

## Олимпиада «Ломоносов», 10 класс, отборочный тур

### Задача 1 (4 балла)

- 1.1. Запишите уравнение реакции разложения, продуктами которой являются два простых вещества и одно сложное.
- 1.2. Запишите уравнение реакции соединения, в которой реагентами являются три сложных вещества.
- 1.3. Запишите уравнение реакции разложения, продуктами которой являются три сложных вещества.
- 1.4. Запишите уравнение реакции соединения, в которой единственным реагентом является сложное вещество.

### Задача 2 (10 баллов)

- 2.1. Элемент  $X$  имеет нечетный номер в таблице Менделеева. В основном состоянии нейтральный атом  $X$  и ион  $X^{2+}$  содержат равное число неспаренных электронов. Приведите пример  $X$ , запишите электронную конфигурацию атома  $X$  и иона  $X^{2+}$ .
- 2.2. Элемент  $X$  имеет четный номер в таблице Менделеева. В основном состоянии нейтральный атом  $X$  и ион  $X^{2+}$  содержат равное ненулевое число неспаренных электронов. Приведите пример  $X$ , запишите электронную конфигурацию атома  $X$  и иона  $X^{2+}$ .
- 2.3. Элемент  $X$  является переходным металлом и имеет четный номер в таблице Менделеева. В основном состоянии нейтральный атом  $X$  и ион  $X^{2+}$  не содержат неспаренных электронов. Приведите пример  $X$ , запишите электронную конфигурацию  $X$  и  $X^{2+}$ .
- 2.4. Элемент  $X$  имеет нечетный номер в таблице Менделеева. В основном состоянии нейтральный атом  $X$  и ион  $X^{2+}$  содержат по одному неспаренному электрону. Приведите пример  $X$ , запишите электронную конфигурацию атома  $X$  и иона  $X^{2+}$ .

### Задача 3 (14 баллов)

- 3.1. Вещества  $A$  и  $B$  вступают в простую реакцию в соответствии с уравнением  $A + 2B \rightarrow C$ . Начальные концентрации  $A$  и  $B$  составляли 0.5 и 0.4 моль/л соответственно. В начальный момент скорость реакции равнялась 0.036 моль/(л·мин). Определите величину константы скорости реакции, а также скорость в момент, когда концентрация вещества  $A$  уменьшится на 0.05 моль/л.
- 3.2. Вещества  $A$  и  $B$  вступают в простую реакцию в соответствии с уравнением  $2A + B \rightarrow 3C$ . Начальные концентрации  $A$  и  $B$  составляли 0.6 и 0.3 моль/л соответственно. В начальный момент скорость реакции равнялась 0.022 моль/(л·мин). Определите величину константы скорости реакции, а также скорость в момент, когда концентрация вещества  $B$  уменьшится на 0.15 моль/л.
- 3.3. Вещества  $A$  и  $B$  вступают в простую реакцию в соответствии с уравнением  $2A + B \rightarrow 2C$ . Начальные концентрации  $A$  и  $B$  составляли 0.4 и 0.3 моль/л соответственно. Константа скорости этой реакции при 20°C равна 0.9 л<sup>2</sup>/(моль<sup>2</sup>·мин). Определите начальную скорость этой реакции и скорость в момент времени, когда концентрация вещества  $B$  уменьшится на 0.1 моль/л.
- 3.4. Вещества  $A$  и  $B$  вступают в простую реакцию в соответствии с уравнением  $A + 2B \rightarrow C$ . Начальные концентрации  $A$  и  $B$  составляли 0.2 и 0.6 моль/л соответственно. Константа скорости этой реакции при 25°C равна 0.85 л<sup>2</sup>/(моль<sup>2</sup>·мин). Определите начальную скорость этой реакции и скорость в момент времени, когда концентрация вещества  $A$  уменьшится на 0.1 моль/л.

### Задача 4 (16 баллов)

**4.1.** Плотность газовой смеси формальдегида и пропина при добавлении избытка кислорода не изменилась. Масса склянки с концентрированной серной кислотой после пропускания продуктов сгорания смеси увеличилась на 2.16 г. Установите массу осадка, который образуется при пропускании исходной газовой смеси через избыток аммиачного раствора оксида серебра. Запишите уравнения протекающих реакций.

**4.2.** Плотность газовой смеси формальдегида и пропена при добавлении избытка кислорода не изменилась. В склянке с известковой водой после пропускания продуктов сгорания смеси образовалось 16.0 г осадка. Установите максимальный объем 2%-го раствора бромной воды (плотность 1 г/мл), который может обесцветить исходная газовая смесь. Запишите уравнения протекающих реакций.

**4.3.** Плотность газовой смеси ацетилена и ацетальдегида (25°C, 1 атм) при добавлении избытка кислорода не изменилась. Масса склянки с концентрированной серной кислотой после пропускания продуктов сгорания смеси увеличилась на 2.16 г. Установите массу осадка, который образуется при пропускании исходной газовой смеси через избыток аммиачного раствора оксида серебра. Запишите уравнения протекающих реакций.

**4.4.** Плотность газовой смеси этилена и ацетальдегида (25°C, 1 атм) при добавлении избытка кислорода не изменилась. В склянке с известковой водой после пропускания продуктов сгорания смеси образовалось 16.0 г осадка. Установите максимальный объем подкисленного раствора перманганата калия с концентрацией 0.02 моль/л, который может обесцветить исходная газовая смесь. Запишите уравнения протекающих реакций.

### Задача 5 (16 баллов)

**5.1.** Простое вещество элемента **X**, как и его ближайшие соседи по периоду – блестящее серебристое вещество. **X** применяли для изготовления различных изделий, например, игрушек, частей музыкальных инструментов, а как материал для изготовления монет он не подходил. В низшей степени окисления ионы этого элемента содержат в 2.4 раза больше *p*-электронов, чем *s*-электронов. Соотношение массовых долей элементов – ближайших соседей **X** по периоду в их высших фторидах равно 1.19. Определите элемент **X**, свой вывод подтвердите расчетами, используя все численные значения, приведенные в задании. Напишите электронную конфигурацию элемента в степени окисления +2. В названии какой «болезни» присутствует элемент **X**?

**5.2.** Элемент **X** очень важен для правильного развития живых организмов – как растений, так и животных, однако избыточное его количество оказывается ядом. Имеется следующая информация о соединениях **X**. Простое вещество, образуемое этим элементом, существует в виде нескольких различающихся по цвету аллотропных модификаций. Работу в офисе, административных отделах различных организаций невозможно представить без устройств, в которых используется **X**. Для атома **X** известно, что потенциалы ионизации двух последних валентных электронов заметно больше значений для предшествующих валентных электронов. Ближайшие соседи **X** по периоду при нормальных условиях существуют в виде простых веществ, находящихся в разных агрегатных состояниях. Число *d*-электронов в атоме **X** в 1.25 раза превышает число *s*-электронов. Соотношение массовых долей элементов – ближайших соседей **X** по периодической таблице в их трифторидах равно 1.03. Определите, о каком элементе **X** идет речь, свой вывод подтвердите расчетами с использованием всех приведенных в задании численных значений. Напишите формулу высшего оксида **X**.

**5.3.** При упоминании элемента **X** и его соединений сразу вспоминается их негативное воздействие на здоровье человека. Однако соединения **X** имеют различные применения, и не только в качестве ядов. Для получения **X** используют его природные ископаемые, в том числе

различные образуемые им сульфиды. Один из них, с массовой долей элемента **X** 70%, имеет красивую яркую окраску. Для атома **X** число *p*-электронов в 1.5 раза превышает число *d*-электронов. Определите элемент **X**, свой вывод подтвердите расчетами с использованием всех приведенных в задании численных значений. Напишите электронную конфигурацию **X** в низшей степени окисления.

**5.4.** Соединения элемента **X** широко используются человеком. Простое вещество **X** – твердое интенсивно окрашенное вещество, тогда как многие соединения, в состав которых входит **X**, бесцветны. В ионе **X** в высшей степени окисления число *d*-электронов в 2.5 раза превышает число *s*-электронов. Соотношение массовых долей элементов – ближайших соседей **X** по периоду в тетрафторидах равно 1.0086. Определите **X**, подтвердив вывод расчетами с использованием всех приведенных численных данных. Напишите уравнение реакции простого вещества **X** с горячим раствором щелочи.

### Задача 6 (20 баллов)

**6.1.** В смеси содержатся три соединения марганца в мольном соотношении 3 : 1 : 2 – перманганат калия, оксид марганца(IV) и малорастворимое вещество **A**. Массовая доля марганца в смеси составляет 41.72%. Определите **A** и рассчитайте плотность по воздуху газовой смеси, образующейся при взаимодействии исходной твердой смеси с избытком концентрированной соляной кислоты. Запишите уравнения протекающих реакций.

**6.2.** В смеси содержатся три соединения меди в мольном соотношении 2 : 1 : 2 – основной карбонат состава  $(\text{CuOH})_2\text{CO}_3$ , оксид меди(II) и малорастворимое вещество **A**. Массовая доля меди в смеси составляет 68.25%. Определите **A** и рассчитайте плотность по азоту газовой смеси, образующейся при взаимодействии исходной твердой смеси с избытком концентрированной серной кислоты. Атомную массу Cu примите равной 64. Запишите уравнения протекающих реакций.

**6.3.** В смеси содержатся три соединения цинка в мольном соотношении 1 : 3 : 2 – основной карбонат состава  $(\text{ZnOH})_2\text{CO}_3$ , хлорат состава  $\text{Zn}(\text{ClO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  и малорастворимое вещество **A**. Массовая доля цинка в смеси составляет 34.21%. Определите **A** и рассчитайте плотность по гелию газовой смеси, образующейся при взаимодействии исходной твердой смеси с избытком концентрированной соляной кислоты. Запишите уравнения протекающих реакций.

**6.4.** В смеси содержатся три соединения железа в мольном соотношении 1 : 1 : 3 – сульфид железа(III), оксид железа(II) и малорастворимое вещество **A**. Массовая доля железа в смеси составляет 53.50%. Определите **A** и рассчитайте плотность по воздуху газовой смеси, образующейся при взаимодействии исходной твердой смеси с избытком концентрированной азотной кислоты. Запишите уравнения протекающих реакций.

### Задача 7 (20 баллов)

**7.1.** Массовые доли углерода и водорода в дикарбоновой кислоте **A** равны соответственно 61.855 и 5.155%. При нагревании кислоты до 200°C ее масса уменьшилась на 9.278%. При нитровании кислоты **A** смесью азотной и серной кислот образуется единственное мононитропроизводное. Бромирование кислоты на свету дает только одно монобромпроизводное. При сплавлении кислоты **A** с твердой щелочью образуется соединение **B**, которое при нитровании смесью азотной и серной кислот дает единственное мононитропроизводное, бромирование **B** на свету также дает одно монобромпроизводное.

Соединение **B** обработали избытком водного раствора перманганата калия при нагревании, полученное соединение **C** подкислили соляной кислотой с получением вещества **D**, которое, в свою очередь, ввели в реакцию с 1,4-диаминобензолом при нагревании с образованием полимера **E**.

Установите строение кислоты **A** и продуктов ее превращений **B** – **E**. Напишите уравнения протекающих реакций. Укажите область применения соединения **E**.

**7.2.** Массовые доли углерода и водорода в дикарбоновой кислоте **A** равны соответственно 64.865 и 6.306%. При нагревании кислоты до 200°C ее масса уменьшилась на 8.108%. При хлорировании кислоты **A** в присутствии хлорида алюминия образуется единственное моноклорпроизводное. Хлорирование кислоты на свету приводит к двум моноклорпроизводным. При сплавлении кислоты **A** с твердой щелочью получено соединение **B**, которое при хлорировании на свету дает два моноклорпроизводных, а при бромировании в присутствии хлорида алюминия – одно монобромпроизводное.

Соединение **B** обработали избытком водного раствора перманганата калия при нагревании, полученное соединение **C** подкислили соляной кислотой с получением вещества **D**, которое, в свою очередь, ввели в реакцию с 1,4-диаминобензолом при нагревании с образованием полимера **E**.

Установите строение кислоты **A** и продуктов ее превращений **B** – **E**. Напишите уравнения протекающих реакций. Укажите область применения соединения **E**.

**7.3.** Массовые доли углерода и водорода в дикарбоновой кислоте **A** равны соответственно 67.2 и 7.2%. При нагревании кислоты до 200°C ее масса уменьшилась на 7.2%. При хлорировании кислоты **A** в присутствии хлорида алюминия образуется единственное моноклорпроизводное. Хлорирование на свету кислоты приводит к двум моноклорпроизводным. При сплавлении кислоты **A** с твердой щелочью получено соединение **B**, которое при нитровании смесью азотной и серной кислот дает одно мононитропроизводное, а при бромировании на свету – два монобромпроизводных.

Соединение **B** обработали избытком водного раствора перманганата калия при нагревании, полученное соединение **C** подкислили соляной кислотой с получением вещества **D**, которое, в свою очередь, ввели в реакцию с этиленгликолем при нагревании с образованием полимера **E**.

Установите строение кислоты **A** и продуктов ее превращений **B** – **E**. Напишите уравнения протекающих реакций. Укажите область применения соединения **E**.

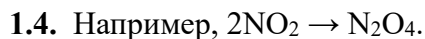
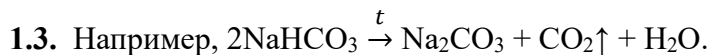
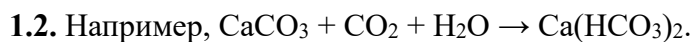
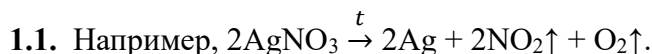
**7.4.** Массовые доли углерода и водорода в дикарбоновой кислоте **A** равны соответственно 61.855 и 5.155%. При нагревании кислоты до 200°C ее масса уменьшилась на 9.278%. При нитровании кислоты **A** смесью азотной и серной кислот образуются два мононитропроизводных. Бромирование кислоты на свету приводит к двум монобромпроизводным. При сплавлении кислоты **A** с твердой щелочью получено соединение **B**, которое при хлорировании в присутствии хлорида алюминия дает три моноклорпроизводных, а при бромировании на свету – одно монобромпроизводное.

Соединение **B** обработали избытком водного раствора перманганата калия при нагревании, полученное соединение **C** подкислили соляной кислотой с получением вещества **D**, которое, в свою очередь, ввели в реакцию с 1,4-диаминобензолом при нагревании с образованием полимера **E**.

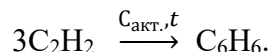
Установите строение кислоты **A** и продуктов ее превращений **B** – **E**. Напишите уравнения протекающих реакций. Укажите область применения соединения **E**.

## Решения заданий олимпиады «Ломоносов», 10 класс, отборочный тур

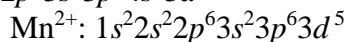
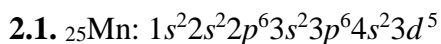
### Задача 1 (4 балла)



Также подходят реакции димеризации и тримеризации ацетилена:

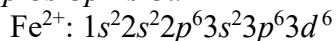
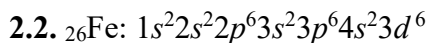


### Задача 2 (10 баллов)



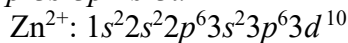
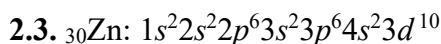
И атом, и ион имеют по пять неспаренных электронов.

Есть и другие варианты, например,  $_{23}\text{V}$  или  $_{27}\text{Co}$ .



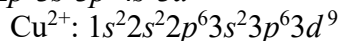
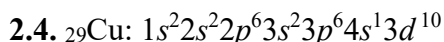
И атом, и ион имеют по четыре неспаренных электрона.

Есть и другие варианты, например,  $_{28}\text{Ni}$ .



И атом, и ион не имеют неспаренных электронов.

Есть и другие варианты, например,  $_{48}\text{Cd}$ .



И атом, и ион имеют по одному неспаренному электрону.

### Задача 3 (14 баллов)

3.1. Выражение для скорости этой простой реакции:

$$v = k \cdot c(\text{A}) \cdot c(\text{B})^2$$

Тогда константа скорости реакции, рассчитанная из величины начальной скорости и начальных концентраций, составляет

$$k = \frac{v}{c(\text{A}) \cdot c(\text{B})^2} = 0.036 / (0.5 \cdot 0.4^2) = 0.45 \text{ л}^2/(\text{моль}^2 \cdot \text{мин}).$$

Когда концентрация вещества А уменьшится на 0.05 моль/л, концентрация В в соответствии со стехиометрией реакции уменьшится на 0.1 моль/л:

$$c(\text{A}) = 0.5 - 0.05 = 0.45 \text{ моль/л},$$

$$c(\text{B}) = 0.4 - 0.1 = 0.3 \text{ моль/л}.$$

Скорость реакции в этот момент времени составила

$$v = k \cdot c(\text{A}) \cdot c(\text{B})^2 = 0.45 \cdot 0.45 \cdot 0.09 = 0.018 \text{ моль}/(\text{л} \cdot \text{мин}).$$

Ответ:  $0.45 \text{ л}^2/(\text{моль}^2 \cdot \text{мин})$ ;  $0.018 \text{ моль}/(\text{л} \cdot \text{мин})$ .

### 3.2. Выражение для скорости этой простой реакции:

$$v = k \cdot c(A)^2 \cdot c(B)$$

Тогда константа скорости реакции, рассчитанная из величины начальной скорости и начальных концентраций, составляет

$$k = \frac{v}{c(A)^2 \cdot c(B)} = 0.022 / (0.6^2 \cdot 0.3) = 0.204 \text{ л}^2/(\text{моль}^2 \cdot \text{мин}).$$

Когда концентрация вещества В уменьшится на 0.15 моль/л, концентрация А в соответствии со стехиометрией реакции уменьшится на 0.3 моль/л:

$$c(A) = 0.6 - 0.3 = 0.3 \text{ моль/л},$$

$$c(B) = 0.3 - 0.15 = 0.15 \text{ моль/л}.$$

Скорость реакции в этот момент времени составила

$$v = k \cdot c(A)^2 \cdot c(B) = 0.204 \cdot 0.09 \cdot 0.15 = 0.0028 \text{ моль}/(\text{л} \cdot \text{мин}).$$

*Ответ:* 0.204 л<sup>2</sup>/(\text{моль}^2 \cdot \text{мин}); 0.0028 моль/(\text{л} \cdot \text{мин}).

### 3.3. Выражение для скорости этой простой реакции:

$$v = k \cdot c(A)^2 \cdot c(B)$$

Тогда величина начальной скорости реакции составляет

$$v = k \cdot c(A)^2 \cdot c(B) = 0.9 \cdot 0.16 \cdot 0.3 = 0.0432 \text{ моль}/(\text{л} \cdot \text{мин}).$$

Когда концентрация вещества В уменьшится на 0.1 моль/л, концентрация А в соответствии со стехиометрией реакции уменьшится на 0.2 моль/л:

$$c(A) = 0.4 - 0.2 = 0.2 \text{ моль/л},$$

$$c(B) = 0.3 - 0.1 = 0.2 \text{ моль/л}.$$

Скорость реакции в этот момент времени составила

$$v = k \cdot c(A)^2 \cdot c(B) = 0.9 \cdot 0.04 \cdot 0.2 = 0.0072 \text{ моль}/(\text{л} \cdot \text{мин}).$$

*Ответ:* 0.0432 моль/(\text{л} \cdot \text{мин}); 0.0072 моль/(\text{л} \cdot \text{мин}).

### 3.4. Выражение для скорости этой простой реакции:

$$v = k \cdot c(A) \cdot c(B)^2$$

Тогда величина начальной скорости реакции составляет

$$v = k \cdot c(A) \cdot c(B)^2 = 0.85 \cdot 0.2 \cdot 0.36 = 0.0612 \text{ моль}/(\text{л} \cdot \text{мин}).$$

Когда концентрация вещества А уменьшится на 0.1 моль/л, концентрация В в соответствии со стехиометрией реакции уменьшится на 0.2 моль/л:

$$c(A) = 0.2 - 0.1 = 0.1 \text{ моль/л},$$

$$c(B) = 0.6 - 0.2 = 0.4 \text{ моль/л}.$$

Скорость реакции в этот момент времени составила

$$v = k \cdot c(A) \cdot c(B)^2 = 0.85 \cdot 0.1 \cdot 0.16 = 0.0136 \text{ моль}/(\text{л} \cdot \text{мин}).$$

*Ответ:* 0.0612 моль/(\text{л} \cdot \text{мин}); 0.0136 моль/(\text{л} \cdot \text{мин}).

## Задача 4 (16 баллов)

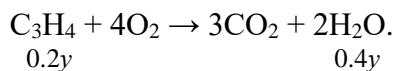
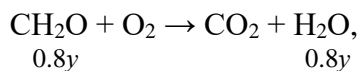
**4.1.** Плотность газовой смеси не изменилась при добавлении кислорода, что означает, что средняя молярная масса смеси была равна молярной массе кислорода. Определим состав смеси. Для одного моля:

$$M_{\text{ср}} = 30x + 40(1 - x) = 40 - 10x = 32,$$

$$x = x(\text{CH}_2\text{O}) = 0.8,$$

$$1 - x = x(\text{C}_3\text{H}_4) = 0.2.$$

Горение  $y$  моль смеси:

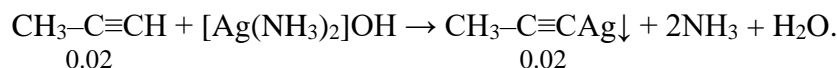
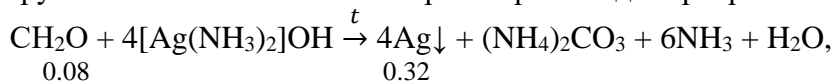


$$\nu(\text{H}_2\text{O}) = 2.16 / 18 = 0.12 \text{ моль},$$

$$0.12 = 0.8y + 0.4y = 1.2y,$$

$$y = 0.1 \text{ моль}.$$

Смесь реагирует с избытком аммиачного раствора оксида серебра:



Масса осадка составила

$$m = 0.32 \cdot 108 + 0.02 \cdot 147 = 37.5 \text{ г}.$$

*Ответ:* 37.5 г.

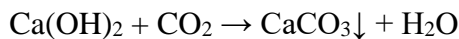
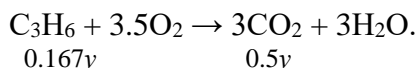
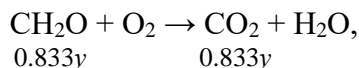
**4.2.** Плотность газовой смеси не изменилась при добавлении кислорода, что означает, что средняя молярная масса смеси была равна молярной массе кислорода. Определим состав смеси. Для одного моля:

$$M_{\text{ср}} = 30x + 42(1 - x) = 42 - 12x = 32,$$

$$x = x(\text{CH}_2\text{O}) = 0.833,$$

$$1 - x = x(\text{C}_3\text{H}_6) = 0.167.$$

Горение  $y$  моль смеси:

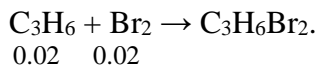
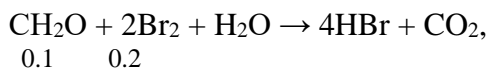


$$\nu(\text{CaCO}_3) = \nu(\text{CO}_2) = 16.0 / 100 = 0.16 \text{ моль},$$

$$0.16 = 0.833y + 0.5y = 1.333y,$$

$$y = 0.12 \text{ моль}.$$

Смесь реагирует с бромной водой:



Масса брома и бромной воды равны

$$m(\text{Br}_2) = (0.2 + 0.02) \cdot 160 = 35.2 \text{ г},$$

$$m(\text{р-ра Br}_2) = 35.2 / 0.02 = 1760 \text{ г}.$$

$$V(\text{p-ра}) = 1760 \cdot 1 = 1760 \text{ мл.}$$

Ответ: 1.76 л.

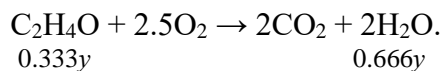
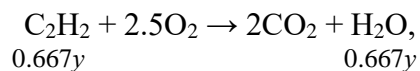
**4.3.** Плотность газовой смеси не изменилась при добавлении кислорода, что означает, что средняя молярная масса смеси была равна молярной массе кислорода. Определим состав смеси. Для одного моля:

$$M_{\text{ср}} = 26x + 44(1 - x) = 44 - 18x = 32,$$

$$x = x(\text{C}_2\text{H}_2) = 0.667,$$

$$1 - x = x(\text{C}_2\text{H}_4\text{O}) = 0.333.$$

Горение  $y$  моль смеси:

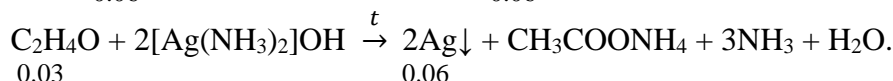
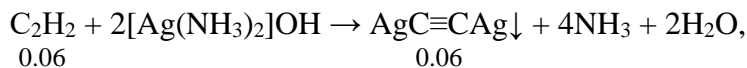


$$\nu(\text{H}_2\text{O}) = 2.16 / 18 = 0.12 \text{ моль},$$

$$0.12 = 0.667y + 0.666y = 1.333y,$$

$$y = 0.09 \text{ моль}.$$

Смесь реагирует с избытком аммиачного раствора оксида серебра:



Масса осадка составила  $m = 0.06 \cdot 240 + 0.06 \cdot 108 = 20.88 \text{ г.}$

Ответ: 20.88 г.

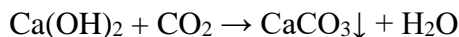
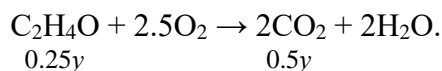
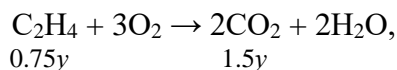
**4.4.** Плотность газовой смеси не изменилась при добавлении кислорода, что означает, что средняя молярная масса смеси была равна молярной массе кислорода. Определим состав смеси. Для одного моля:

$$M_{\text{ср}} = 28x + 44(1 - x) = 44 - 16x = 32,$$

$$x = x(\text{C}_2\text{H}_4) = 0.75,$$

$$1 - x = x(\text{C}_2\text{H}_4\text{O}) = 0.25.$$

Горение  $y$  моль смеси:



$$\nu(\text{CaCO}_3) = \nu(\text{CO}_2) = 16.0 / 100 = 0.16 \text{ моль},$$

$$0.16 = 1.5y + 0.5y = 2.0y,$$

$$y = 0.08 \text{ моль}.$$

Смесь реагирует с подкисленным раствором перманганата:





0.02      0.008

Объем раствора перманганата равен  $V = 0.152 / 0.02 = 7.6$  л.

Ответ: 7.6 л.

### Задача 5 (16 баллов)

**5.1.** Определим **X** по соотношению числа *s*- и *p*-электронов. Т.к. число электронов должно быть целым, рассмотрим варианты с числом *s*-электронов, кратным 5.

1) 5 *s*-электронов ( $1s^2, 2s^2, 3s^1$ ) и 12 *p*-электронов ( $2p^6, 3p^6$ ). Такая комбинация невозможна: не может быть полностью заполнен  $3p$ -подуровень при частичном заполнении  $3s$ -подуровня.

2) 10 *s*-электронов ( $1s^2, 2s^2, 3s^2, 4s^2, 5s^2$ ) и 24 *p*-электрона ( $2p^6, 3p^6, 4p^6, 5p^6$ ). Такая комбинация возможна:  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2 4p^6 4d^{10} 5s^2 5p^6$ . Конфигурация соответствует *p*-элементу 5 периода в низшей степени окисления.

В 5 периоде находятся *p*-элементы In, Sn, Sb, Te, I и Xe. Такая электронная конфигурация низшей степени окисления не характерна для элемента 13 (IIIA) группы индия, поэтому этот элемент не подходит. Ксенон и иод (Xe и I) в виде простого вещества не соответствуют описанию в условии. Остается рассмотреть олово Sn и сурьму Sb, как возможные вещества **X**. Отношение массовых долей элементов-ближайших соседей по периоду в высших фторидах, т.е. элементов 1)  $\text{InF}_3$  и  $\text{SbF}_5$  для олова и 2)  $\text{SnF}_4$  и  $\text{TeF}_6$  для сурьмы:

- 1)  $\omega(\text{In в InF}_3) = 115 / (115 + 3 \cdot 19) = 0.6686,$   
 $\omega(\text{Sb в SbF}_5) = 122 / (122 + 5 \cdot 19) = 0.5622,$   
 $\omega(\text{In}) / \omega(\text{Sb}) = 0.6686 / 0.5622 = 1.19.$
- 2)  $\omega(\text{Sn в SnF}_4) = 119 / (119 + 4 \cdot 19) = 0.6103,$   
 $\omega(\text{Te в TeF}_6) = 128 / (128 + 6 \cdot 19) = 0.5289,$   
 $\omega(\text{Sn}) / \omega(\text{Te}) = 1.15.$

По соотношению массовых долей определяем, что **X** – это Sn.

Из олова делали оловянных солдатиков, в состав сплава, из которого изготавливали духовые трубы органов и различные духовые инструменты, также входило олово. Название «болезни» – оловянная чума (при низких температурах происходит фазовый переход и изделия из олова рассыпаются). Низшая степень окисления олова (–4).

Электронная конфигурация  $\text{Sn}^{2+}$   $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2 4p^6 4d^{10} 5s^2$ .

Ответ: олово; оловянная чума.

**5.2.** Ближайшие соседи по периоду, находящиеся в разных агрегатных состояниях, могут быть у серы, хлора, брома, иода, селена, золота, таллия, однако у серы и хлора, как элементов 3 периода, еще нет *d*-электронов.

Число *d*-электронов у селена и брома – 10 ( $3d^{10}$ ). Число *s*-электронов должно быть  $10 / 1.25 = 8$ , что справедливо для обоих элементов.

В атоме иода 20 *d*-электронов, т.е. число *s*-электронов должно быть 16, что не соответствует действительности. В атоме золота и таллия по 30 *d*-электронов, число *s*-электронов должно быть 24, что также не соответствует действительности.

Рассмотрим два оставшихся варианта – селен и бром.

Образование трифторида возможно для соседей селена – мышьяка и брома. Образование трифторидов для соседей брома – селена и криптона – маловероятно, если рассмотреть их электронную конфигурацию и учесть проявляемые ими в соединениях степени окисления.

Массовая доля брома в трифториде:

$$\omega(\text{Br}) = M(\text{Br}) / M(\text{BrF}_3) = 80 / 137 = 0.584.$$

Массовая доля мышьяка в трифториде:

$$\omega(\text{As}) = M(\text{As}) / M(\text{AsF}_3) = 75 / 132 = 0.568.$$

Соотношение массовых долей:

$$\omega(\text{Br}) / \omega(\text{As}) = 0.584 / 0.568 = 1.03.$$

Неизвестный элемент **X** – селен, его высший оксид  $\text{SeO}_3$ .

*Ответ:* селен Se;  $\text{SeO}_3$ .

**5.3.** Рассмотрим сульфид с массовой долей элемента **X** 70% (массовая доля серы 30%). Он будет иметь формулу  $\text{X}_2\text{S}_y$ , для него выполняется соотношение

$$2 : y = \frac{\omega(\text{X})}{M(\text{X})} : \frac{\omega(\text{S})}{M(\text{S})} = \frac{70}{M} : \frac{30}{32} = 74.67 / M.$$

Отсюда  $M = 37.33y$ .

Перебором значений  $y$  находим атомную массу **X**:

$$y = 1 \quad M = 37.33$$

$$y = 2 \quad M = 74.66 - \text{As}$$

$$y = 3 \quad M = 111.99 - \text{Cd}$$

$$y = 4 \quad M = 149.32$$

$$y = 5 \quad M = 186.65 - \text{Re}$$

$$y = 6 \quad M = 223.98$$

$$y = 7 \quad M = 261.31$$

По данным о массовой доле **X** в сульфиде подходят несколько элементов, могут возникать вопросы по проявляемой степени окисления. Для более точного определения элемента можно использовать данные о соотношении числа  $p$ - и  $d$ -электронов в атоме.

В атоме мышьяка As есть 15  $p$ -электронов ( $2p^6, 3p^6, 4p^3$  электроны) и 10  $d$ -электронов ( $3d^{10}$  электроны). Число  $p$ -электронов в  $15 / 10 = 1.5$  раза больше числа  $d$ -электронов.

В атоме кадмия Cd есть 18  $p$ -электронов ( $2p^6, 3p^6, 4p^6$  электроны) и 20  $d$ -электронов ( $3d^{10}, 4d^{10}$  электроны). Число  $p$ -электронов в  $18 / 20 = 0.9$  раза больше числа  $d$ -электронов.

В атоме рения Re есть 24  $p$ -электрона ( $2p^6, 3p^6, 4p^6, 5p^6$  электроны) и 27  $d$ -электронов ( $3d^{10}, 4d^{10}, 5d^7$  электроны). Число  $p$ -электронов в  $24 / 27 = 0.89$  раза больше числа  $d$ -электронов.

Элемент **X** – это мышьяк. Электронная конфигурация мышьяка в низшей степени окисления:  $\text{As}^{3-} 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2 4p^6$ .

*Ответ:* мышьяк As.

**5.4.** Вначале проанализируем соотношение чисел  $d$ - и  $s$ -электронов. Известно, что в нейтральном атоме  $d$ -электроны появляются после заполнения  $4s$ -подуровня, но в условии говорится про ион элемента в высшей степени окисления. Поэтому минимальное число  $s$ -электронов, равное шести, будет наблюдаться у атома с заполненным  $3s$ -подуровнем. Число

$d$ -электронов в этом случае должно быть  $6 \cdot 2.5 = 15$ , что не соответствует заполнению только трех  $s$ -орбиталей. Значит, надо рассмотреть атом, у которого в нейтральном состоянии есть  $5s$ -подуровень. В высшей степени окисления у атома на  $5s$ -орбитали не будет электронов, будут только на первых четырех, т. е. всего 8  $s$ -электронов, им соответствуют 20  $d$ -электронов. Такой вариант реализуется у атомов  $p$ -элементов 5 периода в высшей степени окисления.

Анализируя электронные конфигурации элементов 5 периода и проявляемые ими степени окисления, можно предположить, что тетрафториды образованы ближайшими соседями сурьмы –  $\text{SnF}_4$  и  $\text{TeF}_4$  или соседями иода –  $\text{TeF}_4$  и  $\text{XeF}_4$ .

Рассчитаем соотношения массовых долей  $p$ -элементов в соответствующих фторидах:

$$\omega(\text{Sn}) = 119 / (119 + 4 \cdot 19) = 0.61026,$$

$$\omega(\text{Te}) = 128 / (128 + 4 \cdot 10) = 0.62745,$$

$$\omega(\text{Te}) / \omega(\text{Sn}) = 1.0282 \text{ – не соответствует условию.}$$

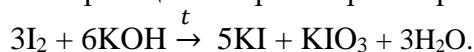
Тогда проверим

$$\omega(\text{Xe}) = 131 / (131 + 4 \cdot 19) = 0.63285,$$

$$\omega(\text{Te}) = 128 / (128 + 4 \cdot 10) = 0.62745,$$

$$\omega(\text{Xe}) / \omega(\text{Te}) = 1.0086.$$

Итак, искомым элемент  $\text{X}$  – иод. При комнатной температуре это твердое вещество черно-серого цвета. Уравнение его реакции с горячим раствором щелочи:



Ответ: иод I.

## Задача 6 (20 баллов)

**6.1.** Пусть в смеси содержатся  $3x$  моль  $\text{KMnO}_4$ ,  $x$  моль  $\text{MnO}_2$  и  $2x$  моль  $\text{A}$ . Введем следующие обозначения:  $M$  – молярная масса  $\text{A}$ , в молекуле которого содержатся  $a$  моль атомов марганца. Тогда масса смеси составляет

$$m(\text{смеси}) = (158 \cdot 3 + 87 + M \cdot 2) \cdot x = (561 + 2M) \cdot x,$$

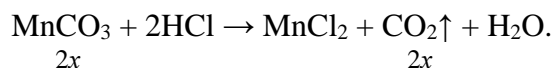
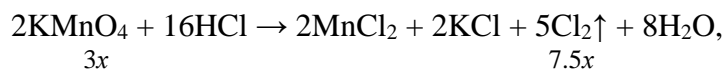
а масса марганца в смеси равна

$$m(\text{Mn}) = 55 \cdot (3x + x + 2ax) = (220 + 110a) \cdot x.$$

По условию, массовая доля марганца равна

$$\omega(\text{Mn}) = (220 + 110a) / (561 + 2M) = 0.4172.$$

При  $a = 1$ ,  $M = 115$  г/моль,  $\text{A}$  – карбонат марганца(II)  $\text{MnCO}_3$ .



$$M(\text{смеси}) = (71 \cdot 8.5 + 44 \cdot 2) \cdot x / (10.5x) = 65.86 \text{ г/моль.}$$

$$D_{\text{возд.}}(\text{смеси}) = 65.86 / 29 = 2.27.$$

Ответ:  $\text{MnCO}_3$ ; 2.27.

**6.2.** Пусть в смеси содержатся  $2x$  моль  $(\text{CuOH})_2\text{CO}_3$ ,  $x$  моль  $\text{CuO}$  и  $2x$  моль **A**. Введем следующие обозначения:  $M$  – молярная масса **A**, в молекуле которого содержится  $a$  моль атомов меди. Тогда масса смеси составляет

$$m(\text{смеси}) = (222 \cdot 2 + 80 + M \cdot 2) \cdot x = (524 + 2M) \cdot x,$$

а масса меди в смеси равна

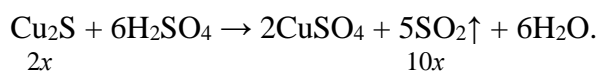
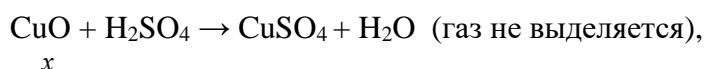
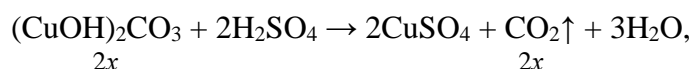
$$m(\text{Cu}) = 64 \cdot (4x + x + 2ax) = (320 + 128a) \cdot x.$$

По условию, массовая доля меди равна

$$\omega(\text{Cu}) = (320 + 128a) / (524 + 2M) = 0.6825.$$

Значение  $a = 1$  не подходит.

При  $a = 2$ ,  $M = 160$ , **A** – сульфид меди(I)  $\text{Cu}_2\text{S}$ .



$$M(\text{смеси}) = (64 \cdot 10 + 44 \cdot 2) \cdot x / (12x) = 60.67 \text{ г/моль}.$$

$$D_{\text{N}_2}(\text{смеси}) = 60.67 / 28 = 2.17.$$

*Ответ:*  $\text{Cu}_2\text{S}$ ; 2.17.

**6.3.** Пусть в смеси содержатся  $x$  моль  $(\text{ZnOH})_2\text{CO}_3$ ,  $3x$  моль  $\text{Zn}(\text{ClO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  и  $2x$  моль **A**. Введем следующие обозначения:  $M$  – молярная масса **A**, в молекуле которого содержится  $a$  моль атомов цинка. Тогда масса смеси составляет

$$m(\text{смеси}) = (224 + 304 \cdot 3 + M \cdot 2) \cdot x = (1136 + 2M) \cdot x,$$

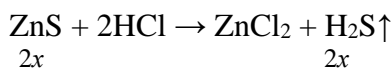
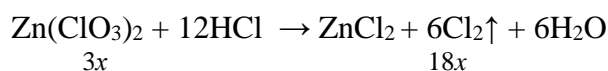
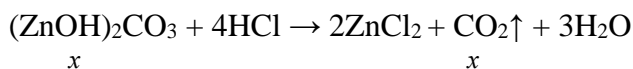
а масса цинка в смеси равна

$$m(\text{Zn}) = 65 \cdot (2x + 3x + 2ax) = (325 + 130a) \cdot x.$$

По условию, массовая доля меди равна

$$\omega(\text{Cu}) = (325 + 130a) / (1136 + 2M) = 0.3421.$$

При  $a = 1$ ,  $M = 97$ , **A** – сульфид цинка  $\text{ZnS}$ .



$$M(\text{смеси}) = (44 + 71 \cdot 18 + 34 \cdot 2) \cdot x / (21x) = 66.19 \text{ г/моль}.$$

$$D_{\text{возд.}}(\text{смеси}) = 66.19 / 29 = 2.28.$$

*Ответ:*  $\text{ZnS}$ ; 2.28.

**6.4.** Пусть в смеси содержатся  $x$  моль  $\text{Fe}_2\text{S}_3$ ,  $x$  моль  $\text{FeO}$  и  $3x$  моль **A**. Введем следующие обозначения:  $M$  – молярная масса **A**, в молекуле которого содержатся  $a$  моль атомов железа. Тогда масса смеси составляет

$$m(\text{смеси}) = (208 + 72 + M \cdot 3) \cdot x = (280 + 3M) \cdot x,$$

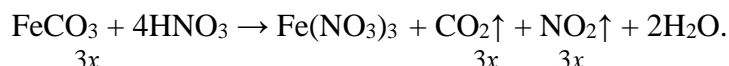
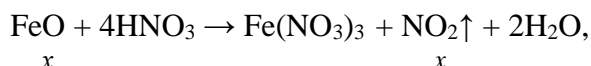
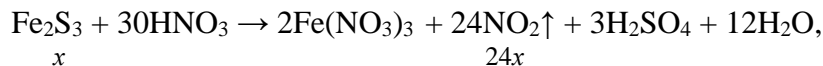
а масса железа в смеси равна

$$m(\text{Fe}) = 56 \cdot (2x + x + 3ax) = (168 + 168a) \cdot x.$$

По условию, массовая доля железа равна

$$\omega(\text{Fe}) = (168 + 168a) / (280 + 3M) = 0.5350.$$

При  $a = 1$ ,  $M = 116$ , **A** – карбонат железа  $\text{FeCO}_3$ .



$$M(\text{смеси}) = (46 \cdot 28 + 44 \cdot 3) \cdot x / (31x) = 45.81 \text{ г/моль},$$

$$D_{\text{возд.}}(\text{смеси}) = 45.81 / 29 = 1.58.$$

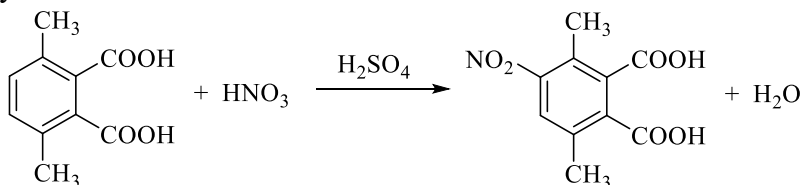
Ответ:  $\text{FeCO}_3$ ; 1.58.

## Задача 7 (20 баллов)

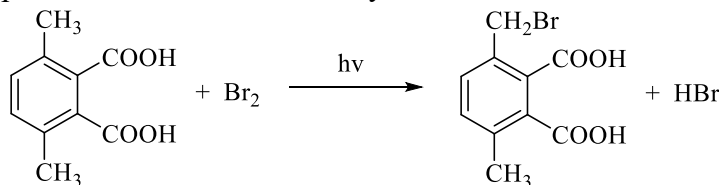
**7.1.** Поскольку **A** состоит из атомов углерода, водорода и кислорода, то переводя массовые доли в мольные, получаем простейшее соотношение:

$$\nu(\text{C}) : \nu(\text{H}) : \nu(\text{O}) = \frac{61.855}{12} : \frac{5.155}{1} : \frac{32.99}{16} = 1 : 1 : 0.4.$$

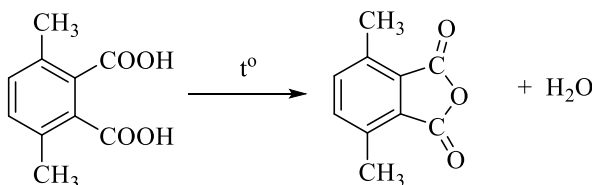
Поскольку карбоновая кислота не может содержать нечётное количество атомов водорода, простейшая формула **A** –  $\text{C}_{10}\text{H}_{10}\text{O}_4$ . Уменьшение на 9.278% соответствует потере массы на 18 г/моль, следовательно, при нагревании **A** произошло отщепление молекулы воды. Реакция нитрования, приводящая только к одному нитропроизводному, соответствует следующей формуле **A**:



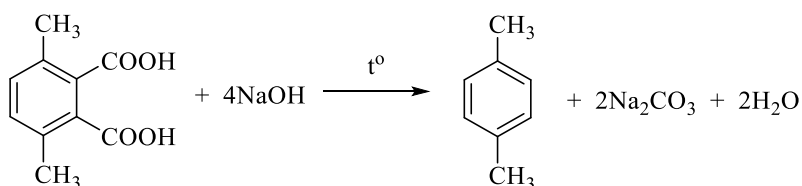
Реакция бромирования кислоты **A** на свету:



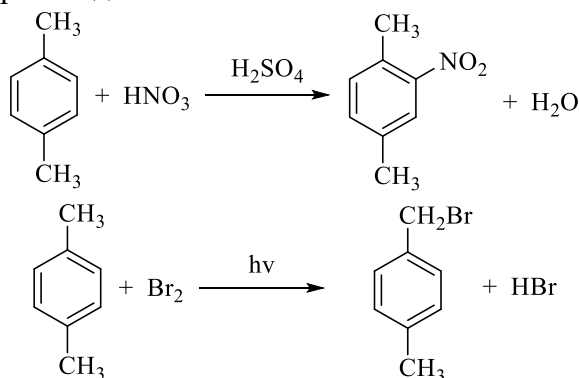
При нагревании происходит дегидратация **A** с образованием производного фталевого ангидрида:



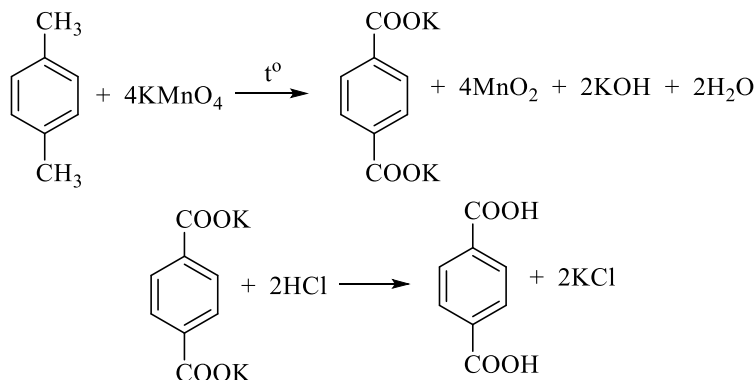
После сплавления кислоты **A** с твердой щелочью образуется 1,4-диметилбензол (соединение **B**):



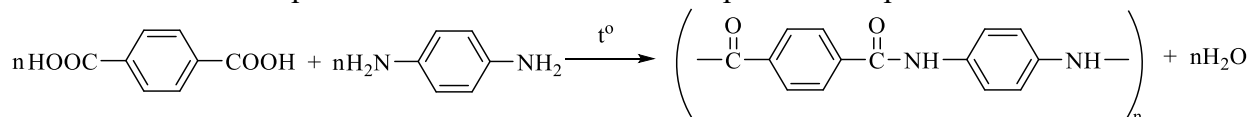
При нитровании и бромировании на свету 1,4-диметилбензола образуются единственные моонитро- и монобромпроизводные:



При окислении 1,4-диметилбензола водным раствором перманганата калия при нагревании образуется калиевая соль терефталевой кислоты **C**, которая затем превращается в кислоту **D**:



При нагревании терефталевой кислоты **D** с 1,4-диаминобензолом происходит реакция поликонденсации с образованием полиамидного материала кевлара:

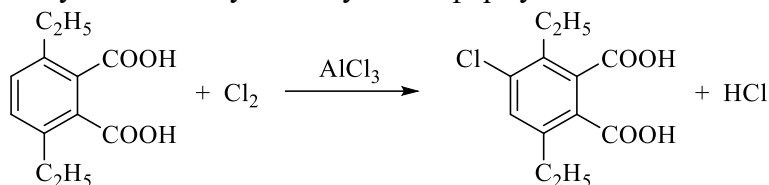


Волокно кевлар обладает высокой прочностью при небольшом весе, его применяют в качестве армирующего материала для автомобильных шин и специальных прочных тканей. Оно используется для изготовления многослойных средств индивидуальной защиты, бронежилетов и бронешлемов.

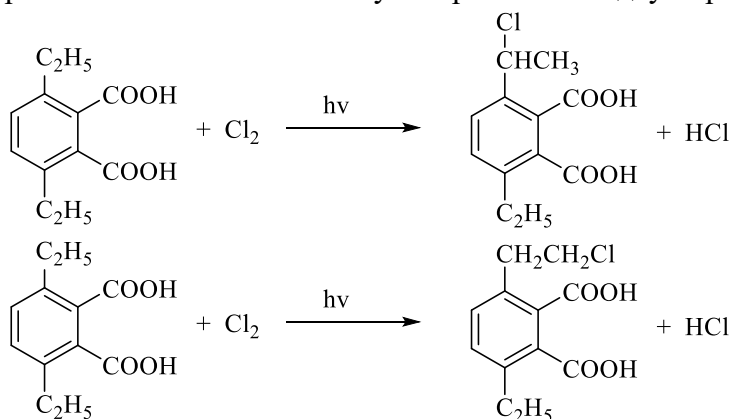
**7.2.** Поскольку неизвестная карбоновая кислота состоит из атомов углерода, водорода и кислорода, то переводя массовые доли в мольные, получаем простейшее соотношение:

$$\nu(\text{C}) : \nu(\text{H}) : \nu(\text{O}) = \frac{64.865}{12} : \frac{6.306}{1} : \frac{28.829}{16} = 3 : 3.5 : 1.$$

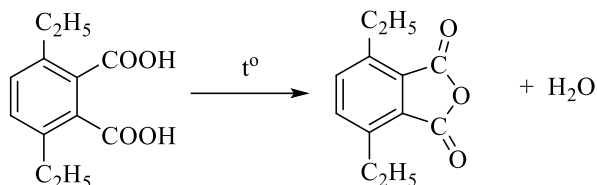
Поскольку карбоновая кислота не может содержать нечётное количество атомов водорода, простейшая формула кислоты –  $C_{12}H_{14}O_4$ . Уменьшение на 8.108% соответствует потере массы 18 г/моль, следовательно, при нагревании **A** произошло отщепление молекулы воды. Реакция хлорирования в присутствии хлорида алюминия, приводящая только к одному моноклорпроизводному соответствует следующей формуле **A**:



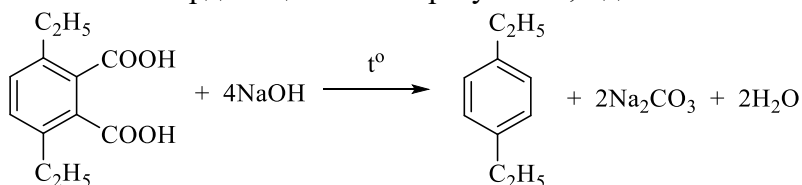
Реакции хлорирования кислоты **A** на свету с образованием двух производных:



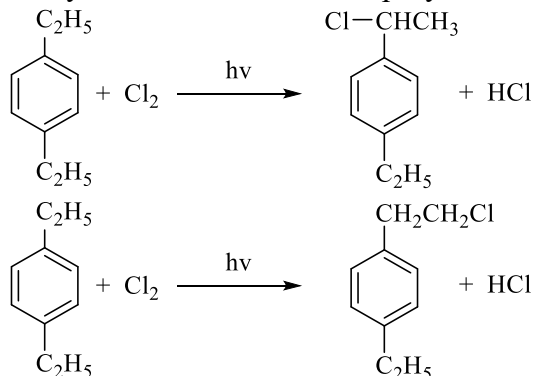
При нагревании происходит дегидратация кислоты с образованием производного фталевого ангидрида:



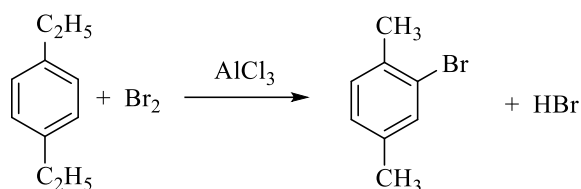
После сплавления **A** с твердой щелочью образуется 1,4-диэтилбензол (соединение **B**):



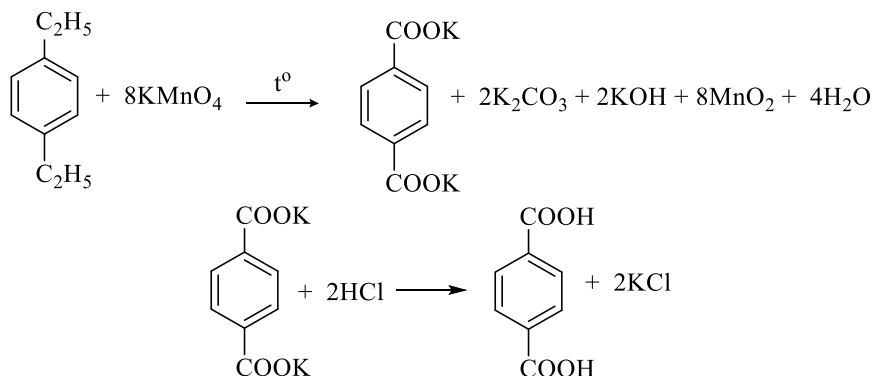
При хлорировании на свету 1,4-диэтилбензола образуются два моноклорпроизводных:



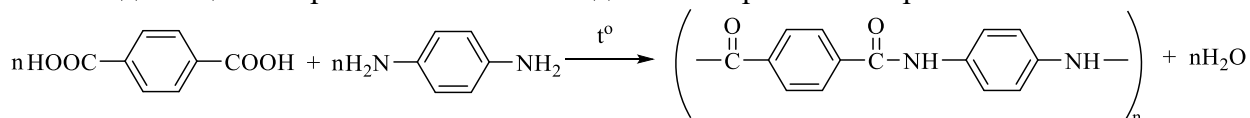
а при бромировании в присутствии хлорида алюминия – одно монобромпроизводное:



При окислении 1,4-диэтилбензола водным раствором перманганата калия при нагревании образуется калиевая соль терефталевой кислоты **C**, которая затем превращается в кислоту **D**.



При нагревании терефталевой кислоты **D** с 1,4-диаминобензолом происходит реакция поликонденсации с образованием полиамидного материала кевлара:

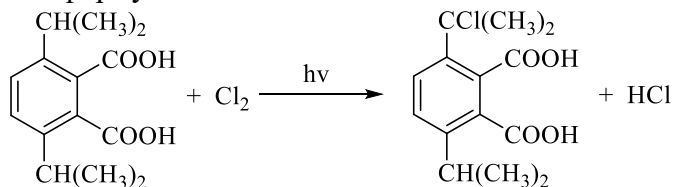


Волокно кевлар обладает высокой прочностью при небольшом весе, его применяют в качестве армирующего материала для автомобильных шин и специальных прочных тканей. Оно используется для изготовления многослойных средств индивидуальной защиты, бронежилетов и бронешлемов.

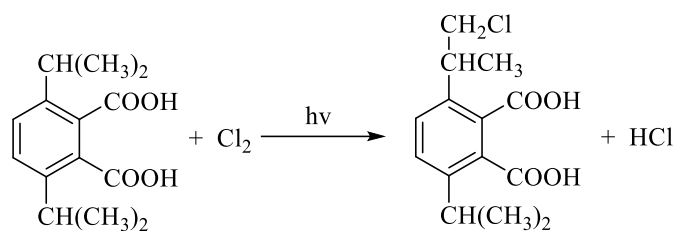
**7.3.** Поскольку неизвестная карбоновая кислота состоит из атомов углерода, водорода и кислорода, то переводя массовые доли в мольные, получаем простейшее соотношение:

$$\nu(\text{C}) : \nu(\text{H}) : \nu(\text{O}) = \frac{67.2}{12} : \frac{7.2}{1} : \frac{25.6}{16} = 3.5 : 4.5 : 1.$$

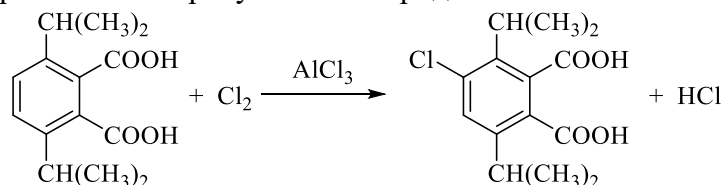
Поскольку карбоновая кислота не может содержать нечётное количество атомов водорода, то простейшая формула кислоты  $\text{C}_{14}\text{H}_{18}\text{O}_4$ . Уменьшение на 7.2% соответствует потере массы 18 г/моль, следовательно, при нагревании **A** произошло отщепление молекулы воды. Реакция хлорирования на свету, приводящая только к двум моноклорпроизводным соответствует следующей формуле **A**:



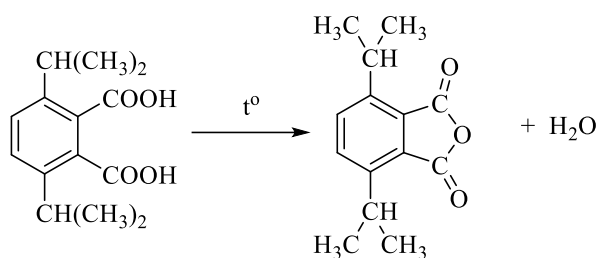




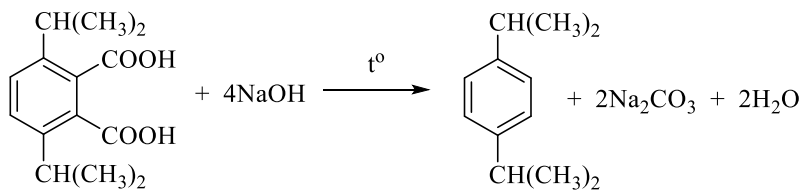
Реакция хлорирования **A** в присутствии хлорида алюминия:



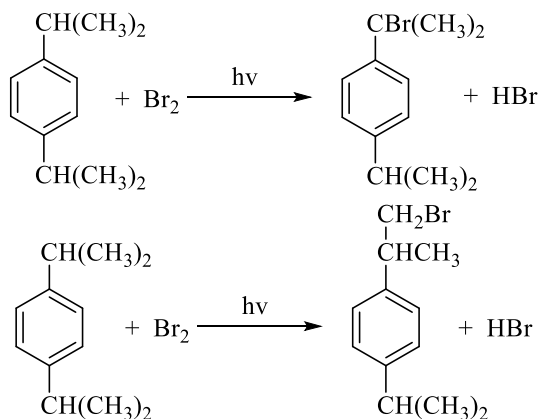
При нагревании происходит дегидратация кислоты с образованием производного фталевого ангидрида:



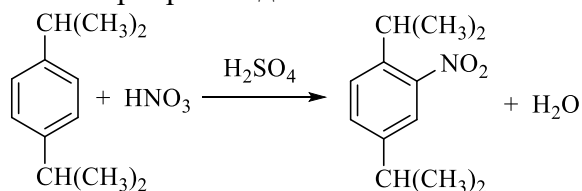
После сплавления кислоты **A** с твердой щелочью образуется 1,4-диизопропилбензол (соединение **B**):



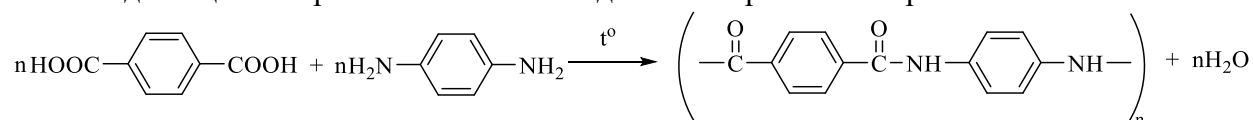
При бромировании на свету 1,4-диизопропилбензола образуются два монобромпроизводных:



а при нитровании – одно мононитропроизводное:



При нагревании терефталевой кислоты **D** с 1,4-диаминобензолом происходит реакция поликонденсации с образованием полиамидного материала кевлара:

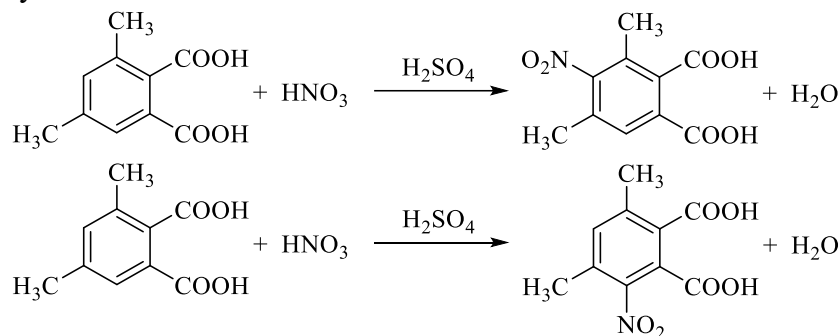


Волокно кевлар обладает высокой прочностью при небольшом весе, его применяют в качестве армирующего материала для автомобильных шин и специальных прочных тканей. Оно используется для изготовления многослойных средств индивидуальной защиты, бронежилетов и бронешлемов.

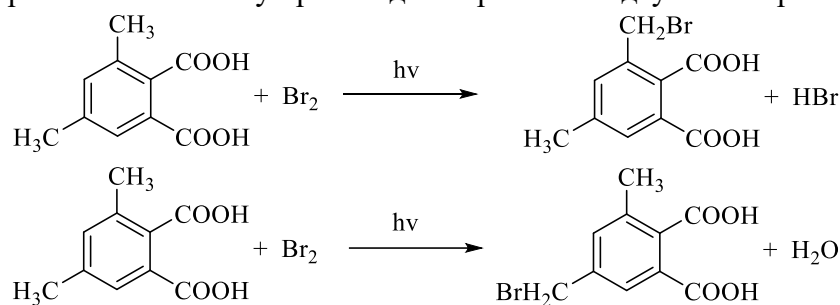
**7.4.** Поскольку неизвестная карбоновая кислота состоит из атомов углерода, водорода и кислорода, то переводя массовые доли в мольные, получаем простейшее соотношение:

$$\nu(\text{C}) : \nu(\text{H}) : \nu(\text{O}) = \frac{61.855}{12} : \frac{5.155}{1} : \frac{32.99}{16} = 1 : 1 : 0.4.$$

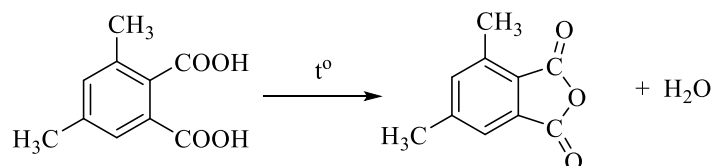
Поскольку карбоновая кислота не может содержать нечётное количество атомов водорода, простейшая формула кислоты –  $\text{C}_{10}\text{H}_{10}\text{O}_4$ . Уменьшение на 9.278% соответствует потере массы 18 г/моль, следовательно, при нагревании **A** произошло отщепление молекулы воды. Реакция нитрования, приводящая только к двум моонитропроизводным, соответствует следующей формуле **A**:



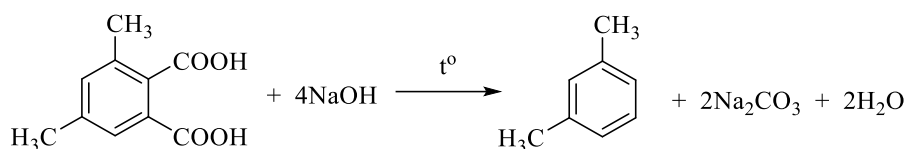
При бромировании **A** на свету происходит образование двух монобромпроизводных:



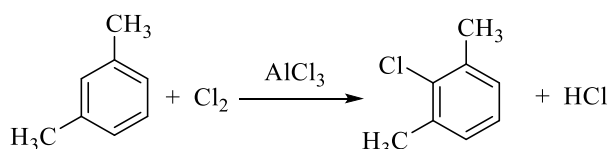
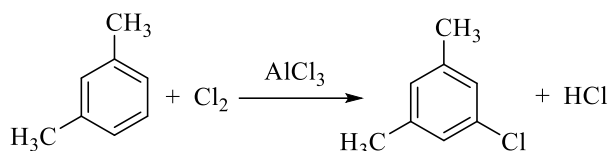
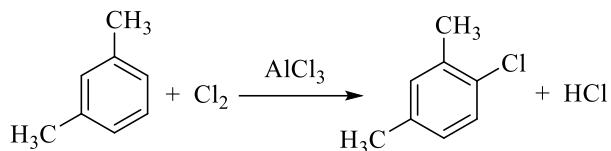
а при нагревании происходит дегидратация кислоты с образованием производного фталевого ангидрида:



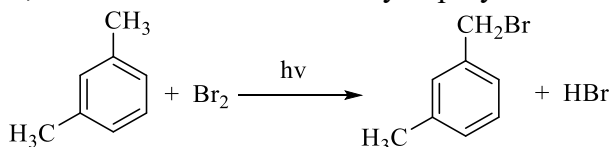
После сплавления кислоты **A** с твердой щелочью образуется 1,3-диметилбензол (соединение **B**):



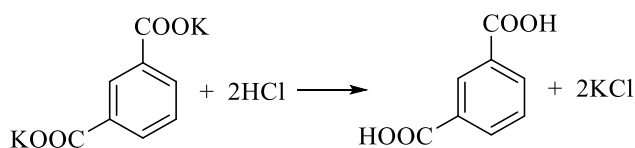
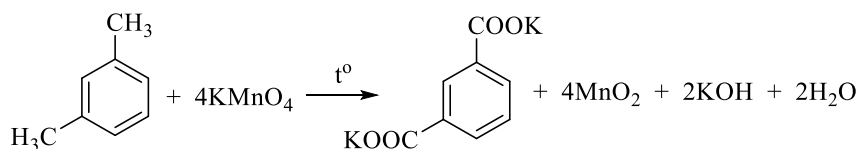
При хлорировании 1,3-диметилбензола в присутствии хлорида алюминия образуются три монохлорпроизводных:



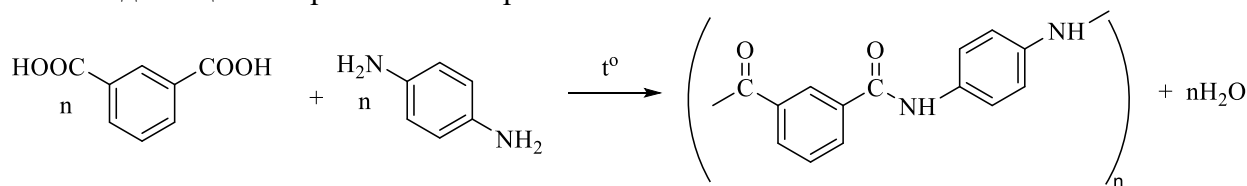
При бромировании 1,3-диметилбензола на свету образуется одно монобромпроизводное:



При окислении 1,3-диметилбензола водным раствором перманганата калия при нагревании образуется калиевая соль метафталевой кислоты **C**, которая затем превращается в кислоту **D**.



При нагревании метафталевой кислоты с 1,4-диаминобензолом происходит реакция поликонденсации с образованием термостойкого и огнестойкого волокна.



## Олимпиада «Ломоносов». 5-9 классы. Отборочный тур

Указание к оформлению решения. Во всех задачах, требующих численного ответа, должны быть приведены расчеты. Все качественные вопросы требуют обоснования. Только ответы без расчетов и/или обоснований не оцениваются.

### Задача 1 (8 баллов)

**1.1.** Навеску бинарного сульфида массой 6.0000 г сожгли в избытке кислорода и получили 5.3957 г твердого остатка. Определите формулы сульфида и продукта обжига, напишите уравнение реакции. В расчетах используйте атомные массы элементов с точностью до сотых.

**1.2.** Навеску бинарного сульфида массой 6.0000 г сожгли в избытке кислорода и получили 5.2237 г твердого остатка. Определите формулы сульфида и продукта обжига, напишите уравнение реакции. В расчетах используйте атомные массы элементов с точностью до сотых.

**1.3.** Навеску бинарного сульфида массой 6.0000 г сожгли в избытке кислорода и получили 5.5099 г твердого остатка. Определите формулы сульфида и продукта обжига, напишите уравнение реакции. В расчетах используйте атомные массы элементов с точностью до сотых.

**1.4.** Навеску бинарного сульфида массой 6.000 г сожгли в избытке кислорода и получили 5.386 г твердого остатка. Определите формулы сульфида и продукта обжига, напишите уравнение реакции. В расчетах используйте атомные массы элементов с точностью до сотых.

### Задача 2 (14 баллов)

**2.1.** В таблице приведены данные по растворимости четырех солей при 20 °С. При этой температуре смешали по 100 г насыщенных растворов двух из этих солей, в результате выпал осадок, не содержащий кристаллизационной воды. Установите формулы солей, а также формулу и массу осадка.

Соль	NaCl	BaCl <sub>2</sub> · 2H <sub>2</sub> O	Ba(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	NaNO <sub>3</sub>
Растворимость, г / 100 г воды	35.8	35.7	9.1	88.3

**2.2.** В таблице приведены данные по растворимости четырех солей при 40 °С. При этой температуре смешали по 100 г насыщенных растворов двух из этих солей, в результате выпал осадок, не содержащий кристаллизационной воды. Установите формулы солей, а также формулу и массу осадка.

Соль	NaCl	BaCl <sub>2</sub> · 2H <sub>2</sub> O	Ba(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	NaNO <sub>3</sub>
Растворимость, г / 100 г воды	36.4	40.8	14.4	105.0

**2.3.** В таблице приведены данные по растворимости четырех солей при 20 °С. При этой температуре смешали по 100 г насыщенных растворов двух из этих солей, в результате выпал осадок, не содержащий кристаллизационной воды. Установите формулы солей, а также формулу и массу осадка.

Соль	NaNO <sub>3</sub>	NaHCO <sub>3</sub>	KNO <sub>3</sub>	KHCO <sub>3</sub>
Растворимость, г / 100 г воды	88.3	9.6	31.7	33.3

**2.4.** В таблице приведены данные по растворимости четырех солей при 40 °С. При этой температуре смешали по 100 г насыщенных растворов двух из этих солей, в результате выпал осадок, не содержащий кристаллизационной воды. Установите формулы солей, а также формулу и массу осадка.

Соль	NaNO <sub>3</sub>	NaHCO <sub>3</sub>	KNO <sub>3</sub>	KHCO <sub>3</sub>
Растворимость, г / 100 г воды	105.0	12.7	63.9	45.3

### Задача 3 (12 баллов)

**3.1.** Имеется смесь нескольких (точное число неизвестно) газов, которая тяжелее водорода в 15 раз. Массовая доля одного из газов в этой смеси равна 39%, а мольная доля – 45%. Установите формулу газа. Может ли такая смесь состоять всего из двух газов? Объясните.

**3.2.** Имеется смесь нескольких (точное число неизвестно) газов, которая тяжелее водорода в 16 раз. Массовая доля одного из газов в этой смеси равна 15%, а мольная доля – 10%. Установите формулу газа. Может ли такая смесь состоять всего из двух газов? Объясните.

**3.3.** Имеется смесь нескольких (точное число неизвестно) газов, которая тяжелее водорода в 18 раз. Массовая доля одного из газов в этой смеси равна 60%, а мольная доля – 80%. Установите формулу газа. Может ли такая смесь состоять всего из двух газов? Объясните.

**3.4.** Имеется смесь нескольких (точное число неизвестно) газов, которая тяжелее углекислого газа в 1.5 раза. Массовая доля одного из газов в этой смеси равна 40%, а мольная доля – 30%. Установите формулу газа. Может ли такая смесь состоять всего из двух газов? Объясните.

### Задача 4 (16 баллов)

**4.1.** Бесцветное кристаллическое вещество используют для травления стекла. Оно имеет ионное строение, причем количества положительных и отрицательных ионов одинаковы, а катион и анион содержат общий элемент. Число электронов в отрицательном ионе в два раза больше, чем в положительном. При нагревании вещество полностью разлагается без образования твердого остатка, а полученный газ тяжелее водорода в 9.5 раз. Установите формулу вещества, напишите уравнение реакции разложения и укажите геометрическую форму ионов, из которых состоит вещество.

**4.2.** Бесцветное кристаллическое вещество является сильным окислителем и входит в состав твердого топлива. Оно имеет ионное строение, причем количества положительных и отрицательных ионов одинаковы, а у катиона и аниона нет общих элементов. Число электронов в отрицательном ионе в пять раз больше, чем в положительном. При нагревании вещество полностью разлагается без образования твердого остатка, причем состав продуктов разложения зависит от температуры реакции. При высокой температуре образуются хлор и кислород в равных количествах. Установите формулу вещества, напишите уравнение реакции разложения и укажите геометрическую форму ионов, из которых состоит вещество.

**4.3.** Бесцветное кристаллическое вещество является сильным окислителем и способно воспламенять древесину. Оно имеет ионное строение, причем количества положительных и отрицательных ионов одинаковы, а катион и анион содержат общий элемент. Число электронов в отрицательном ионе в пять раз больше, чем в положительном. Раствор вещества имеет сильноокислую среду. При нагревании вещество плавится, а затем разлагается без образования твердого остатка. Среди продуктов разложения – два газа-окислителя. Установите формулу вещества, напишите возможное уравнение реакции разложения и укажите геометрическую форму ионов, из которых состоит вещество.

**4.4.** Бесцветное кристаллическое вещество используется в качестве пищевой добавки. Оно имеет ионное строение, причем количества положительных и отрицательных ионов одинаковы, а катион и анион содержат общий элемент. Число электронов в отрицательном ионе в пять раз больше, чем в положительном. При сильном нагревании вещество полностью разлагается с образованием стекловидного твердого остатка и смеси двух газов, каждый из которых легче воздуха. Установите формулу вещества, напишите уравнение реакции разложения и укажите геометрическую форму ионов, из которых состоит вещество.

### Задача 5 (12 баллов)

**5.1.** Радиоактивный изотоп металла подвергается  $\beta^-$ -распаду и имеет период полураспада 4.20 мин. За одну секунду в одном грамме металла происходит  $8.04 \cdot 10^{18}$  распадов. Установите массовое число изотопа и напишите уравнение распада, если известно, что при этом образуется устойчивый изотоп элемента IVA (14) группы.

**5.2.** Радиоактивный изотоп металла подвергается  $\beta^-$ -распаду и имеет период полураспада 4.77 мин. За одну секунду в одном миллиграмме металла происходит  $7.04 \cdot 10^{15}$  распадов. Установите массовое число изотопа и напишите уравнение распада, если известно, что при этом образуется устойчивый изотоп элемента IVA (14) группы.

**5.3.** Радиоактивный изотоп металла подвергается  $\beta^+$ -распаду и имеет период полураспада 12.2 сут. За одну секунду в одном грамме металла происходит  $1.96 \cdot 10^{15}$  распадов. Установите массовое число изотопа и напишите уравнение распада, если известно, что при этом образуется устойчивый изотоп элемента IIB (12) группы.

**5.4.** Радиоактивный изотоп металла испытывает электронный захват и имеет период полураспада 72.9 ч. За одну секунду в одном миллиграмме металла происходит  $7.91 \cdot 10^{12}$  распадов. Установите массовое число изотопа и напишите уравнение распада, если известно, что при этом образуется устойчивый изотоп элемента IIB (12) группы.

### Задача 6 (18 баллов)

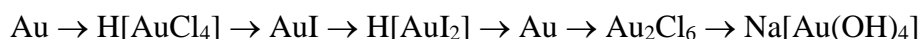
**6.1.** Напишите уравнения реакций согласно схеме превращений:



**6.2.** Напишите уравнения реакций согласно схеме превращений:



**6.3.** Напишите уравнения реакций согласно схеме превращений:



**6.4.** Напишите уравнения реакций согласно схеме превращений:



### Задача 7 (20 баллов)

**7.1.** Фториды ксенона гидролизуются по-разному. Дифторид с водой дает фтороводород и два простых вещества. При гидролизе тетрафторида образуются кислород и ксенон в мольном соотношении 3 : 4, а также триоксид ксенона и фтороводород. Гексафторид гидролизруется без изменения степеней окисления элементов.

Количественный гидролиз смеси трех фторидов привел к выделению 60.2 мл газа (при 290 К и 100 кПа), содержащего 40.0% кислорода по объему. Содержание  $\text{XeO}_3$  в растворе

определили титрованием 0.100 М раствором FeSO<sub>4</sub>, которого потребовалось 36.0 мл. При титровании Fe(+2) окисляется до Fe(+3), а ксенон восстанавливается полностью. Напишите уравнения всех реакций гидролиза и рассчитайте состав (мол.%) исходной смеси фторидов.

**7.2.** Фториды ксенона гидролизуются по-разному. Дифторид с водой дает фтороводород и два простых вещества. При гидролизе тетрафторида образуются кислород и ксенон в мольном соотношении 3 : 4, а также триоксид ксенона и фтороводород. Гексафторид гидролизуеться без изменения степеней окисления элементов.

Количественный гидролиз смеси трех фторидов привел к выделению 60.2 мл газа (при 290 К и 100 кПа), содержащего 40.0% кислорода по объему. Содержание ХеО<sub>3</sub> в растворе определили титрованием 0.100 М раствором FeSO<sub>4</sub>, которого потребовалось 60.0 мл. При титровании Fe(+2) окисляется до Fe(+3), а ксенон восстанавливается полностью.

Напишите уравнения всех реакций гидролиза и рассчитайте состав (мол.%) исходной смеси фторидов.

**7.3.** Фториды ксенона гидролизуются по-разному. Дифторид с водой дает фтороводород и два простых вещества. При гидролизе тетрафторида образуются кислород и ксенон в мольном соотношении 3 : 4, а также триоксид ксенона и фтороводород. Гексафторид гидролизуеться без изменения степеней окисления элементов.

Количественный гидролиз смеси трех фторидов привел к выделению 59.1 мл газа (при 290 К и 102 кПа), содержащего 36.0% кислорода по объему. Содержание ХеО<sub>3</sub> в растворе определили титрованием 0.100 М раствором FeSO<sub>4</sub>, которого потребовалось 48.0 мл. При титровании Fe(+2) окисляется до Fe(+3), а ксенон восстанавливается полностью.

Напишите уравнения всех реакций гидролиза и рассчитайте состав (мол.%) исходной смеси фторидов.

**7.4.** Фториды ксенона гидролизуются по-разному. Дифторид с водой дает фтороводород и два простых вещества. При гидролизе тетрафторида образуются кислород и ксенон в мольном соотношении 3 : 4, а также триоксид ксенона и фтороводород. Гексафторид гидролизуеться без изменения степеней окисления элементов.

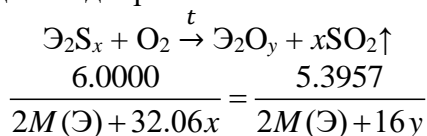
Количественный гидролиз смеси трех фторидов привел к выделению 59.1 мл газа (при 290 К и 102 кПа), содержащего 36.0% кислорода по объему. Содержание ХеО<sub>3</sub> в растворе определили титрованием 0.100 М раствором FeSO<sub>4</sub>, которого потребовалось 84.0 мл. При титровании Fe(+2) окисляется до Fe(+3), а ксенон восстанавливается полностью.

Напишите уравнения всех реакций гидролиза и рассчитайте состав (мол.%) исходной смеси фторидов.

## Решения заданий отборочного тура 5-9 классов

### Задача 1 (8 баллов)

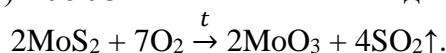
**1.1.** Будем решать задачу методом подбора.



$$M(\text{Э}) = 143.13x - 79.431y.$$

$$x = 4, y = 6.$$

$M(\text{Э}) = 95.934$  г/моль – это молибден Мо.



Ответ:  $\text{MoS}_2$ ,  $\text{MoO}_3$ .

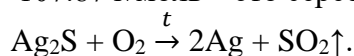
1.2. Будем решать задачу методом подбора.

$$\frac{\begin{array}{c} \text{Э}_2\text{S}_x + \text{O}_2 \xrightarrow{t} \text{Э}_2\text{O}_y + x\text{SO}_2\uparrow \\ 6.0000 \end{array}}{2M(\text{Э}) + 32.06x} = \frac{5.2237}{2M(\text{Э}) + 16y}$$

$$M(\text{Э}) = 107.87x - 61.83y.$$

$$x = 1, y = 0.$$

$M(\text{Э}) = 107.87$  г/моль – это серебро Ag.



Ответ:  $\text{Ag}_2\text{S}$ , Ag.

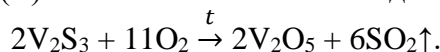
1.3. Будем решать задачу методом подбора.

$$\frac{\begin{array}{c} \text{Э}_2\text{S}_x + \text{O}_2 \xrightarrow{t} \text{Э}_2\text{O}_y + x\text{SO}_2\uparrow \\ 6.0000 \end{array}}{2M(\text{Э}) + 32.06x} = \frac{5.5099}{2M(\text{Э}) + 16y}$$

$$M(\text{Э}) = 180.22x - 97.94y.$$

$$x = 3, y = 5.$$

$M(\text{Э}) = 50.98$  г/моль – это ванадий V.



Ответ:  $\text{V}_2\text{S}_3$ ,  $\text{V}_2\text{O}_5$ .

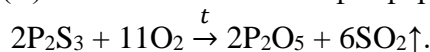
1.4. Будем решать задачу методом подбора.

$$\frac{\begin{array}{c} \text{Э}_2\text{S}_x + \text{O}_2 \xrightarrow{t} \text{Э}_2\text{O}_y + x\text{SO}_2\uparrow \\ 6.000 \end{array}}{2M(\text{Э}) + 32.06x} = \frac{5.386}{2M(\text{Э}) + 16y}$$

$$M(\text{Э}) = 140.615x - 78.176y.$$

$$x = 3, y = 5.$$

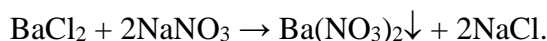
$M(\text{Э}) = 30.97$  г/моль – это фосфор P.



Ответ:  $\text{P}_2\text{S}_3$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ .

## Задача 2 (14 баллов)

2.1. В осадок выпадает соль с наименьшей растворимостью – нитрат бария. Для этого надо смешать насыщенные растворы  $\text{BaCl}_2$  и  $\text{NaNO}_3$ :



Найдем составы насыщенных растворов исходных солей:

а) Для приготовления 100 г насыщенного раствора  $\text{BaCl}_2$  надо взять

$$m(\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}) = 100 \cdot 35.7 / 135.7 = 26.3 \text{ г},$$



$$v(\text{BaCl}_2) = v(\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}) = 26.3 / 244 = 0.108 \text{ моль.}$$

б) Для приготовления 100 г насыщенного раствора  $\text{NaNO}_3$  надо взять

$$m(\text{NaNO}_3) = 100 \cdot 88.3 / 188.3 = 46.9 \text{ г,}$$

$$v(\text{NaNO}_3) = 46.9 / 85 = 0.552 \text{ моль – избыток.}$$

По реакции могло образоваться 0.108 моль  $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$  массой

$$m(\text{Ba}(\text{NO}_3)_2) = 0.108 \cdot 261 = 28.2 \text{ г.}$$

Пусть  $x$  г соли выпало в осадок, тогда:

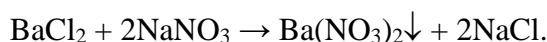
$$\frac{28.2 - x}{200 - x} = \frac{9.1}{109.1},$$

$$x = 12.6.$$

В этом решении мы пренебрегаем ион-ионными взаимодействиями в растворе и их влиянием на растворимость соединений.

*Ответ:* 12.6 г  $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$ .

**2.2.** В осадок выпадает соль с наименьшей растворимостью – нитрат бария. Для этого надо смешать насыщенные растворы  $\text{BaCl}_2$  и  $\text{NaNO}_3$ :



Найдем составы насыщенных растворов исходных солей:

а) Для приготовления 100 г насыщенного раствора  $\text{BaCl}_2$  надо взять

$$m(\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}) = 100 \cdot 40.8 / 140.8 = 29.0 \text{ г,}$$

$$v(\text{BaCl}_2) = v(\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}) = 29.0 / 244 = 0.119 \text{ моль.}$$

б) Для приготовления 100 г насыщенного раствора  $\text{NaNO}_3$  надо взять

$$m(\text{NaNO}_3) = 100 \cdot 105 / 205 = 51.2 \text{ г.}$$

$$v(\text{NaNO}_3) = 51.2 / 85 = 0.603 \text{ моль – избыток.}$$

По реакции могло образоваться 0.119 моль  $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$  массой

$$m(\text{Ba}(\text{NO}_3)_2) = 0.119 \cdot 261 = 31.1 \text{ г.}$$

Пусть  $x$  г соли выпало в осадок, тогда:

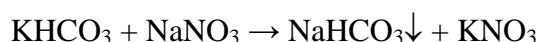
$$\frac{31.1 - x}{200 - x} = \frac{14.4}{114.4},$$

$$x = 6.8.$$

В этом решении мы пренебрегаем ион-ионными взаимодействиями в растворе и их влиянием на растворимость соединений.

*Ответ:* 6.8 г  $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$ .

**2.3.** В осадок выпадает соль с наименьшей растворимостью –  $\text{NaHCO}_3$ . Для этого надо смешать насыщенные растворы  $\text{KHCO}_3$  и  $\text{NaNO}_3$ :



Найдем составы насыщенных растворов исходных солей:

а) Для приготовления 100 г насыщенного раствора  $\text{KHCO}_3$  надо взять

$$m(\text{KHCO}_3) = 100 \cdot 33.3 / 133.3 = 25.0 \text{ г.}$$

$$v(\text{KHCO}_3) = 25.0 / 100 = 0.250 \text{ моль.}$$

б) Для приготовления 100 г насыщенного раствора  $\text{NaNO}_3$  надо взять

$$m(\text{NaNO}_3) = 100 \cdot 88.3 / 188.3 = 46.9 \text{ г.}$$

$$\nu(\text{NaNO}_3) = 46.9 / 85 = 0.552 \text{ моль – избыток.}$$

По реакции могло образоваться 0.250 моль  $\text{NaHCO}_3$  массой

$$m(\text{NaHCO}_3) = 0.250 \cdot 84 = 21.0 \text{ г.}$$

Пусть  $x$  г соли выпало в осадок, тогда:

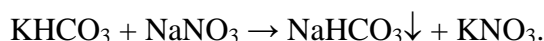
$$\frac{21.0 - x}{200 - x} = \frac{9.6}{109.6},$$

$$x = 3.8.$$

В этом решении мы пренебрегаем ион-ионными взаимодействиями в растворе и их влиянием на растворимость соединений.

*Ответ:* 3.8 г  $\text{NaHCO}_3$ .

**2.4.** В осадок выпадает соль с наименьшей растворимостью –  $\text{NaHCO}_3$ . Для этого надо смешать насыщенные растворы  $\text{KHCO}_3$  и  $\text{NaNO}_3$ :



Найдем составы насыщенных растворов исходных солей:

а) Для приготовления 100 г насыщенного раствора  $\text{KHCO}_3$  надо взять

$$m(\text{KHCO}_3) = 100 \cdot 45.3 / 145.3 = 31.2 \text{ г,}$$

$$\nu(\text{KHCO}_3) = 31.2 / 100 = 0.312 \text{ моль.}$$

б) Для приготовления 100 г насыщенного раствора  $\text{NaNO}_3$  надо взять

$$m(\text{NaNO}_3) = 100 \cdot 105 / 205 = 51.2 \text{ г NaNO}_3,$$

$$\nu(\text{NaNO}_3) = 51.2 / 85 = 0.603 \text{ моль – избыток.}$$

По реакции могло образоваться 0.312 моль  $\text{NaHCO}_3$  массой

$$m(\text{NaHCO}_3) = 0.312 \cdot 84 = 26.2 \text{ г.}$$

Пусть  $x$  г соли выпало в осадок, тогда:

$$\frac{26.2 - x}{200 - x} = \frac{12.7}{112.7},$$

$$x = 4.1.$$

В этом решении мы пренебрегаем ион-ионными взаимодействиями в растворе и их влиянием на растворимость соединений.

*Ответ:* 4.1 г  $\text{NaHCO}_3$ .

### Задача 3 (12 баллов)

**3.1.** Определим среднюю молярную массу смеси:

$$M(\text{смеси}) = 15 \cdot M(\text{H}_2) = 15 \cdot 2 = 30 \text{ г/моль.}$$

Молярная масса газа:

$$M(\text{газа}) = \frac{m(\text{газа})}{\nu(\text{газа})} = \frac{m(\text{смеси}) \cdot \omega(\text{газа})}{\nu(\text{смеси}) \cdot \chi(\text{газа})} = M(\text{смеси}) \frac{\omega(\text{газа})}{\chi(\text{газа})} = 30 \cdot \frac{0.39}{0.45} = 26 \text{ г/моль.}$$

Газ – это ацетилен  $\text{C}_2\text{H}_2$ . Если бы смесь состояла из 45%  $\text{C}_2\text{H}_2$  и 55% газа с молярной массой  $M_2$ , то

$$M(\text{смеси}) = 0.45 \cdot 26 + 0.55 \cdot M_2 = 30,$$

$$M_2 = 33.27 \text{ (г/моль)}.$$

Такого газа нет, следовательно, смесь состоит из трех или более газов.

*Ответ:* C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>; нет.

**3.2.** Определим среднюю молярную массу смеси:

$$M(\text{смеси}) = 16 \cdot M(\text{H}_2) = 16 \cdot 2 = 32 \text{ г/моль}.$$

Молярная масса газа:

$$M(\text{газа}) = \frac{m(\text{газа})}{\nu(\text{газа})} = \frac{m(\text{смеси}) \cdot \omega(\text{газа})}{\nu(\text{смеси}) \cdot \chi(\text{газа})} = M(\text{смеси}) \frac{\omega(\text{газа})}{\chi(\text{газа})} = 32 \cdot \frac{0.15}{0.1} = 48 \text{ г/моль}.$$

Газ – это озон O<sub>3</sub>. Если бы смесь состояла из 10% O<sub>3</sub> и 90% газа с молярной массой M<sub>2</sub>, то

$$M(\text{смеси}) = 0.1 \cdot 48 + 0.9M_2 = 32,$$

$$M_2 = 30.22 \text{ (г/моль)}.$$

Такого газа нет, следовательно, смесь состоит из трех или более газов.

*Ответ:* O<sub>3</sub>; нет.

**3.3.** Определим среднюю молярную массу смеси:

$$M(\text{смеси}) = 18 \cdot M(\text{H}_2) = 18 \cdot 2 = 36 \text{ г/моль}.$$

Молярная масса газа:

$$M(\text{газа}) = \frac{m(\text{газа})}{\nu(\text{газа})} = \frac{m(\text{смеси}) \cdot \omega(\text{газа})}{\nu(\text{смеси}) \cdot \chi(\text{газа})} = M(\text{смеси}) \frac{\omega(\text{газа})}{\chi(\text{газа})} = 36 \cdot \frac{0.6}{0.8} = 27 \text{ г/моль}.$$

Газ – это HCN. Если бы смесь состояла из 80% HCN и 20% газа с молярной массой M<sub>2</sub>, то

$$M(\text{смеси}) = 0.8 \cdot 27 + 0.2M_2 = 36,$$

$$M_2 = 72 \text{ г/моль}.$$

Это может быть пентан C<sub>5</sub>H<sub>12</sub>.

*Ответ:* HCN; да.

**3.4.** Определим среднюю молярную массу смеси:

$$M(\text{смеси}) = 1.5 \cdot M(\text{CO}_2) = 1.5 \cdot 44 = 66 \text{ г/моль}.$$

Молярная масса газа:

$$M(\text{газа}) = \frac{m(\text{газа})}{\nu(\text{газа})} = \frac{m(\text{смеси}) \cdot \omega(\text{газа})}{\nu(\text{смеси}) \cdot \chi(\text{газа})} = M(\text{смеси}) \frac{\omega(\text{газа})}{\chi(\text{газа})} = 66 \cdot \frac{0.4}{0.3} = 88 \text{ г/моль}.$$

Газ – это PF<sub>3</sub>. Если бы смесь состояла из 30% PF<sub>3</sub> и 70% газа с молярной массой M<sub>2</sub>, то

$$M(\text{смеси}) = 0.3 \cdot 88 + 0.7M_2 = 66,$$

$$M_2 = 56.57 \text{ г/моль}.$$

Такого газа нет, следовательно, смесь состоит из трех или более газов.

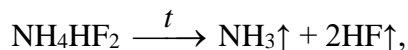
*Ответ:* PF<sub>3</sub>; нет.

## Задача 4 (16 баллов)

**4.1.** Молярная масса полученного газа составляет

$$M(\text{газа}) = 9.5 \cdot 2 = 19 \text{ г/моль}.$$

Отсутствие твердого остатка наводит на мысль о катионе аммония  $\text{NH}_4^+$ , в составе которого 10 электронов. Тогда в однозарядном анионе – 20 электронов, это может быть  $\text{HF}_2^-$ . Проверим предположение расчетом молярной массы газовой смеси продуктов разложения:

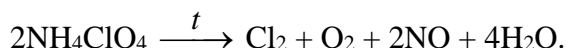


$$M(\text{смеси}) = (17 + 2 \cdot 20) / 3 = 19 \text{ г/моль} - \text{соответствует условию.}$$

Ион  $\text{NH}_4^+$  имеет форму правильного тетраэдра, а  $\text{HF}_2^-$  – линейная частица.

*Ответ:* гидрофторид аммония  $\text{NH}_4\text{HF}_2$ .

**4.2.** Отсутствие твердого остатка наводит на мысль о катионе аммония  $\text{NH}_4^+$ , в составе которого 10 электронов. Тогда в однозарядном анионе – 50 электронов, это может быть  $\text{ClO}_4^-$ . Возможное уравнение разложения:



Ионы  $\text{NH}_4^+$  и  $\text{ClO}_4^-$  имеют форму правильного тетраэдра.

*Ответ:* перхлорат аммония  $\text{NH}_4\text{ClO}_4$ .

**4.3.** Сильнокислая среда и отсутствие твердого остатка наводят на мысль о катионе гидроксония  $\text{H}_3\text{O}^+$ , в составе которого 10 электронов. Тогда в однозарядном анионе – 50 электронов, это может быть  $\text{ClO}_4^-$ . Действительно, моногидрат хлорной кислоты – твердое вещество, которое при нагревании плавится, а затем разлагается:



Ион  $\text{H}_3\text{O}^+$  имеет форму неправильного тетраэдра, а  $\text{ClO}_4^-$  – правильного тетраэдра.

*Ответ:* моногидрат хлорной кислоты  $\text{H}_3\text{OClO}_4$ .

**4.4.** Отсутствие твердого остатка наводит на мысль о катионе аммония  $\text{NH}_4^+$ , в составе которого 10 электронов. Тогда в однозарядном анионе – 50 электронов. С учетом информации о пищевой добавке это может быть  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ . Уравнение разложения:



Общий элемент в составе катиона и аниона – водород. Стекловидный остаток после нагревания – метафосфорная кислота  $\text{HPO}_3$ .

Ион  $\text{NH}_4^+$  имеет форму правильного тетраэдра, а  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  – неправильного тетраэдра.

*Ответ:* дигидрофосфат аммония  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ .

## Задача 5 (12 баллов)

**5.1.** Воспользуемся формулой для активности – числа распадов в единицу времени ( $A$  – активность,  $T_{1/2}$  – период полураспада,  $N$  – число атомов радиоактивного изотопа):

$$A = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} \cdot N,$$

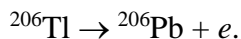
откуда

$$N = \frac{A \cdot T_{1/2}}{\ln 2} = \frac{8.04 \cdot 10^{18} \cdot 4.20 \cdot 60}{\ln 2} = 2.92 \cdot 10^{21}.$$

Молярная масса изотопа:

$$M = \frac{m \cdot N_A}{N} = \frac{1.00 \cdot 6.02 \cdot 10^{23}}{2.92 \cdot 10^{21}} = 206 \text{ г/моль.}$$

Массовое число изотопа – 206. При  $\beta^-$ -распаде образуется изотоп элемента 14 группы, следовательно, исходный элемент принадлежал 13 группе, это – таллий. Уравнение распада:



Ответ:  $^{206}\text{Tl}$ .

**5.2.** Воспользуемся формулой для активности – числа распадов в единицу времени ( $A$  – активность,  $T_{1/2}$  – период полураспада,  $N$  – число атомов радиоактивного изотопа):

$$A = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} \cdot N,$$

откуда

$$N = \frac{A \cdot T_{1/2}}{\ln 2} = \frac{7.04 \cdot 10^{15} \cdot 4.77 \cdot 60}{\ln 2} = 2.91 \cdot 10^{18}.$$

Молярная масса изотопа:

$$M = \frac{m \cdot N_A}{N} = \frac{1.00 \cdot 10^{-3} \cdot 6.02 \cdot 10^{23}}{2.91 \cdot 10^{18}} = 207 \text{ г/моль.}$$

Массовое число изотопа – 207. При  $\beta^-$ -распаде образуется изотоп элемента 14 группы, следовательно, исходный элемент принадлежал 13 группе, это – таллий. Уравнение распада:



Ответ:  $^{207}\text{Tl}$ .

**5.3.** Воспользуемся формулой для активности – числа распадов в единицу времени ( $A$  – активность,  $T_{1/2}$  – период полураспада,  $N$  – число атомов радиоактивного изотопа):

$$A = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} \cdot N,$$

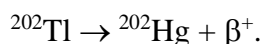
откуда

$$N = \frac{A \cdot T_{1/2}}{\ln 2} = \frac{1.96 \cdot 10^{15} \cdot 12.2 \cdot 24 \cdot 3600}{\ln 2} = 2.98 \cdot 10^{21}.$$

Молярная масса изотопа:

$$M = \frac{m \cdot N_A}{N} = \frac{1.00 \cdot 6.02 \cdot 10^{23}}{2.98 \cdot 10^{21}} = 202 \text{ г/моль.}$$

Массовое число изотопа – 202. При  $\beta^+$ -распаде образуется изотоп элемента 12 группы, следовательно, исходный элемент принадлежал 13 группе, это – таллий. Уравнение распада:



Ответ:  $^{202}\text{Tl}$ .

**5.4.** Воспользуемся формулой для активности – числа распадов в единицу времени ( $A$  – активность,  $T_{1/2}$  – период полураспада,  $N$  – число атомов радиоактивного изотопа):

$$A = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} \cdot N,$$

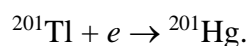
откуда

$$N = \frac{A \cdot T_{1/2}}{\ln 2} = \frac{7.91 \cdot 10^{12} \cdot 72.9 \cdot 3600}{\ln 2} = 2.995 \cdot 10^{18}.$$

Молярная масса изотопа:

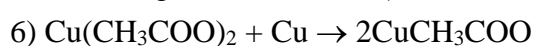
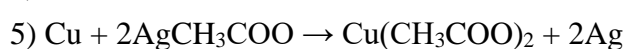
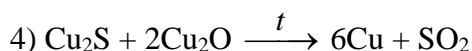
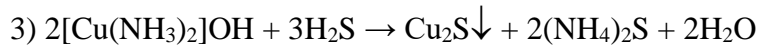
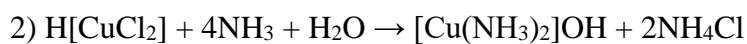
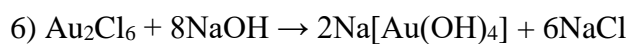
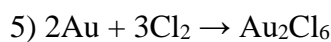
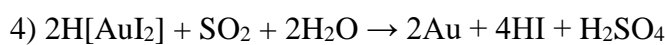
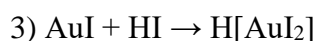
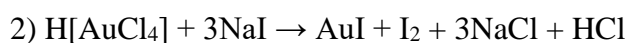
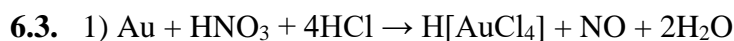
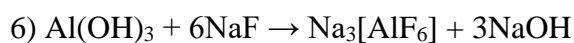
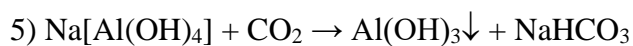
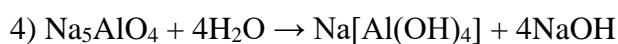
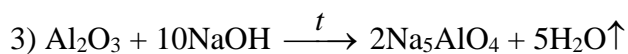
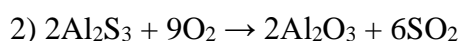
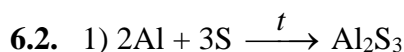
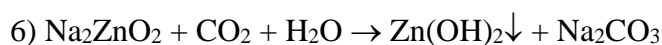
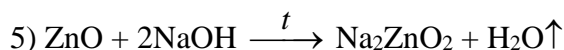
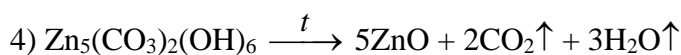
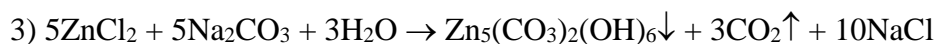
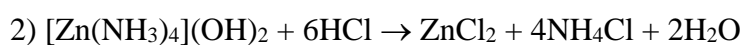
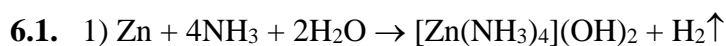
$$M = \frac{m \cdot N_A}{N} = \frac{1.00 \cdot 10^{-3} \cdot 6.02 \cdot 10^{23}}{2.995 \cdot 10^{18}} = 201 \text{ г/моль}.$$

Массовое число изотопа – 201. При электронном захвате образуется изотоп элемента 12 группы, следовательно, исходный элемент принадлежал 13 группе, это – таллий. Уравнение распада:



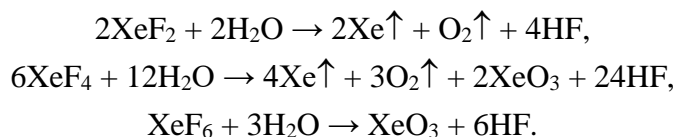
Ответ:  $^{201}\text{Tl}$ .

### Задача 6 (18 баллов)



## Задача 7 (20 баллов)

7.1. Уравнения реакций гидролиза:



При титровании протекает следующий процесс:



Рассчитаем количества веществ. Количество газовой смеси после гидролиза:

$$v(\text{Xe}) + v(\text{O}_2) = 100 \cdot 0.0602 / (8.314 \cdot 290) = 0.0025 \text{ моль} = 2.5 \text{ ммоль}.$$

$$v(\text{O}_2) = 0.4 \cdot 2.5 = 1.0 \text{ ммоль}.$$

$$v(\text{Fe}^{2+}) = 0.1 \cdot 36 = 3.6 \text{ ммоль},$$

$$v(\text{XeO}_3) = 3.6 / 6 = 0.6 \text{ ммоль}.$$

Пусть  $v(\text{XeF}_2) = x$ ,  $v(\text{XeF}_4) = y$ ,  $v(\text{XeF}_6) = z$  ммоль. Тогда

$$v(\text{Xe}) + v(\text{O}_2) = 2.5 = 1.5x + 7/6 \cdot y$$

$$v(\text{O}_2) = 1.0 = 0.5x + 0.5y$$

$$v(\text{XeO}_3) = 0.6 = 1/3 \cdot y + z$$

Решение системы:  $x = 0.5$ ,  $y = 1.5$ ,  $z = 0.1$ . Суммарное количество фторидов 2.1 моль.

Мольные доли фторидов ксенона в смеси:

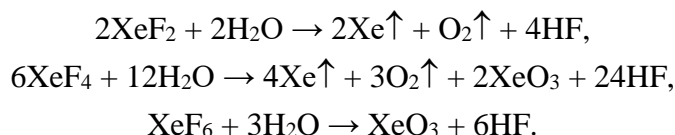
$$\chi(\text{XeF}_2) = 0.5 / 2.1 = 0.238,$$

$$\chi(\text{XeF}_4) = 1.5 / 2.1 = 0.714,$$

$$\chi(\text{XeF}_6) = 0.1 / 2.1 = 0.048.$$

Ответ: 23.8%  $\text{XeF}_2$ , 71.4%  $\text{XeF}_4$ , 4.8%  $\text{XeF}_6$ .

7.2. Уравнения реакций гидролиза:



При титровании протекает следующий процесс:



Рассчитаем количества веществ. Количество газовой смеси после гидролиза:

$$v(\text{Xe}) + v(\text{O}_2) = 100 \cdot 0.0602 / (8.314 \cdot 290) = 0.0025 \text{ моль} = 2.5 \text{ ммоль}.$$

$$v(\text{O}_2) = 0.4 \cdot 2.5 = 1.0 \text{ ммоль}.$$

$$v(\text{Fe}^{2+}) = 0.1 \cdot 60 = 6.0 \text{ ммоль},$$

$$v(\text{XeO}_3) = 6.0 / 6 = 1.0 \text{ ммоль}.$$

Пусть  $v(\text{XeF}_2) = x$ ,  $v(\text{XeF}_4) = y$ ,  $v(\text{XeF}_6) = z$  ммоль. Тогда

$$v(\text{Xe}) + v(\text{O}_2) = 2.5 = 1.5x + 7/6y$$

$$v(\text{O}_2) = 1.0 = 0.5x + 0.5y$$

$$v(\text{XeO}_3) = 1.0 = 1/3y + z$$

Решение системы:  $x = 0.5$ ,  $y = 1.5$ ,  $z = 0.5$ . Суммарное количество фторидов 2.5 моль.

Мольные доли фторидов ксенона в смеси:

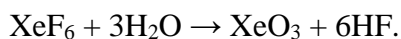
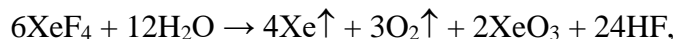
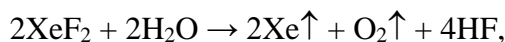
$$\chi(\text{XeF}_2) = 0.5 / 2.5 = 0.2,$$

$$\chi(\text{XeF}_4) = 1.5 / 2.5 = 0.6,$$

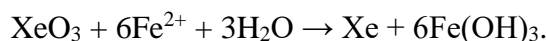
$$\chi(\text{XeF}_6) = 0.5 / 2.5 = 0.2.$$

Ответ: 20% XeF<sub>2</sub>, 60% XeF<sub>4</sub>, 20% XeF<sub>6</sub>.

**7.3.** Уравнения реакций гидролиза:



При титровании протекает следующий процесс:



Рассчитаем количества веществ. Количество газовой смеси после гидролиза:

$$v(\text{Xe}) + v(\text{O}_2) = 102 \cdot 0.0591 / (8.314 \cdot 290) = 0.0025 \text{ моль} = 2.5 \text{ ммоль}.$$

$$v(\text{O}_2) = 0.36 \cdot 2.5 = 0.9 \text{ ммоль}.$$

$$v(\text{Fe}^{2+}) = 0.1 \cdot 48 = 4.8 \text{ ммоль},$$

$$v(\text{XeO}_3) = 4.8 / 6 = 0.8 \text{ ммоль}.$$

Пусть  $v(\text{XeF}_2) = x$ ,  $v(\text{XeF}_4) = y$ ,  $v(\text{XeF}_6) = z$  ммоль. Тогда

$$v(\text{Xe}) + v(\text{O}_2) = 2.5 = 1.5x + 7/6 \cdot y$$

$$v(\text{O}_2) = 0.9 = 0.5x + 0.5y$$

$$v(\text{XeO}_3) = 0.8 = 1/3 \cdot y + z$$

Решение системы:  $x = 1.2$ ,  $y = 0.6$ ,  $z = 0.6$ . Суммарное количество фторидов 2.4 моль.

Мольные доли:

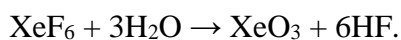
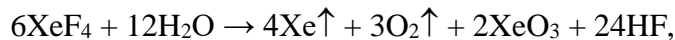
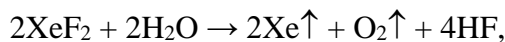
$$\chi(\text{XeF}_2) = 1.2 / 2.4 = 0.5,$$

$$\chi(\text{XeF}_4) = 0.6 / 2.4 = 0.25,$$

$$\chi(\text{XeF}_6) = 0.6 / 2.4 = 0.25.$$

Ответ: 50% XeF<sub>2</sub>, 25% XeF<sub>4</sub>, 25% XeF<sub>6</sub>.

**7.4.** Уравнения реакций гидролиза:



При титровании протекает следующий процесс:



Рассчитаем количества веществ. Количество газовой смеси после гидролиза:

$$v(\text{Xe}) + v(\text{O}_2) = 102 \cdot 0.0591 / (8.314 \cdot 290) = 0.0025 \text{ моль} = 2.5 \text{ ммоль}.$$

$$v(\text{O}_2) = 0.36 \cdot 2.5 = 0.9 \text{ ммоль}.$$

$$v(\text{Fe}^{2+}) = 0.1 \cdot 84 = 8.4 \text{ ммоль},$$

$$v(\text{XeO}_3) = 8.4 / 6 = 1.4 \text{ ммоль}.$$

Пусть  $v(\text{XeF}_2) = x$ ,  $v(\text{XeF}_4) = y$ ,  $v(\text{XeF}_6) = z$  ммоль. Тогда

$$v(\text{Xe}) + v(\text{O}_2) = 2.5 = 1.5x + 7/6 \cdot y$$



$$v(\text{O}_2) = 0.9 = 0.5x + 0.5y$$

$$v(\text{XeO}_3) = 1.4 = 1/3 \cdot y + z$$

Решение системы:  $x = 1.2$ ,  $y = 0.6$ ,  $z = 1.2$ . Суммарное количество фторидов 3.0 моль.

Мольные доли:

$$\chi(\text{XeF}_2) = 1.2 / 3.0 = 0.4,$$

$$\chi(\text{XeF}_4) = 0.6 / 3.0 = 0.2,$$

$$\chi(\text{XeF}_6) = 1.2 / 3.0 = 0.4.$$

*Ответ:* 40%  $\text{XeF}_2$ , 20%  $\text{XeF}_4$ , 40%  $\text{XeF}_6$ .