

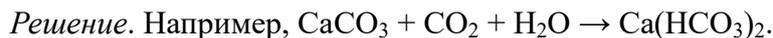
Олимпиада «Ломоносов», 10 класс, отборочный тур

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.



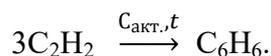
1.3. Запишите уравнение реакции разложения, продуктами которой являются три сложных вещества.



1.4. Запишите уравнение реакции соединения, в которой единственным реагентом является сложное вещество.

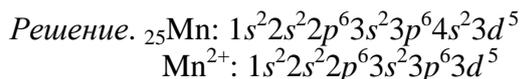


Также подходят реакции димеризации и тримеризации ацетилена:



Задача 2 (10 баллов)

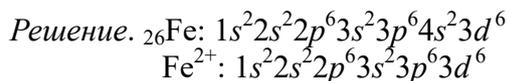
2.1. Элемент X имеет нечетный номер в таблице Менделеева. В основном состоянии нейтральный атом X и ион X^{2+} содержат равное число неспаренных электронов. Приведите пример X, запишите электронную конфигурацию атома X и иона X^{2+} .



И атом, и ион имеют по пять неспаренных электронов.

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

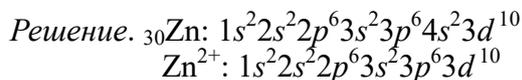
2.2. Элемент X имеет четный номер в таблице Менделеева. В основном состоянии нейтральный атом X и ион X^{2+} содержат равное ненулевое число неспаренных электронов. Приведите пример X, запишите электронную конфигурацию атома X и иона X^{2+} .



И атом, и ион имеют по четыре неспаренных электрона.

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

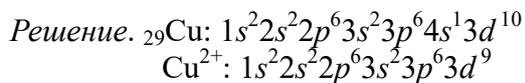
2.3. Элемент X является переходным металлом и имеет четный номер в таблице Менделеева. В основном состоянии нейтральный атом X и ион X^{2+} не содержат неспаренных электронов. Приведите пример X, запишите электронную конфигурацию X и X^{2+} .



И атом, и ион не имеют неспаренных электронов.

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

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+} .



И атом, и ион имеют по одному неспаренному электрону.

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.

Решение. Выражение для скорости этой простой реакции:

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

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

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

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

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

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

Скорость реакции в этот момент времени составила

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

Ответ: 0.45 л²/(моль²·мин); 0.018 моль/(л·мин).

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.

Решение. 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 B уменьшится на 0.15 моль/л, концентрация A 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 л²/((моль²·мин); 0.0028 моль/(л·мин).

3.3. Вещества А и В вступают в простую реакцию в соответствии с уравнением $2A + B \rightarrow 2C$. Начальные концентрации А и В составляли 0.4 и 0.3 моль/л соответственно. Константа скорости этой реакции при 20°C равна 0.9 л²/((моль²·мин). Определите начальную скорость этой реакции и скорость в момент времени, когда концентрация вещества В уменьшится на 0.1 моль/л.

Решение. 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:

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

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

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/(л·мин); 0.0072 моль/(л·мин).

3.4. Вещества А и В вступают в простую реакцию в соответствии с уравнением $A + 2B \rightarrow C$. Начальные концентрации А и В составляли 0.2 и 0.6 моль/л соответственно. Константа скорости этой реакции при 25°C равна 0.85 л²/((моль²·мин). Определите начальную скорость этой реакции и скорость в момент времени, когда концентрация вещества А уменьшится на 0.1 моль/л.

Решение. 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:

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

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

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/(л·мин); 0.0136 моль/(л·мин).

В задаче 3.4, предложенной участникам олимпиады, содержалась опечатка: в условии было приведено значение начальной скорости реакции, не нужное для решения и не соответствующее другим условиям задачи. Жюри известно об этой ситуации. Все работы участников олимпиады, получивших задачу 3.4, были проверены особенно тщательно и доброжелательно.

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.

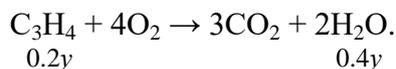
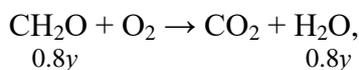
Решение. Плотность газовой смеси не изменилась при добавлении кислорода, что означает, что средняя молярная масса смеси была равна молярной массе кислорода. Определим состав смеси. Для 1 моль:

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

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

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

Горение y моль смеси:

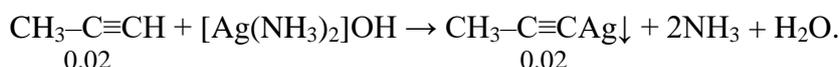
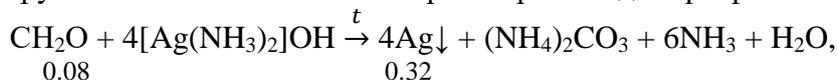


$$\nu(\text{H}_2\text{O}) = 2.16 / 18 = 0.12 \text{ моль},$$

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

$$y = 0.1 \text{ моль}.$$

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 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.

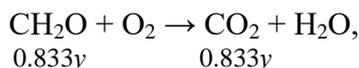
Решение. Плотность газовой смеси не изменилась при добавлении кислорода, что означает, что средняя молярная масса смеси была равна молярной массе кислорода. Определим состав смеси. Для 1 моль:

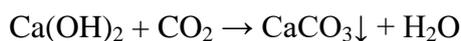
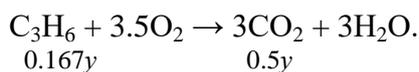
$$M_{\text{ср}} = 30x + 42(1 - x) = 42 - 12x = 32,$$

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

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

Горение y моль смеси:



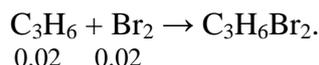
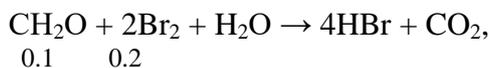


$$\nu(\text{CaCO}_3) = \nu(\text{CO}_2) = 16.0 / 100 = 0.16 \text{ моль,}$$

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

$$y = 0.12 \text{ моль.}$$

Смесь реагирует с бромной водой:



Масса брома и бромной воды равны

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

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

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

Ответ: 1.76 л.

4.3. Плотность газовой смеси ацетилен 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.

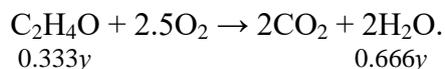
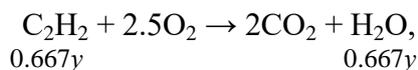
Решение. Плотность газовой смеси не изменилась при добавлении кислорода, что означает, что средняя молярная масса смеси была равна молярной массе кислорода. Определим состав смеси. Для 1 моль:

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

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

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

Горение y моль смеси:

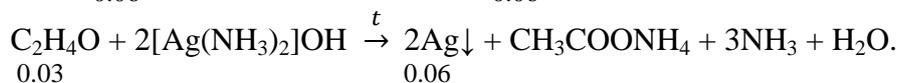
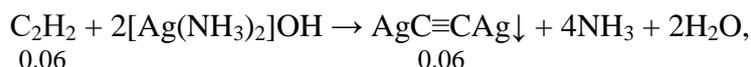


$$\nu(\text{H}_2\text{O}) = 2.16 / 18 = 0.12 \text{ моль,}$$

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

$$y = 0.09 \text{ моль.}$$

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 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.

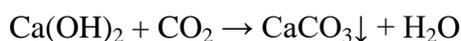
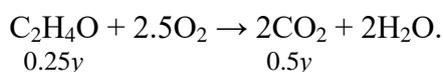
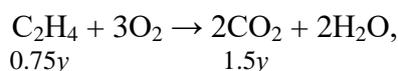
Решение. Плотность газовой смеси не изменилась при добавлении кислорода, что означает, что средняя молярная масса смеси была равна молярной массе кислорода. Определим состав смеси. Для 1 моль:

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

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

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

Горение y моль смеси:



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

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

$$y = 0.08 \text{ моль}.$$

Смесь реагирует с подкисленным раствором перманганата:



Объем раствора перманганата равен

$$V = 0.152 / 0.02 = 7.6 \text{ л}.$$

Ответ: 7.6 л.

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**?

Решение. 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) InF_3 и SbF_5 для олова и 2) SnF_4 и TeF_6 для сурьмы:

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

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 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. 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.

Решение. 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 SeO_3 .

Ответ: селен Se; SeO_3 .

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 образующие 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.

Решение. Рассмотрим сульфид с массовой долей элемента **X** 70% (массовая доля серы 30%). Он будет иметь формулу X_2S_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: $As^{3-} 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2 4p^6$.

Ответ: мышьяк As.

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.

Решение. 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 – SnF_4 и TeF_4 или соседями иода – TeF_4 и XeF_4 .

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

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

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

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

Тогда проверим

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

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

$$\omega(Xe) / \omega(Te) = 1.0086.$$

Итак, искомым элементом **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. 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.

Решение. Пусть в смеси содержатся $3x$ моль KMnO_4 , x моль MnO_2 и $2x$ моль **A**. Введем следующие обозначения: M – молярная масса **A**, в молекуле которого содержится a моль атомов марганца. Тогда масса смеси составляет

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

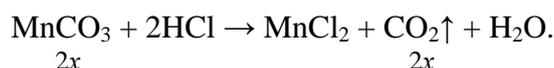
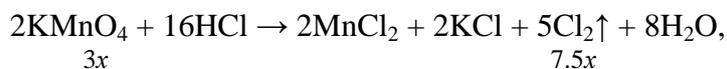
а масса марганца в смеси равна

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

По условию, массовая доля марганца равна

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

При $a = 1$, $M = 115$ г/моль, **A** – карбонат марганца(II) 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: MnCO_3 ; 2.27.

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.

Решение. Пусть в смеси содержатся $2x$ моль $(\text{CuOH})_2\text{CO}_3$, x моль 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

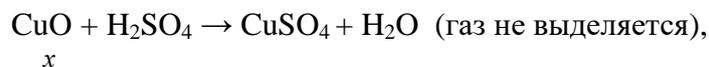
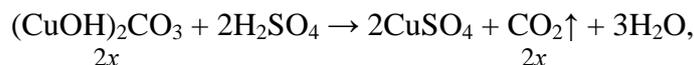
$$m(\text{Cu}) = 64 \cdot (4x + x + 2ax) = (320 + 128a) \cdot x.$$

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) Cu_2S .



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

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

Ответ: Cu_2S ; 2.17.

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.

*В условии задачи 6.3, предложенной участникам олимпиады, содержалась опечатка: вместо массовой доли цинка 34.21% было приведено значение 34.52%. Жюри известно об этой ситуации. Работы участников, получивших этот вариант задачи, проверялись особо тщательно и очень доброжелательно. Ниже мы приводим решение этой задачи с правильным значением массовой доли, приводящим к получению ZnS в качестве вещества **A**.*

Решение. 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

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

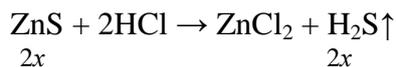
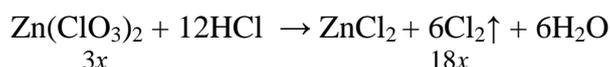
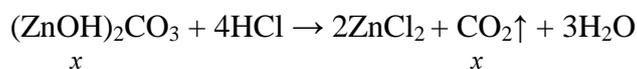
а масса цинка в смеси равна

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

По условию, массовая доля меди равна

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

При $a = 1$, $M = 97$, **A** – сульфид цинка 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: ZnS ; 2.28.

*Некоторые участники олимпиады предложили для вещества **A** вариант ZnC_2 (молярная масса 89). Несмотря на то, что это вещество разлагается водой, данный ответ принимался, как правильный.*

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.

Решение. Пусть в смеси содержатся x моль Fe_2S_3 , x моль FeO и $3x$ моль **A**. Введем следующие обозначения: M – молярная масса **A**, в молекуле которого содержатся a моль атомов железа. Тогда масса смеси составляет

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

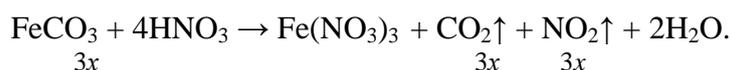
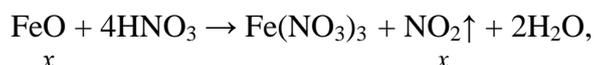
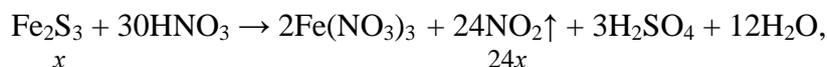
а масса железа в смеси равна

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

По условию, массовая доля железа равна

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

При $a = 1$, $M = 116$, **A** – карбонат железа 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: FeCO_3 ; 1.58.

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**.

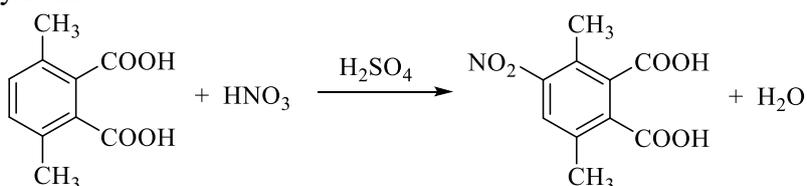
Установите строение кислоты **A** и продуктов ее превращений **B** – **E**. Напишите уравнения протекающих реакций. Укажите область применения соединения **E**.

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

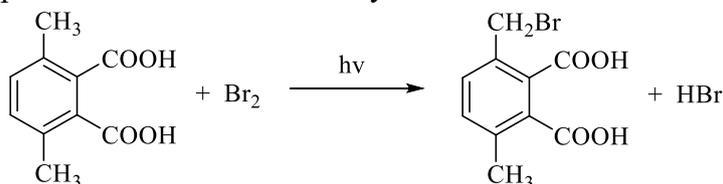
$$v(\text{C}) : v(\text{H}) : v(\text{O}) = \frac{61.855}{12} : \frac{5.155}{1} : \frac{32.99}{16} = 1 : 1 : 0.4.$$

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

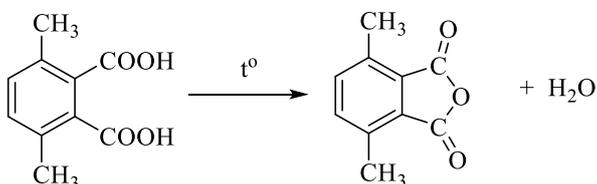
воды. Реакция нитрования, приводящая только к одному нитропроизводному, соответствует следующей формуле **A**:



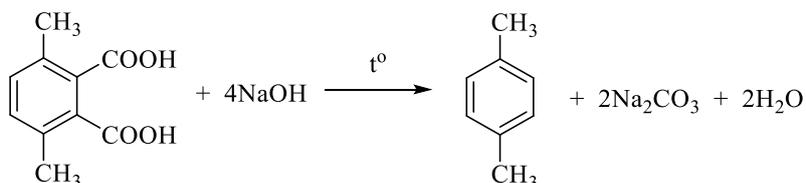
Реакция бромирования кислоты **A** на свету:



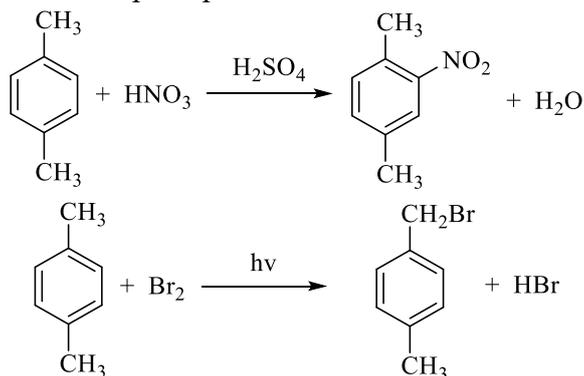
При нагревании происходит дегидратация **A** с образованием производного фталевого ангидрида:



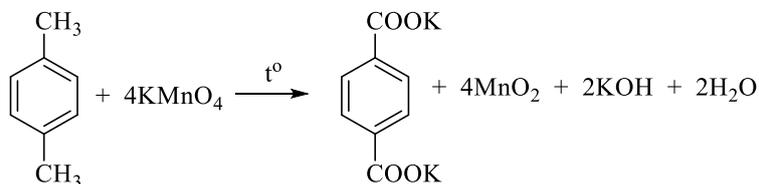
После сплавления кислоты **A** с твердой щелочью образуется 1,4-диметилбензол (соединение **B**):

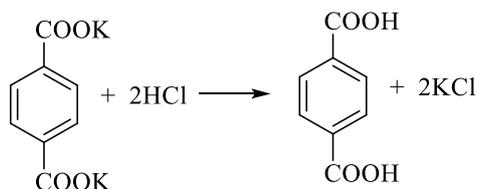


При нитровании и бромировании на свету 1,4-диметилбензола образуются единственные моонитро- и монобромпроизводные:

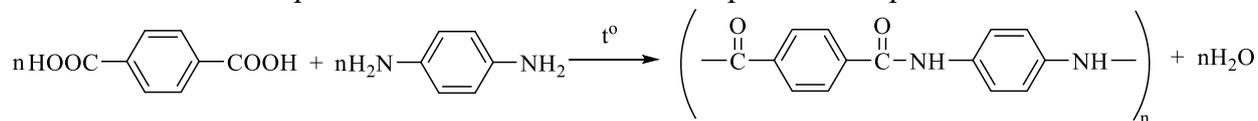


При окислении 1,4-диметилбензола водным раствором перманганата калия при нагревании образуется калиевая соль терефталевой кислоты **C**, которая затем превращается в кислоту **D**:





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. 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 монохлорпроизводное. Хлорирование кислоты на свету приводит к двум монохлорпроизводным. При сплавлении кислоты **A** с твердой щелочью получено соединение **B**, которое при хлорировании на свету дает два монохлорпроизводных, а при бромировании в присутствии хлорида алюминия – одно монобромпроизводное.

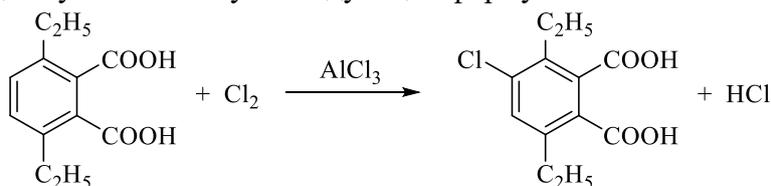
Соединение **B** обработали избытком водного раствора перманганата калия при нагревании, полученное соединение **C** подкислили соляной кислотой с получением вещества **D**, которое, в свою очередь, ввели в реакцию с 1,4-диаминобензолом при нагревании с образованием полимера **E**.

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

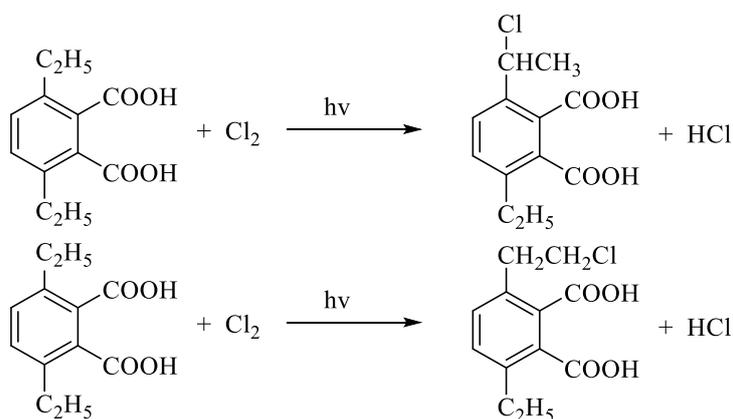
Решение. Поскольку неизвестная карбоновая кислота состоит из атомов углерода, водорода и кислорода, то переводя массовые доли в мольные, получаем простейшее соотношение:

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

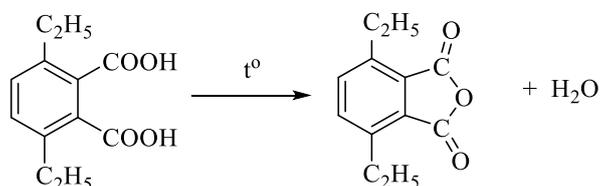
Поскольку карбоновая кислота не может содержать нечётное количество атомов водорода, простейшая формула кислоты – C₁₂H₁₄O₄. Уменьшение на 8.108% соответствует потере массы 18 г/моль, следовательно, при нагревании **A** произошло отщепление молекулы воды. Реакция хлорирования в присутствии хлорида алюминия, приводящая только к одному монохлорпроизводному соответствует следующей формуле **A**:



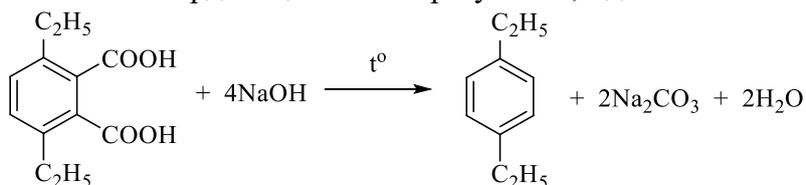
Реакции хлорирования кислоты **A** на свету с образованием двух производных:



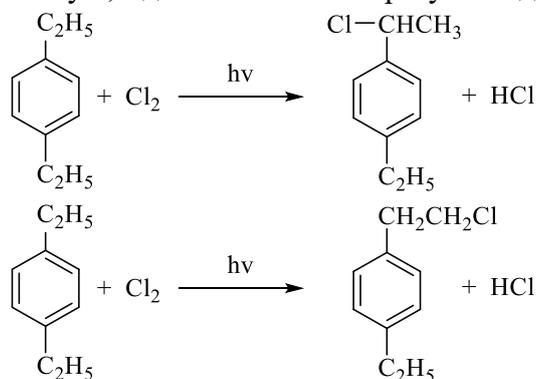
При нагревании происходит дегидратация кислоты с образованием производного фталевого ангидрида:



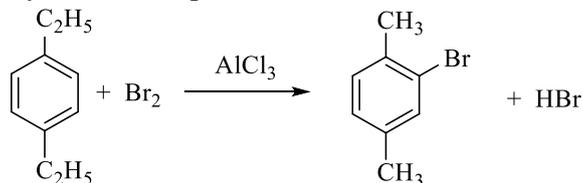
После сплавления **A** с твердой щелочью образуется 1,4-диэтилбензол (соединение **B**):



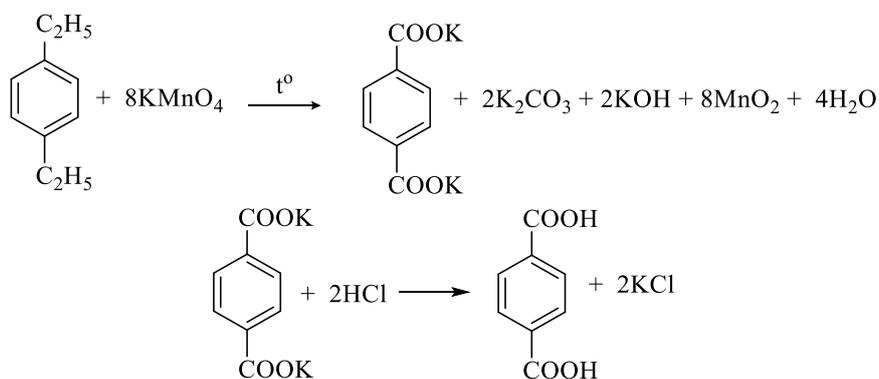
При хлорировании на свету 1,4-диэтилбензола образуются два монохлорпроизводных:



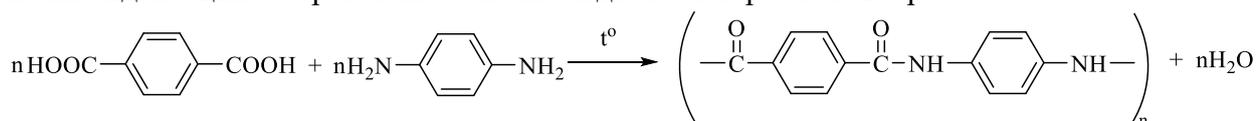
а при бромировании в присутствии хлорида алюминия – одно монобромпроизводное:



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. 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.

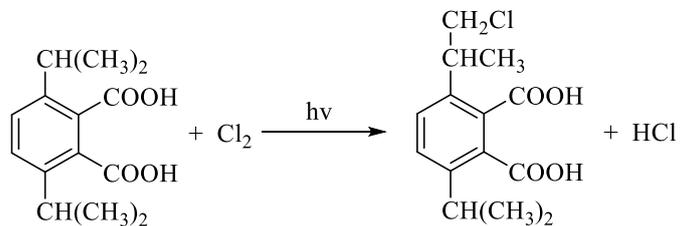
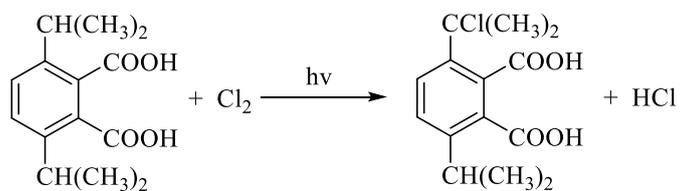
Соединение **B** обработали избытком водного раствора перманганата калия при нагревании, полученное соединение **C** подкислили соляной кислотой с получением вещества **D**, которое, в свою очередь, ввели в реакцию с этиленгликолем при нагревании с образованием полимера **E**.

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

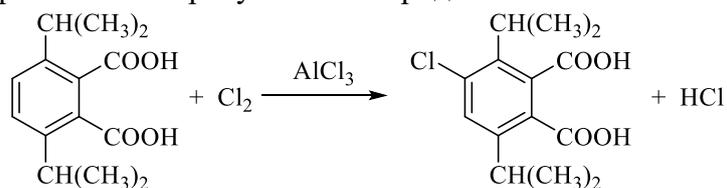
Решение. Поскольку неизвестная карбоновая кислота состоит из атомов углерода, водорода и кислорода, то переводя массовые доли в мольные, получаем простейшее соотношение:

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

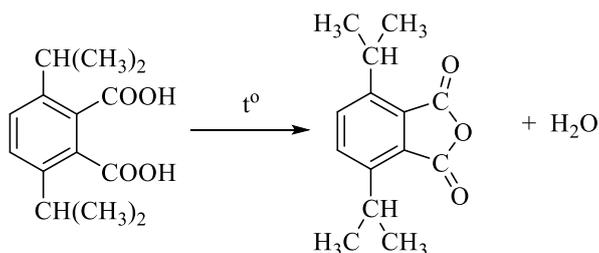
Поскольку карбоновая кислота не может содержать нечётное количество атомов водорода, то простейшая формула кислоты $\text{C}_{14}\text{H}_{18}\text{O}_4$. Уменьшение на 7.2% соответствует потере массы 18 г/моль, следовательно, при нагревании **A** произошло отщепление молекулы воды. Реакция хлорирования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



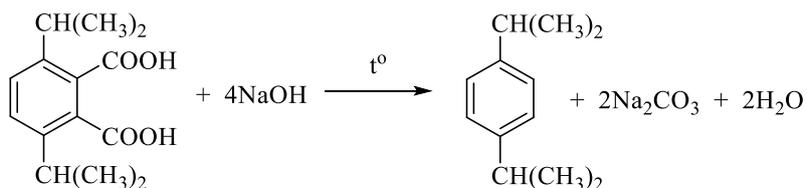
Реакция хлорирования **A** в присутствии хлорида алюминия:



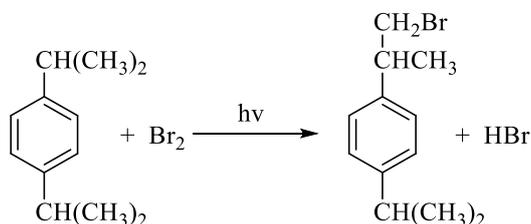
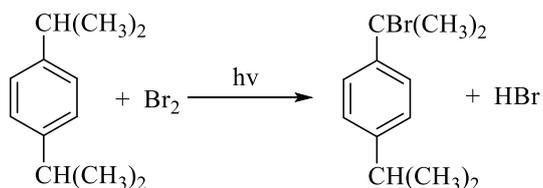
При нагревании происходит дегидратация кислоты с образованием производного фталевого ангидрида:



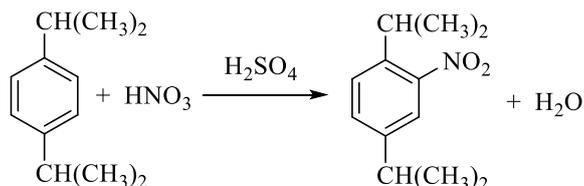
После сплавления кислоты **A** с твердой щелочью образуется 1,4-диизопропилбензол (соединение **B**):



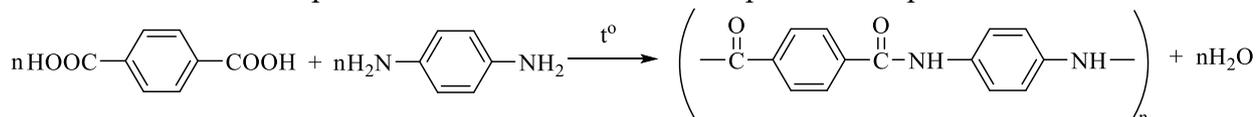
При бромировании на свету 1,4-диизопропилбензола образуются два монобромпроизводных:



а при нитровании – одно моонитропроизводное:



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. 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 моонитропроизводных. 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 монохлорпроизводных, а при бромировании на свету – одно монобромпроизводное.

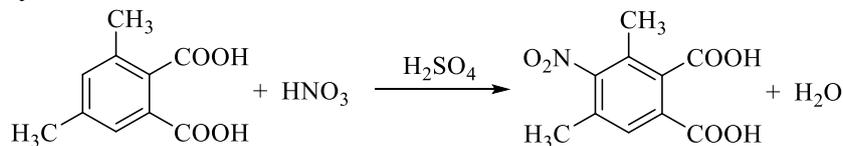
Соединение **B** обработали избытком водного раствора перманганата калия при нагревании, полученное соединение **C** подкислили соляной кислотой с получением вещества **D**, которое, в свою очередь, ввели в реакцию с 1,4-диаминобензолом при нагревании с образованием полимера **E**.

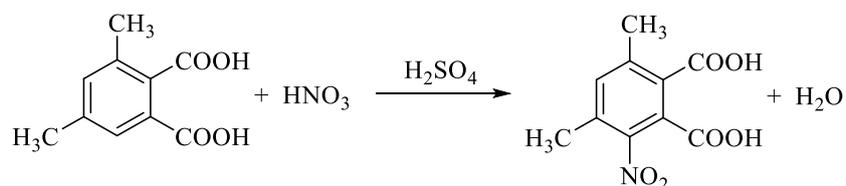
Установите строение кислоты **A** и продуктов ее превращений **B** – **E**. Напишите уравнения протекающих реакций. Укажите область применения соединения **E**.

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

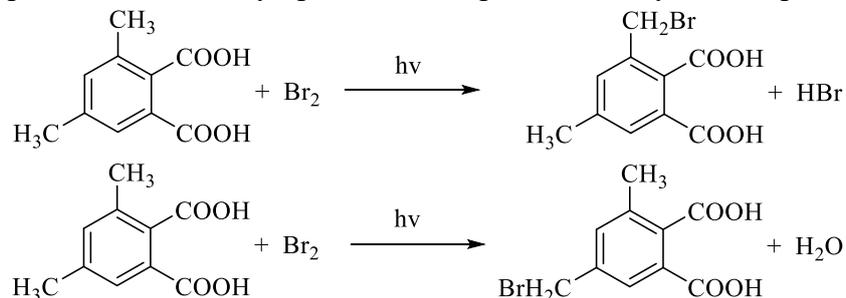
$$\nu(\text{C}) : \nu(\text{H}) : \nu(\text{O}) = \frac{61.855}{12} : \frac{5.155}{1} : \frac{32.99}{16} = 1 : 1 : 0.4.$$

Поскольку карбоновая кислота не может содержать нечётное количество атомов водорода, простейшая формула кислоты – C₁₀H₁₀O₄. 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**:

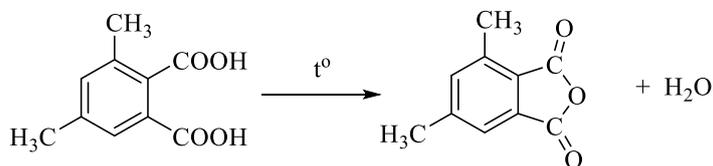




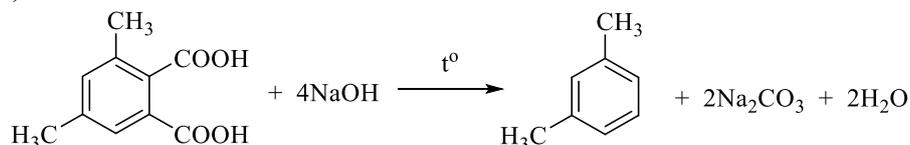
При бромировании **A** на свету происходит образование двух монобромпроизводных:



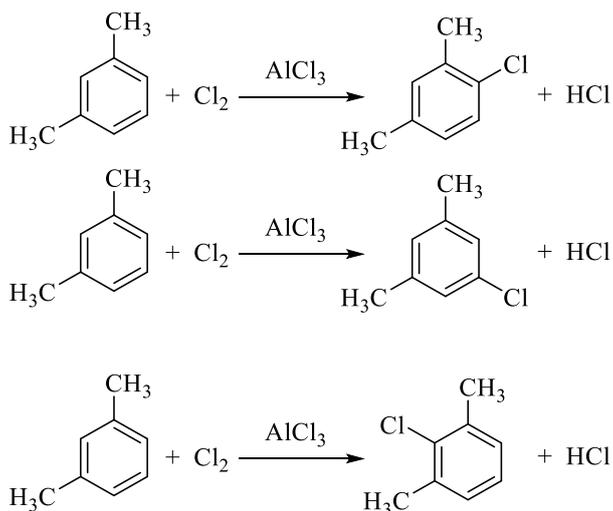
а при нагревании происходит дегидратация кислоты с образованием производного фталевого ангидрида:



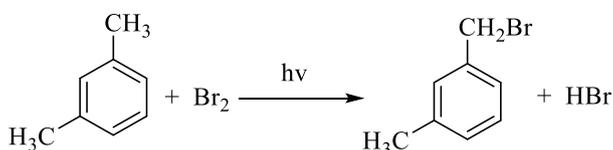
После сплавления кислоты **A** с твердой щелочью образуется 1,3-диметилбензол (соединение **B**):



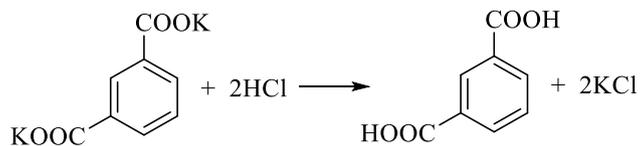
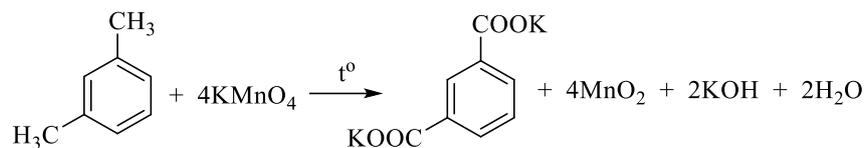
При хлорировании 1,3-диметилбензола в присутствии хлорида алюминия образуются три монохлорпроизводных:



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.

