесью кварцевого песка и углерода. После конденсации выделившихся паров было получено воскообразное вещество **A** светло-желтого цвета. Вещество **A** разделили на две равные части, первую обработали при нагревании избытком кислорода, вторую – избытком хлора. Полученные при этом твердые вещества **B** и **C** объединили, осторожно нагрели, а затем при  $105^\circ\text{C}$  отогнали образовавшуюся жидкость **D**.

Определите вещества **A** – **D**, напишите уравнения всех реакций. Рассчитайте массовые доли веществ, образовавшихся при обработке **D** раствором гидроксида калия с концентрацией 1 моль/л объемом 500 мл (плотность 1.05 г/мл). Считайте, что все реакции протекают с выходом 100%.

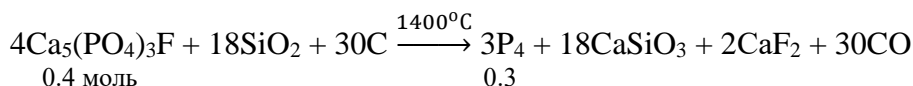
*Решение.* Количество вещества фторапатита в образце:

$$v(\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}) = 201.4 / 504 = 0.4 \text{ моль.}$$

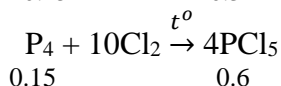
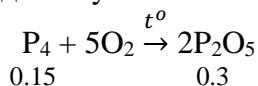
Получение белого фосфора (вещество **A**) из фторапатита:



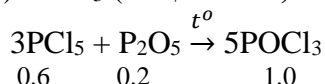
или



С кислородом и хлором взаимодействует по 0.15 моль  $\text{P}_4$ :



Образуются твердые вещества  $\text{P}_2\text{O}_5$  (**B**) и  $\text{PCl}_5$  (**C**). При их совместном нагревании получается оксихлорид фосфора(V)  $\text{POCl}_3$  (вещество **D**):

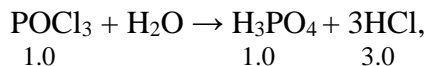


Поскольку оксид фосфора в избытке, расчет количества продукта **D** ведется по хлориду фосфора.

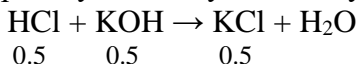
При гидролизе  $\text{POCl}_3$  в зависимости от количества гидроксида калия в растворе возможно образование разных продуктов.

$$v(\text{KOH}) = 1 \cdot 0.5 = 0.5 \text{ моль,}$$

поэтому



щелочь, взятая в недостатке, нейтрализует соляную кислоту:



Осталось соляной кислоты:

$$v(\text{HCl}) = 3.0 - 0.5 = 2.5 \text{ моль,}$$

Масса раствора:

$$m(\text{р-ра}) = m(\text{POCl}_3) + m(\text{KOH р-р}) = 153.5 \cdot 1 + 500 \cdot 1.05 = 678.5 \text{ г.}$$

Массовые доли веществ в растворе:

$$\omega(\text{KCl}) = 74.5 \cdot 0.5 / 678.5 = 0.055 \text{ (5.5\%)},$$

$$\omega(\text{H}_3\text{PO}_4) = 98 \cdot 1 / 678.5 = 0.144 \text{ (14.4\%)},$$

$$\omega(\text{HCl}) = 36.5 \cdot 2.5 / 678.5 = 0.134 \text{ (13.4\%)}. \quad \text{}$$

*Ответ:* **A** – белый фосфор  $\text{P}_4$ , **B** –  $\text{P}_2\text{O}_5$ , **C** –  $\text{PCl}_5$ , **D** –  $\text{POCl}_3$ ; 5.5%  $\text{KCl}$ , 14.4%  $\text{H}_3\text{PO}_4$ , 13.4%  $\text{HCl}$ .

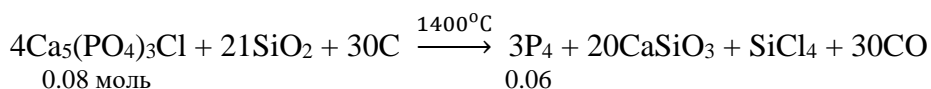
**7.2.** Образец хлорапатита  $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{Cl}$  массой 41.64 г прокалили при  $1400^\circ\text{C}$  со смесью кварцевого песка и углерода. После конденсации выделившихся паров было получено воскообразное вещество **A** светло-желтого цвета. Вещество **A** разделили на две равные части, первую обработали при нагревании избытком кислорода, вторую – избытком хлора. Полученные при этом твердые вещества **B** и **C** объединили, осторожно нагрели, а затем при  $105^\circ\text{C}$  отогнали образовавшуюся жидкость **D**.

Определите вещества **A** – **D**, напишите уравнения всех реакций. Рассчитайте массовые доли веществ, образовавшихся при обработке **D** раствором гидроксида калия с концентрацией 2 моль/л объемом 450 мл (плотность 1.09 г/мл). Считайте, что все реакции протекают с выходом 100%.

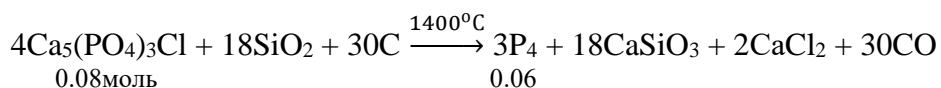
*Решение.* Количество вещества хлорапатита в образце:

$$n(\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{Cl}) = 41.64 / 520.5 = 0.08 \text{ моль.}$$

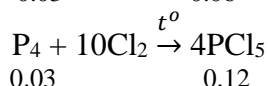
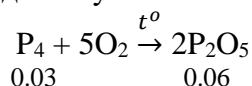
Получение белого фосфора (вещество **A**) из хлорапатита:



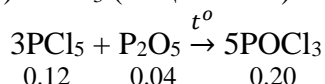
или



С кислородом и хлором взаимодействует по 0.03 моль  $\text{P}_4$ :



Образуются твердые вещества  $\text{P}_2\text{O}_5$  (**B**) и  $\text{PCl}_5$  (**C**). При их совместном нагревании получается оксихлорид фосфора(V)  $\text{POCl}_3$  (вещество **D**):

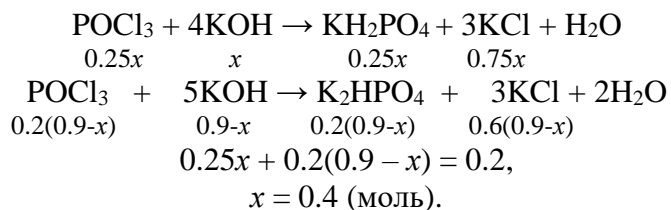


Поскольку оксид фосфора в избытке, расчет количества продукта **D** ведется по хлориду фосфора.

При гидролизе  $\text{POCl}_3$  в зависимости от количества гидроксида калия в растворе возможно образование разных продуктов.

$$n(\text{KOH}) = 2 \cdot 0.45 = 0.9 \text{ моль,}$$

поэтому



Масса раствора:

$$m(\text{р-ра}) = m(\text{POCl}_3) + m(\text{KOH р-р}) = 153.5 \cdot 0.2 + 450 \cdot 1.09 = 521.2 \text{ г.}$$

Массовые доли веществ в растворе:

$$\omega(\text{KH}_2\text{PO}_4) = 136 \cdot 0.25 \cdot 0.4 / 521.2 = 0.026 \text{ (2.6\%),}$$

$$\omega(\text{K}_2\text{HPO}_4) = 174 \cdot 0.2 \cdot 0.5 / 521.2 = 0.033 \text{ (3.3\%),}$$

$$\omega(\text{KCl}) = 74.5 \cdot (0.6 \cdot 0.5 + 0.75 \cdot 0.4) / 521.2 = 0.086 \text{ (8.6\%).}$$

*Ответ:* **A** – белый фосфор  $\text{P}_4$ , **B** –  $\text{P}_2\text{O}_5$ , **C** –  $\text{PCl}_5$ , **D** –  $\text{POCl}_3$ ; 2.6%  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ , 3.3%  $\text{K}_2\text{HPO}_4$ , 8.6%  $\text{KCl}$ .

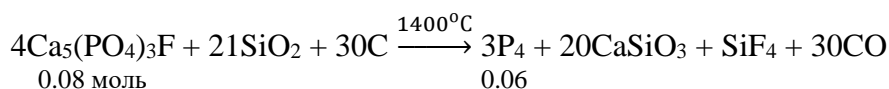
**7.3.** Образец фторапатита  $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$  массой 40.32 г прокалили при  $1400^\circ\text{C}$  со смесью кварцевого песка и углерода. После конденсации выделившихся паров было получено воскообразное вещество **A** светло-желтого цвета. Вещество **A** разделили на две равные части, первую обработали при нагревании избытком кислорода, вторую – избытком хлора. Полученные при этом твердые вещества **B** и **C** объединили, осторожно нагрели, а затем при  $105^\circ\text{C}$  отогнали образовавшуюся жидкость **D**.

Определите вещества **A – D**, напишите уравнения всех реакций. Рассчитайте массовые доли веществ, образовавшихся при обработке **D** раствором гидроксида калия с концентрацией 2 моль/л объемом 675 мл (плотность 1.09 г/мл). Считайте, что все реакции протекают с выходом 100%.

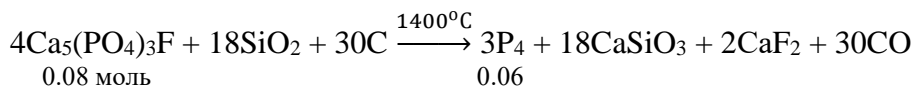
*Решение.* Количество вещества фторапатита в образце:

$$v(\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}) = 40.32 / 504 = 0.08 \text{ моль.}$$

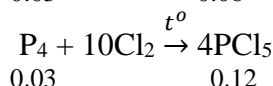
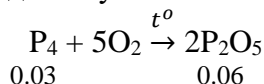
Получение белого фосфора (вещество **A**) из фторапатита:



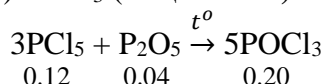
или



С кислородом и хлором взаимодействует по 0.03 моль  $\text{P}_4$ :



Образуются твердые вещества  $\text{P}_2\text{O}_5$  (**B**) и  $\text{PCl}_5$  (**C**). При их совместном нагревании получается оксихлорид фосфора(V)  $\text{POCl}_3$  (вещество **D**):

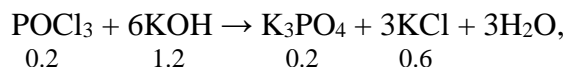


Поскольку оксид фосфора в избытке, расчет количества продукта **D** ведется по хлориду фосфора.

При гидролизе  $\text{POCl}_3$  в зависимости от количества гидроксида калия в растворе возможно образование разных продуктов.

$$v(\text{KOH}) = 2 \cdot 0.675 = 1.35 \text{ моль (в избытке),}$$

поэтому



и в избытке остается

$$v(\text{KOH}) = 1.35 - 1.2 = 0.15 \text{ моль.}$$

Масса раствора:

$$m(\text{р-ра}) = m(\text{POCl}_3) + m(\text{KOH р-р}) = 153.5 \cdot 0.2 + 675 \cdot 1.09 = 766.5 \text{ г.}$$

Массовые доли веществ в растворе:

$$\omega(\text{K}_3\text{PO}_4) = 212 \cdot 0.2 / 766.5 = 0.055 (5.5\%),$$

$$\omega(\text{KCl}) = 74.5 \cdot 0.6 / 766.5 = 0.058 (5.8\%),$$

$$\omega(\text{KOH}) = 56 \cdot 0.15 / 766.5 = 0.011 (1.1\%).$$

*Ответ:* **A** – белый фосфор  $\text{P}_4$ , **B** –  $\text{P}_2\text{O}_5$ , **C** –  $\text{PCl}_5$ , **D** –  $\text{POCl}_3$ ; 5.5%  $\text{K}_3\text{PO}_4$ , 5.8%  $\text{KCl}$ , 1.1%  $\text{KOH}$ .

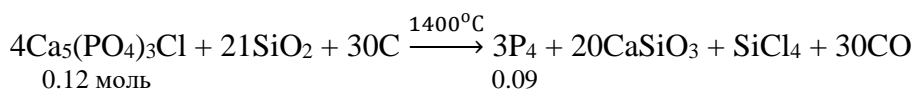
**7.4.** Образец хлорапатита  $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{Cl}$  массой 62.46 г прокалили при  $1400^\circ\text{C}$  со смесью кварцевого песка и углерода. После конденсации выделившихся паров было получено воскообразное вещество **A** светло-желтого цвета. Вещество **A** разделили на две равные части, первую обработали при нагревании избытком кислорода, вторую – избытком хлора. Полученные при этом твердые вещества **B** и **C** объединили, осторожно нагрели, а затем при  $105^\circ\text{C}$  отогнали образовавшуюся жидкость **D**.

Определите вещества **A** – **D**, напишите уравнения всех реакций. Рассчитайте массовые доли веществ, образовавшихся при обработке **D** раствором гидроксида калия с концентрацией 2.5 моль/л объемом 640 мл (плотность 1.11 г/мл). Считайте, что все реакции протекают с выходом 100%.

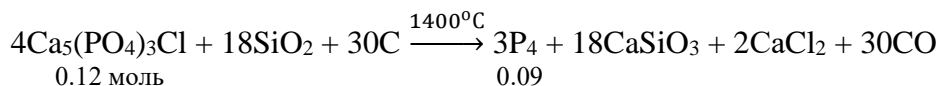
*Решение.* Количество вещества хлорапатита в образце:

$$n(\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{Cl}) = 62.46 / 520.5 = 0.12 \text{ моль.}$$

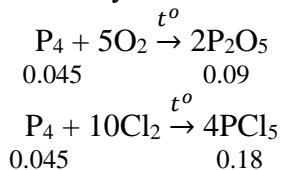
Получение белого фосфора (вещество **A**) из хлорапатита:



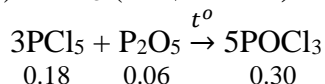
или



С кислородом и хлором взаимодействует по 0.045 моль  $\text{P}_4$ :



Образуются твердые вещества  $\text{P}_2\text{O}_5$  (**B**) и  $\text{PCl}_5$  (**C**). При их совместном нагревании получается оксихлорид фосфора(V)  $\text{POCl}_3$  (вещество **D**):

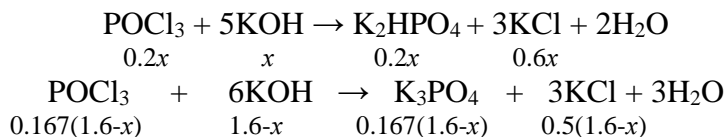


Поскольку оксид фосфора в избытке, расчет количества продукта **D** ведется по хлориду фосфора.

При гидролизе  $\text{POCl}_3$  в зависимости от количества гидроксида калия в растворе возможно образование разных продуктов.

$$n(\text{KOH}) = 2.5 \cdot 0.64 = 1.6 \text{ моль,}$$

поэтому



$$\begin{array}{l} 0.2x + 0.167(1.6 - x) = 0.3, \\ x = 1.0 \text{ (моль)}. \end{array}$$

Масса раствора:

$$m(\text{p-p}) = m(\text{POCl}_3) + m(\text{KOH p-p}) = 153.5 \cdot 0.3 + 640 \cdot 1.11 = 756.45 \text{ г.}$$

Массовые доли веществ в растворе:

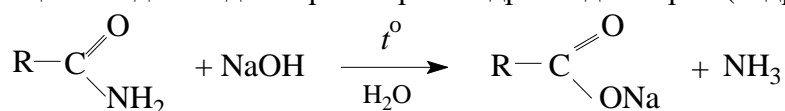
$$\begin{array}{l} \omega(\text{K}_2\text{HPO}_4) = 174 \cdot 0.2 / 756.45 = 0.046 \text{ (4.6\%)}, \\ \omega(\text{KCl}) = 74.5 \cdot (0.6 + 0.3) / 756.45 = 0.089 \text{ (8.9\%)}, \\ \omega(\text{K}_3\text{PO}_4) = 212 \cdot 0.1 / 756.45 = 0.028 \text{ (2.8\%)}. \end{array}$$

*Ответ:* **A** – белый фосфор  $\text{P}_4$ , **B** –  $\text{P}_2\text{O}_5$ , **C** –  $\text{PCl}_5$ , **D** –  $\text{POCl}_3$ ; 4.6%  $\text{K}_2\text{HPO}_4$ , 8.9%  $\text{KCl}$ , 2.8%  $\text{K}_3\text{PO}_4$ .

### Задача 8 (18 баллов)

**8.1.** Навеску амида карбоновой кислоты **A** разделили на три равные части. Нагревание первой части с водным раствором гидроксида натрия привело к выделению 2.84 л (15 °C, 1 атм) газа **B**. При нагревании второй части навески с избытком раствора брома в щелочи образовалось 2.94 л (25 °C, 1 атм) газа **C**, масса которого оказалась больше массы **B** на 82.35%. Добавление натрия к раствору третьей части навески в этаноле с последующим нагреванием привело к получению 2.99 л (30 °C, 1 атм) газа **D**, масса которого была в 1.452 раза больше массы **C**. Определите массу исходной навески амида, установите структурные формулы соединений **A – D**. Напишите уравнения протекающих реакций. Примите, что все реакции идут с выходом 100%.

*Решение.* Реакция амида с водным раствором гидроксида натрия (гидролиз):

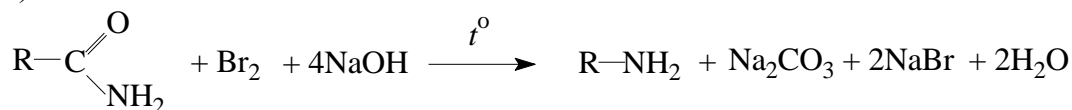


Выделившийся газ – аммиак (газ **B**), его количество составило

$$\nu(\text{NH}_3) = \frac{101.3 \cdot 2.84}{8.314 \cdot 288} = 0.12 \text{ моль.}$$

Поскольку выход всех реакций 100%, количество амида **A** в первой части навески также составляло 0.12 моль.

Вторая часть амида прореагировала с бромом в щелочном растворе (перегруппировка Гофмана):



Выделившийся газ – первичный амин (газ **C**), его количество также равно

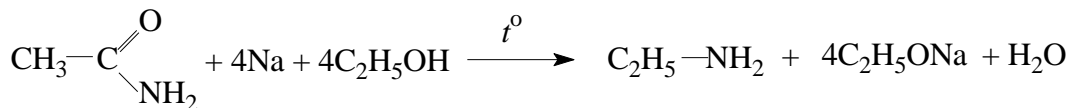
$$\nu(\text{C}) = \frac{101.3 \cdot 2.94}{8.314 \cdot 298} = 0.12 \text{ моль.}$$

Поскольку количества веществ газов **B** и **C** одинаковы, разница в их массах обусловлена разницей молярных масс:

$$M(\text{C}) = M(\text{NH}_3) \cdot 1.8235 = 31 \text{ г/моль.}$$

Это значение соответствует метиламину, значит, R – это метил, амид **A** – амид уксусной кислоты (ацетамид).

Третья часть ацетамида **A** подверглась восстановлению до этиламина (**D**) за счет водорода, выделившегося в реакции натрия и этилового спирта:



Количество выделившегося газа

$$\nu(\text{D}) = \frac{101.3 \cdot 2.99}{8.314 \cdot 303} = 0.12 \text{ моль.}$$

Молярная масса **D**

$$M(\text{D}) = M(\text{C}) \cdot 1.452 = 45 \text{ г/моль,}$$

что соответствует этиламину.

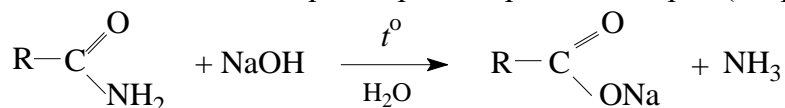
Масса исходной навески ацетамида составляла

$$m(\text{C}_2\text{H}_5\text{NO}) = 3 \cdot 0.12 \cdot 59 = 21.24 \text{ г.}$$

**Ответ:** **A** – ацетамид, **B** – NH<sub>3</sub>, **C** – CH<sub>3</sub>NH<sub>2</sub>, **D** – C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>NH<sub>2</sub>; 21.24 г.

**8.2.** Навеску амида карбоновой кислоты **A** разделили на три равные части. Нагревание первой части с водным раствором гидроксида натрия привело к выделению 4.26 л (15 °С, 1 атм) газа **B**. При нагревании второй части навески с избытком раствора брома в щелочи образовалось 4.33 л (20 °С, 1 атм) газа **C**, масса которого оказалась в 1.824 раза больше массы **B**. Добавление натрия к раствору третьей части навески в этаноле с последующим нагреванием привело к получению 4.48 л (30 °С, 1 атм) газа **D**, масса которого оказалась на 164.7% больше массы газа **B**. Определите массу исходной навески амида, установите структурные формулы соединений **A – D**. Напишите уравнения протекающих реакций. Примите, что все реакции идут с выходом 100%.

*Решение.* Реакция амида с водным раствором гидроксида натрия (гидролиз):

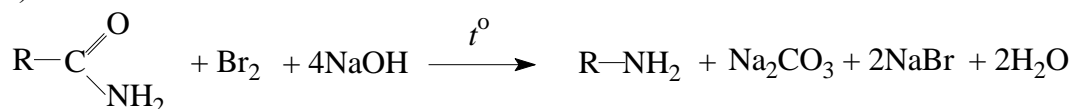


Выделившийся газ – аммиак (газ **B**), его количество составило

$$\nu(\text{NH}_3) = \frac{101.3 \cdot 4.26}{8.314 \cdot 288} = 0.18 \text{ моль.}$$

Поскольку выход всех реакций 100%, количество амида **A** в первой части навески также составляло 0.18 моль.

Вторая часть **A** прореагировала с бромом в щелочном растворе (перегруппировка Гофмана):



Выделившийся газ – первичный амин (газ **C**), его количество также равно

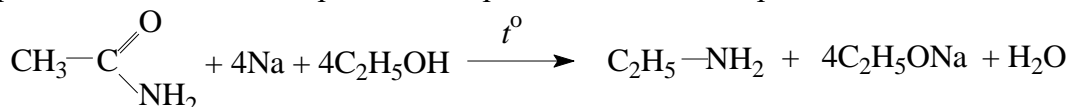
$$\nu(\text{C}) = \frac{101.3 \cdot 4.33}{8.314 \cdot 293} = 0.18 \text{ моль.}$$

Поскольку количества веществ газов **B** и **C** одинаковы, разница в их массах обусловлена разницей молярных масс:

$$M(\text{C}) = M(\text{NH}_3) \cdot 1.824 = 31 \text{ г/моль.}$$

Эта масса соответствует метиламину, значит, **R** – это метил, амид **A** – амид уксусной кислоты (ацетамид).

Третья часть ацетамида **A** подверглась восстановлению до этиламина (**D**) за счет водорода, выделившегося в реакции натрия и этилового спирта:



Количество выделившегося газа

$$\nu(\text{D}) = \frac{101.3 \cdot 4.48}{8.314 \cdot 303} = 0.18 \text{ моль.}$$

Молярная масса **D**

$$M(\text{D}) = M(\text{B}) \cdot 2.647 = 45 \text{ г/моль,}$$

что соответствует этиламину.

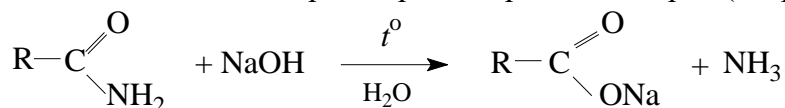
Масса исходной навески ацетамида составляла

$$m(\text{C}_2\text{H}_5\text{NO}) = 3 \cdot 0.18 \cdot 59 = 31.86 \text{ г.}$$

*Ответ:* **A** – ацетамид, **B** –  $\text{NH}_3$ , **C** –  $\text{CH}_3\text{NH}_2$ , **D** –  $\text{C}_2\text{H}_5\text{NH}_2$ ; 31.86 г.

**8.3.** Навеску амида карбоновой кислоты **A** разделили на три равные части. Нагревание первой части с водным раствором гидроксида натрия привело к выделению 3.55 л (15 °С, 1 атм) газа **B**. При нагревании второй части навески с избытком раствора брома в щелочи образовалось 3.73 л (30 °С, 1 атм) газа **C**, масса которого оказалась в 2.65 раза больше массы **B**. Добавление натрия к раствору третьей части навески в этаноле с последующим нагреванием привело к получению 3.98 л (50 °С, 1 атм) газа **D**, масса которого оказалась на 31.11% больше массы **C**. Определите массу исходной навески амида, установите структурные формулы соединений **A – D**. Напишите уравнения протекающих реакций. Примите, что все реакции идут с выходом 100%.

*Решение.* Реакция амида с водным раствором гидроксида натрия (гидролиз):

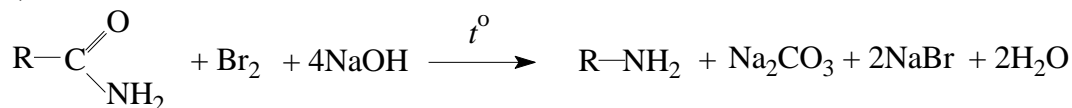


Выделившийся газ – аммиак (газ **B**), его количество составило

$$\nu(\text{NH}_3) = \frac{101.3 \cdot 3.55}{8.314 \cdot 288} = 0.15 \text{ моль.}$$

Поскольку выход всех реакций 100%, количество амида **A** в первой части навески также составляло 0.15 моль.

Вторая часть **A** прореагировала с бромом в щелочном растворе (перегруппировка Гофмана):



Выделившийся газ – первичный амин (газ **C**), его количество также равно

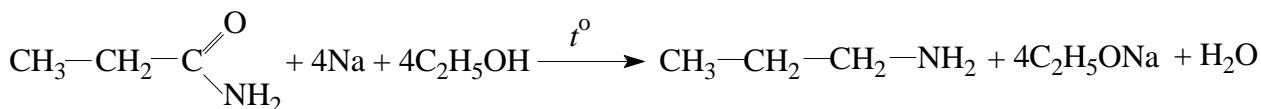
$$\nu(\text{C}) = \frac{101.3 \cdot 3.73}{8.314 \cdot 303} = 0.15 \text{ моль.}$$

Поскольку количества веществ газов **B** и **C** одинаковы, разница в их массах обусловлена разницей в молярных массах:

$$M(\text{C}) = M(\text{NH}_3) \cdot 2.65 = 45 \text{ г/моль.}$$

Эта масса соответствует этиламину, значит, **R** – это этил, амид **A** – амид пропановой кислоты.

Третья часть амида **A** подверглась восстановлению до пропиламина (**D**) за счет водорода, выделившегося в реакции натрия и этилового спирта:



Количество выделившегося газа

$$\nu(\text{D}) = \frac{101.3 \cdot 3.98}{8.314 \cdot 323} = 0.15 \text{ моль.}$$

Молярная масса **D**

$$M(\text{D}) = M(\text{C}) \cdot 1.3111 = 59 \text{ г/моль,}$$

что соответствует пропиламину.

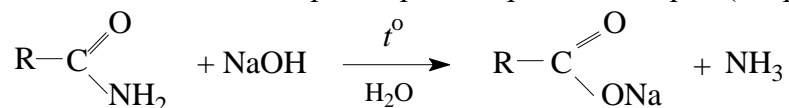
Масса исходной навески амида пропановой кислоты составляла

$$m(\text{C}_3\text{H}_7\text{NO}) = 3 \cdot 0.15 \cdot 73 = 32.85 \text{ г.}$$

*Ответ:* **A** – амид пропановой кислоты, **B** –  $\text{NH}_3$ , **C** –  $\text{C}_2\text{H}_5\text{NH}_2$ , **D** –  $\text{C}_3\text{H}_7\text{NH}_2$ ; 32.85 г.

**8.4.** Навеску амида карбоновой кислоты **A** разделили на три равные части. Нагревание первой части с водным раствором гидроксида натрия привело к выделению 4.73 л (15 °С, 1 атм) газа **B**. При нагревании второй части навески с избытком раствора брома в щелочи образовалось 4.89 л (25 °С, 1 атм) газа **C**, масса которого оказалась больше массы **B** на 164.7%. Добавление натрия к раствору третьей части навески в этаноле с последующим нагреванием привело к получению 5.30 л (50 °С, 1 атм) газа **D**, масса которого оказалась в 3.471 раза больше массы **B**. Определите массу исходной навески амида, установите структурные формулы соединений **A – D**. Напишите уравнения протекающих реакций. Примите, что все реакции идут с выходом 100%.

*Решение.* Реакция амида с водным раствором гидроксида натрия (гидролиз):

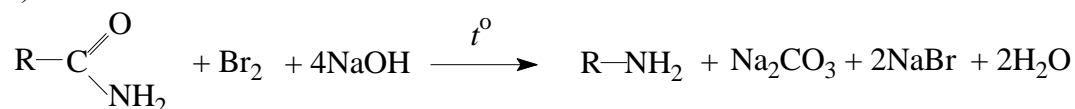


Выделившийся газ – аммиак (газ **B**), его количество составило

$$\nu(\text{NH}_3) = \frac{101.3 \cdot 4.73}{8.314 \cdot 288} = 0.20 \text{ моль.}$$

Поскольку выход всех реакций 100%, количество амида **A** в первой части навески также составляло 0.20 моль.

Вторая часть **A** прореагировала с бромом в щелочном растворе (перегруппировка Гофмана):



Выделившийся газ – первичный амин (газ **C**), его количество также равно

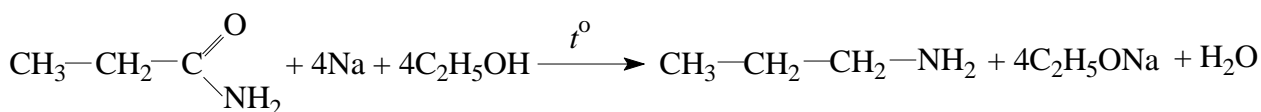
$$\nu(\text{C}) = \frac{101.3 \cdot 4.89}{8.314 \cdot 298} = 0.20 \text{ моль.}$$

Поскольку количества веществ газов **B** и **C** одинаковы, разница в их массах обусловлена разницей в молярных массах:

$$M(\text{C}) = M(\text{NH}_3) \cdot 2.647 = 45 \text{ г/моль.}$$

Эта масса соответствует этиламину, значит, **R** – это этил, амид **A** – амид пропановой кислоты.

Третья часть амида **A** подверглась восстановлению до пропиламина (**D**) за счет водорода, выделившегося в реакции натрия и этилового спирта:



Количество выделившегося газа

$$\nu(\text{D}) = \frac{101.3 \cdot 5.30}{8.314 \cdot 323} = 0.20 \text{ моль.}$$

Молярная масса **D**

$$M(\text{D}) = M(\text{B}) \cdot 3.471 = 59 \text{ г/моль,}$$

что соответствует пропиламину.

Масса исходной навески амида пропановой кислоты составляла

$$m(\text{C}_3\text{H}_7\text{NO}) = 3 \cdot 0.20 \cdot 73 = 43.8 \text{ г.}$$

*Ответ:* **A** – амид пропановой кислоты, **B** –  $\text{NH}_3$ , **C** –  $\text{C}_2\text{H}_5\text{NH}_2$ , **D** –  $\text{C}_3\text{H}_7\text{NH}_2$ ; 43.8 г.