

**LXXX Московская олимпиада школьников по химии****Заключительный этап****Теоретический тур****18.02.2024 г.****10 класс*****Из предложенных шести задач, нужно выбрать пять!***

**Указание:** - при расчетах значения атомных масс следует округлять до целых, кроме хлора ( $A_r(\text{Cl}) = 35,5$ )  
- в решении задачи обязательно нужно привести необходимые расчеты и рассуждения, ответ без доказательств может быть оценен в 0 баллов

**Задача 1. Ядерная физика для химиков****Условие**

Альфа-распад является одним из наиболее распространённых вариантов радиоактивных превращений. Именно с его помощью из ядра **X** можно получить другое – **Y**. Известно, что водородное соединение, образованное атомом с ядром **Y**, содержит 99,09% более тяжёлого элемента по массе. Простое вещество, соответствующее **X**, представляет собой бесцветный газ, накапливающийся преимущественно в подвальных помещениях. Массы ядер, выраженные в а.е.м., приведены в таблице:

Ядро	Масса, а.е.м.
<b>X</b>	222,0175738
<b>Y</b>	218,0089690
<b><math>\alpha</math></b>	4,0026033

1. Установите ядра **X** и **Y**, запишите уравнение описанного радиоактивного превращения.
2. Какая энергия выделяется в результате этого радиоактивного превращения? Ответ выразите в МэВ и Дж/моль.
3. С какой максимальной скоростью из ядра **X** может вылететь  $\alpha$ -частица? Считайте, что **Y** и  **$\alpha$**  разлетаются вдоль одной прямой, вся энергия распада превращается в кинетическую, а в системе выполняются механические законы сохранения.

**Справочные данные**

$$E_{\text{распада}} = \Delta m \cdot c^2, 1 \text{ МэВ} = 1,602 \cdot 10^{-13} \text{ Дж}, c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}, 1 \text{ а.е.м.} = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$$

**Рекомендации к решению**

Установим ядро **Y** исходя из массовой доли образованного им атома в водородном соединении, приняв его формулу за  $\text{H}_a\text{Y}$ :

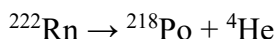
$$\omega(\text{Y}) = \frac{M(\text{Y})}{M(\text{Y}) + a \cdot M(\text{H})} = \frac{218 \text{ г/моль}}{218 \text{ г/моль} + a \cdot 1 \text{ г/моль}} = \frac{218}{218 + a} = 0,9909$$

Откуда:

$$a = 2$$

Образование водородных соединений с общей формулой  $H_2Y$  характерно для халькогенов – элементов 16 группы. Тогда  $Y = {}^{218}Po$ , а ядро  $X$  представляет собой  ${}^{222}Rn$ . Обратим внимание, что радон действительно является бесцветным газом и накапливается преимущественно в подвальных помещениях.

Уравнение описанного альфа-распада ядра  ${}^{222}Rn$ :



Рассчитаем дефект масс при распаде ядра:

$$\begin{aligned} \Delta m &= m({}^{222}Rn) - m({}^{218}Po) - m({}^4He) = \\ &= 222,0175738 \text{ а. е. м.} - 218,0089690 \text{ а. е. м.} - 4,0026033 \text{ а. е. м.} = \\ &= 6,0015 \cdot 10^{-3} \text{ а. е. м.} = 9,963 \cdot 10^{-30} \text{ кг} \\ E_{\text{распада}} &= \Delta m \cdot c^2 = 9,963 \cdot 10^{-30} \text{ кг} \cdot (3 \cdot 10^8 \text{ м/с})^2 = 8,967 \cdot 10^{-13} \text{ Дж} \end{aligned}$$

Переведём полученную энергию в требуемые единицы измерения:

$$\begin{aligned} E_{\text{распада}} &= \frac{8,967 \cdot 10^{-13} \text{ Дж}}{1,602 \cdot 10^{-13} \text{ Дж/МэВ}} = 5,6 \text{ МэВ} \\ E_{\text{распада}} &= 8,967 \cdot 10^{-13} \text{ Дж} \cdot 6,022 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1} = 5,400 \cdot 10^{11} \text{ Дж/моль} \end{aligned}$$

При альфа-распаде ядра выполняются основные механические законы сохранения – энергии и импульса. Поэтому скорости движения осколков ядра будут направлены вдоль одной прямой в разные стороны. Пусть 1 – ядро  ${}^{218}Po$ , 2 – ядро  ${}^4He$  ( $\alpha$ -частица), тогда:

$$\begin{cases} \frac{m_1 v_1^2}{2} + \frac{m_2 v_2^2}{2} = E_{\text{распада}} = 8,967 \cdot 10^{-13} \text{ Дж}; \\ m_1 v_1 - m_2 v_2 = 0 \end{cases}$$

$$\begin{cases} v_1 = \frac{m_2 v_2}{m_1} \\ \frac{m_1^2 v_2^2}{2m_1} + \frac{m_2 v_2^2}{2} = 8,967 \cdot 10^{-13} \text{ Дж} \end{cases};$$

$$\frac{v_2^2}{2} \cdot \left( \frac{m_2^2}{m_1} + m_2 \right) = 8,967 \cdot 10^{-13} \text{ Дж};$$

$$m_1 = 218,0089690 \text{ а. е. м} = 3,6214 \cdot 10^{-25} \text{ кг}, m_2 = 4,0026033 \text{ а. е. м} = 6,6488 \cdot 10^{-27} \text{ кг}.$$

Решая это уравнение, приходим к:

$$v_2 = 1,63 \cdot 10^7 \text{ м/с}$$

Критерии оценивания	
1. Установление ядер $X$ и $Y$ , подтверждённое расчётами или рассуждениями. <i>В случае, если ядра установлены верно, но нет расчётов или обоснований – оценка снижается до 1 балла за ядро.</i>	по 2 балла

Уравнение радиоактивного превращения	2 балла
2. Вычисление дефекта масс Расчёт энергии распада в МэВ и Дж/моль. <i>Если дефект масс вычислен некорректно, то верный расчёт энергии распада в МэВ и Дж/моль оценивается по 1 баллу.</i>	2 балла по 2 балла
3. Запись законов сохранения импульса и энергии Расчёт максимальной скорости $\alpha$ -частицы	по 2 балла 4 балла
<b>Итого</b>	<b>20 баллов</b>

## Задача 2. Тайна бинарного вещества

Бинарное соединение **X**, состоящее из атомов элементов одной группы периодической системы, представляет собой рубиново-красные кристаллы. Образец этого вещества массой 40,59 г необратимо гидролизуется с образованием тёмно-фиолетовых кристаллов простого вещества массой 25,38 г и бесцветного раствора (*реакция 1*), который впоследствии нейтрализовали стехиометрическим количеством гидроксида натрия. При добавлении к полученному после нейтрализации раствору твёрдого нитрата серебра образуется белый осадок массой 49,97 г (*реакции 2-3*). Его прокаливание выше 200°C сопровождается изменением цвета на желтоватый (*реакция 4*) и потерей массы в 4,805%. Обработка полученного порошка концентрированным водным раствором аммиака приводит к образованию жёлтого осадка массой 11,74 г (*реакция 5*).

1. Определите состав вещества **X**.
2. Напишите уравнения *реакций 1-5*.

### Рекомендации к решению

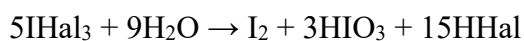
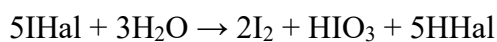
Обратим внимание на продукты гидролиза бинарного соединения **X**. Среди них можно обнаружить тёмно-фиолетовые кристаллы простого вещества, что практически наверняка свидетельствует в пользу иода  $I_2$ . Значит, исходное вещество представляет собой интергалогенид (бинарное соединение иода с другим галогеном). Поскольку одним из продуктов гидролиза является именно элементарный иод, то атом этого элемента в **X** находился в положительной степени окисления +1 или +3, поскольку в ином случае образовались бы устойчивые соединения пяти- или семивалентного иода.

Определить состав гидролизующегося интергалогенида можно двумя различными способами:

$$n(I_2) = \frac{m(I_2)}{M(I_2)} = \frac{25,38 \text{ г}}{253,81 \text{ г/моль}} = 0,10 \text{ моль}$$

#### Способ 1:

Галогениды иода разлагаются водой согласно следующим уравнениям реакций:



Предположим, что он имеет состав  $\text{IHal}$ , тогда:

$$n(\text{IHal}) = \frac{5}{2} \cdot n(I_2) = 0,25 \text{ моль}$$

$$M(\text{IHal}) = \frac{m(\text{IHal})}{n(\text{IHal})} = \frac{40,59 \text{ г}}{0,25 \text{ моль}} = 162,36 \text{ г/моль}$$

$$M(\text{Hal}) = M(\text{IHal}) - M(\text{I}) = 162,36 \text{ г/моль} - 126,905 \text{ г/моль} = 35,455 \text{ г/моль}$$

Данная молярная масса соответствует хлору. Тогда **X** =  $\text{ICl}$ .

Предположим, что он имеет состав  $\text{IHal}_3$ , тогда:

$$n(\text{IHal}_3) = 5 \cdot n(\text{I}_2) = 0,50 \text{ моль}$$

$$M(\text{IHal}_3) = \frac{m(\text{IHal}_3)}{n(\text{IHal}_3)} = \frac{40,59 \text{ г}}{0,50 \text{ моль}} = 81,18 \text{ г/моль}$$

Очевидно, такой вариант невозможен, поскольку молярная масса атома иода составляет 126,905 г/моль.

### Способ 2:

Предположим, что мы не знаем, по какой общей схеме происходит гидролиз галогенидов иода. Обратим внимание на *реакции 2-5*. Добавление нитрата серебра к полученному после нейтрализации раствору приводит к образованию белого осадка смеси двух малорастворимых серебряных солей (*реакции 2-3*). Одна из них разлагается при нагревании до жёлтого вещества (*реакция 4*), которое не растворяется в водном растворе аммиака. Под это описание отлично подходит иодид серебра AgI. Тогда твёрдый остаток после *реакции 4* представляет собой смесь иодида и ещё одного белого (или желтоватого) галогенида серебра:

$$n(\text{AgI}) = \frac{m(\text{AgI})}{M(\text{AgI})} = \frac{11,74 \text{ г}}{234,773 \text{ г/моль}} = 0,05 \text{ моль}$$

$$n(\text{I})_{\text{общ}} = 0,10 \text{ моль} \cdot 2 + 0,05 \text{ моль} = 0,25 \text{ моль}$$

$$m(\text{AgHal}) + m(\text{AgI}) = 49,97 \text{ г} \cdot (1 - 0,04805) = 47,57 \text{ г}$$

$$m(\text{AgHal}) = 47,57 \text{ г} - 11,74 \text{ г} = 35,83 \text{ г}$$

Если  $\text{X} = \text{IHal}$ , то:

$$n(\text{AgHal}) = n(\text{Hal}) = n(\text{I})_{\text{общ}} = 0,25 \text{ моль}$$

$$M(\text{AgHal}) = \frac{m(\text{AgHal})}{n(\text{AgHal})} = \frac{35,83 \text{ г}}{0,25 \text{ моль}} = 143,32 \text{ г/моль}$$

$$M(\text{Hal}) = 143,32 \text{ г/моль} - 107,868 \text{ г/моль} = 35,452 \text{ г/моль}$$

Полученной молярной массе соответствует хлор, тогда  $\text{X} = \text{ICl}$ .

Изначальный белый осадок, получаемый в ходе *реакций 2-3*, представляет собой смесь хлорида серебра и его соли с некоторой кислородсодержащей кислотой иода. Исходя из его массы и количества  $\text{AgIO}_x$  можно установить, что это иодат  $\text{AgIO}_3$ . Хлорид серебра растворяется в концентрированном водном растворе аммиака с образованием хлорида диаминсеребра  $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]\text{Cl}$ .

Уравнения реакций:

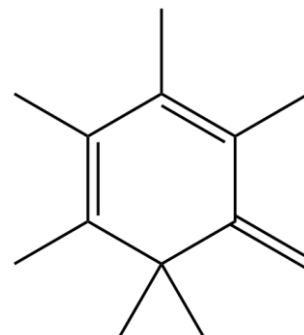
1.  $5\text{ICl} + 3\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{HIO}_3 + 2\text{I}_2 + 5\text{HCl}$
2.  $\text{NaIO}_3 + \text{AgNO}_3 \rightarrow \text{AgIO}_3\downarrow + \text{NaNO}_3$
3.  $\text{NaCl} + \text{AgNO}_3 \rightarrow \text{AgCl}\downarrow + \text{NaNO}_3$
4.  $2\text{AgIO}_3 \rightarrow 2\text{AgI} + 3\text{O}_2\uparrow$
5.  $\text{AgCl} + 2\text{NH}_3 \rightarrow [\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]\text{Cl}$

<b>Критерии оценивания</b>	
<p>1. Установление формулы вещества X.  <i>В случае, если формула указана верно, но нет обоснования или подтверждения расчётом, оценка снижается до 4 баллов. Если есть лишь указание на иод – 2 балла.</i></p>	7 баллов
<p>2. Написание уравнения реакций 1, 4 и 5  <i>Если коэффициенты расставлены неверно, оценка снижается до 1,5 баллов. Если продукты или реагенты неверные, реакция не оценивается.</i></p> <p>Написание уравнения реакций 2 и 3  <i>Если коэффициенты расставлены неверно, оценка снижается до 1 балла. Если продукты или реагенты неверные, реакция не оценивается.</i></p>	<p>по 3 балла</p> <p>по 2 балла</p>
<b>Итого</b>	<b>20 баллов</b>

### Задача 3. Сделали как в учебнике и... ничего не получилось

#### Условие

Реакция взаимодействия соединений **A** и **B** настолько известна, что её можно встретить в каждом учебнике по органической химии в параграфе, посвящённом ароматическим соединениям. Для её осуществления на практике юный исследователь А. взял образец **A** (углеводород, бесцветная жидкость,  $T_{\text{кип}} = 80,1^\circ\text{C}$ ). Затем он добавил к ней катализатор – бинарное неорганическое соединение **C**, содержащее 79,77% хлора по массе. При пропускании через полученную суспензию второго реагента – газообразного вещества **B**, – вместо ожидаемого продукта **D** (углеводород, бесцветная жидкость,  $T_{\text{кип}} = 110,6^\circ\text{C}$ ) он получил зелёные кристаллы ионного соединения **E**, содержащего в себе атомы четырёх элементов ( $\omega(\text{C}) = 45,10\%$ ,  $\omega(\text{Cl}) = 40,97\%$ ). Незначительное нагревание **E** приводит к образованию смеси изомерных веществ **X** и **Y**. Структурная формула вещества **X** изображена на рисунке. При проведении расчётов используйте молярную массу элементов с точностью до сотых.



1. Установите состав веществ **A-E** и **Y**, если известно, что отношение молярных масс **E** и **A** равно 4,44. Для органических соединений приведите структурные формулы.
2. Напишите название реакции взаимодействия **A** и **B** в присутствии **C**.

#### Рекомендации к решению

Установим состав катализатора реакции **C** и образующегося ионного соединения **E**. Пусть **C** имеет формулу  $\text{MHal}_x$ , тогда:

$$M(M) = \frac{x \cdot M(\text{Cl})}{\omega(\text{Cl})} \cdot \omega(M) = \frac{x \cdot 35,45 \text{ г/моль}}{0,7977} \cdot (1 - 0,7977) = 8,99x \text{ г/моль}$$

Путём перебора несложно убедиться, что при  $x = 3$  **C** =  $\text{AlCl}_3$ .

Тогда вещество **E** содержит в себе атомы углерода, водорода, алюминия и хлора:

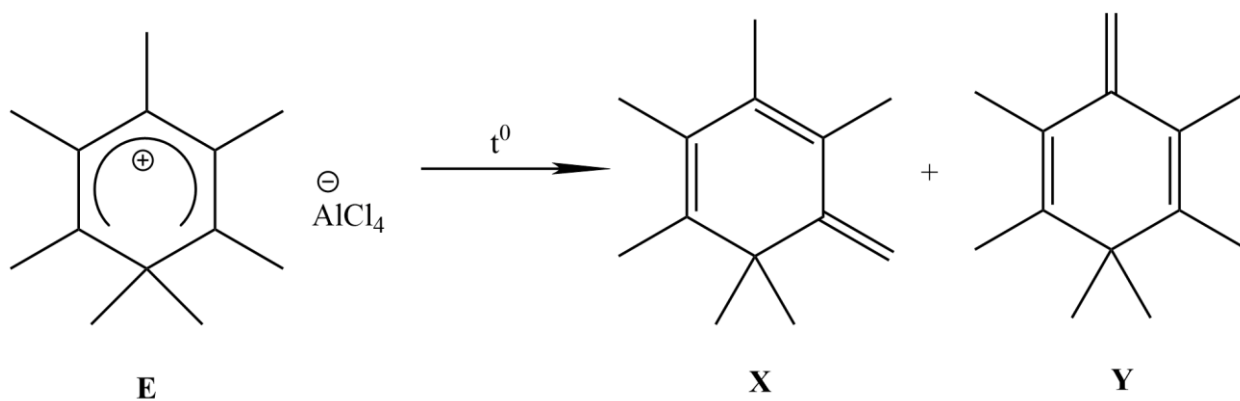
$$n(\text{C}):n(\text{Cl}) = \frac{45,10}{12,01 \text{ г/моль}} : \frac{40,97}{35,45 \text{ г/моль}} = 3,755 : 1,156 = 3,25 : 1 = 13 : 4$$

Вещество **E** содержит в себе 13 атомов углерода и 4 атома хлора, на остаток приходится 48 г/моль, что соответствует 1 атому алюминия и 21 атому водорода, **E** =  $\text{C}_{13}\text{H}_{21}\text{AlCl}_4$ .

$$M(\text{A}) = \frac{M(\text{E})}{4,44} = \frac{346,1 \text{ г/моль}}{4,44} = 78 \text{ г/моль}$$

Данной молярной массе соответствует бензол **A** =  $\text{C}_6\text{H}_6$ . Обратим внимание на структурную формулу **X**: она действительно содержит нечто похожее на бензольное кольцо, к которому прикреплены семь одноуглеродных фрагментов. Тогда **B** – это хлорметан  $\text{CH}_3\text{Cl}$ , который и даёт избыточный хлорид для вещества **E**. Ожидаемый продукт алкилирования бензола **D** =  $\text{C}_7\text{H}_8$  – это толуол.

Структурные формулы **E** его продуктов разложения **X** и **Y** приведены на рисунке ниже:



Реакция взаимодействия бензола и хлорметана в присутствии трихлорида алюминия – реакция алкилирования по Фриделю-Крафтсу.

<b>Критерии оценивания</b>	
1. Изображение структурных формул соединений <b>A</b> , <b>D</b> , <b>E</b> и <b>Y</b> . <i>Если структурные формулы веществ не обоснованы или не подтверждены расчётом – по 1,5 балла.</i> Определение формулы веществ <b>B</b> и <b>C</b> . <i>Если формулы веществ не обоснованы или не подтверждены расчётом – по 1 баллу.</i>	по 3 балла  по 2 балла
2. Название реакции взаимодействия <b>A</b> и <b>B</b> – алкилирование по Фриделю-Крафтсу. <i>Если указано только алкилирование – 2 балла.</i>	4 балла
<b>Итого</b>	<b>20 баллов</b>



#### Задача 4. Настоящая палитра красок

Воздействие раствора гидроксида натрия на бледно-фиолетовые кристаллы нонагидрата нитрата **A** приводит к образованию буро-коричневого осадка **B** (реакция 1), практически не растворяющегося в разбавленных щелочах. При его окислении хлором в водном растворе едкого кали образуется малиново-красное вещество **C** (реакция 2), являющееся очень сильным окислителем. Его восстановление с помощью цинка в серной кислоте приводит к образованию бледно-зелёной соли **D** (реакция 3). При действии на неё натриевой щёлочью образуется белый осадок **E** (реакция 4), постепенно буреющий на влажном воздухе с образованием **B** (реакция 5).

1. Установите состав соединений **A-E**
2. Напишите уравнения реакций 1-5

#### Рекомендации к решению

Задача не содержит численных данных, поэтому в ходе решения приходится опираться лишь на окраску соединений. Подобное разнообразие проявляемых окрасок свидетельствует в пользу соединений переходного металла, образующего гидроксиды буро-коричневого и белого цвета. Данные цвета характерны для гидроксидов трёх- и двухвалентного железа соответственно. Дополнительным подтверждением данного предположения является характерная малиново-красная окраска ферратов. Тогда **A** = Fe(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub>•9H<sub>2</sub>O – нонагидрат нитрата трёхвалентного железа, **B** = Fe(OH)<sub>3</sub>, **C** = K<sub>2</sub>FeO<sub>4</sub>, при восстановлении которого цинком в серной кислоте образуется сульфат **D** = FeSO<sub>4</sub>. Последний взаимодействует с натриевой щёлочью с образованием белого гидроксида **E** = Fe(OH)<sub>2</sub>.

Уравнения реакций 1-5:

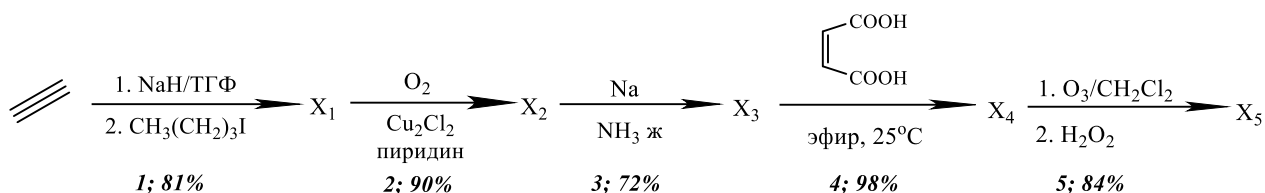
1.  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O} + 3\text{NaOH} \rightarrow \text{Fe}(\text{OH})_3 \downarrow + 3\text{NaNO}_3 + 9\text{H}_2\text{O}$
2.  $2\text{Fe}(\text{OH})_3 + 3\text{Cl}_2 + 10\text{KOH} \rightarrow 2\text{K}_2\text{FeO}_4 + 6\text{KCl} + 8\text{H}_2\text{O}$
3.  $\text{K}_2\text{FeO}_4 + 2\text{Zn} + 4\text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{FeSO}_4 + 2\text{ZnSO}_4 + \text{K}_2\text{SO}_4 + 4\text{H}_2\text{O}$
4.  $\text{FeSO}_4 + 2\text{NaOH} \rightarrow \text{Fe}(\text{OH})_2 \downarrow + \text{Na}_2\text{SO}_4$
5.  $4\text{Fe}(\text{OH})_2 + \text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 4\text{Fe}(\text{OH})_3$

Критерии оценивания	
1. Установление формул соединений <b>A-E</b> , подтверждённое логическим обоснованием. <i>Если нет обоснований, формулы веществ оцениваются по 1 баллу.</i> <i>Если в решении идёт речь о химии марганца – оценка по 1 баллу за вещество при наличии обоснований и по 0,5 балла – если нет обоснований.</i>	по 2 балла
2. Написание уравнений реакций 1-5 с верными коэффициентами. <i>Если коэффициенты расставлены неверно, оценка снижается до 1 балла. Если продукты или реагенты неверные, реакция не оценивается.</i> <i>Если в решении идёт речь о химии марганца – по 1 баллу за каждую реакцию с правильными коэффициентами.</i>	по 2 балла

### Задача 5. Небольшой органический синтез

#### Условие

Для получения органической тетракислоты **X<sub>5</sub>** (C<sub>16</sub>H<sub>26</sub>O<sub>8</sub>) в лаборатории была предложена следующая схема пятистадийного синтеза с указанием выходов реакций исходя из коммерчески доступного ацетиленда:

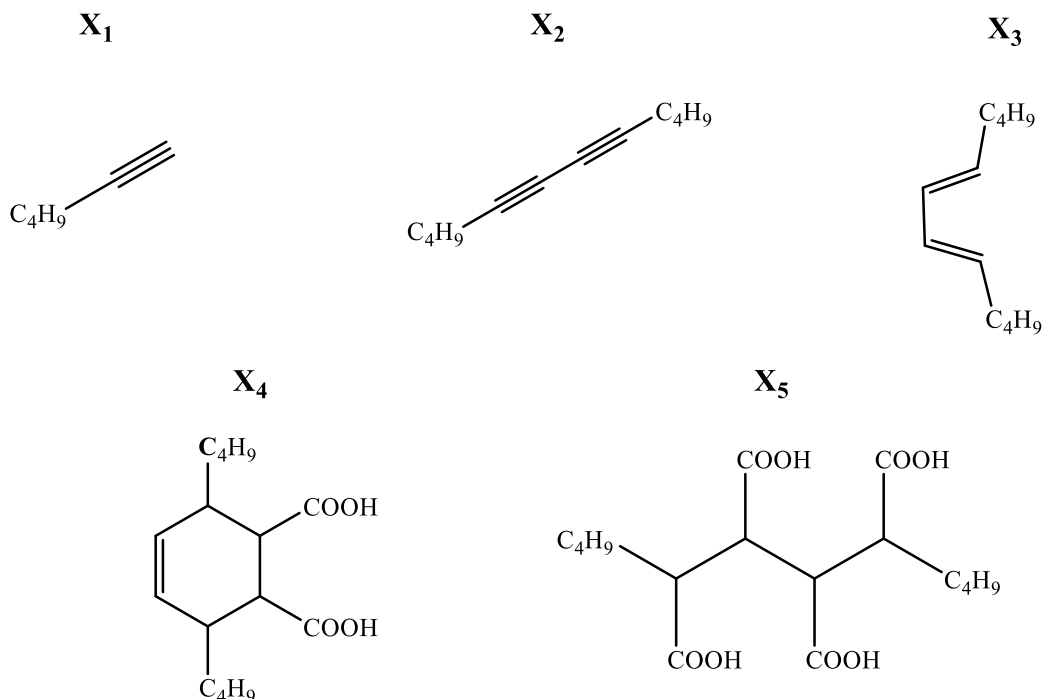


Дополнительно известно, что **X<sub>2</sub>** содержит 11,1% водорода по массе, а в **X<sub>3</sub>** двойные связи обладают транс-конфигурацией.

1. Установите структурные формулы соединений **X<sub>1</sub>** – **X<sub>5</sub>** и рассчитайте общий выход представленного синтеза. Имена каких двух выдающихся немецких химиков носит реакция 4?
2. Какую массу ацетиленда нужно взять для получения такого количества **X<sub>5</sub>**, при сгорании которого образуется 2,24 л воды (н.у.)?

#### Рекомендации к решению

Структурные формулы веществ **X<sub>1</sub>** – **X<sub>5</sub>**:



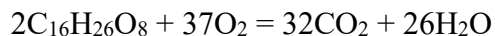
Рассчитаем общий выход синтеза:

$$\eta = 0,81 \cdot 0,90 \cdot 0,72 \cdot 0,98 \cdot 0,84 = 0,432$$

Таким образом, выход синтеза целевого продукта составляет **43,2%**.

Превращение **X<sub>3</sub>** в **X<sub>4</sub>** носит тривиальное название реакции Дильса-Альдера.

Целевой продукт синтеза  $X_5$  сгорает согласно уравнению:



Рассчитаем количество образовавшейся воды:

$$n(H_2O) = \frac{m(H_2O)}{M(H_2O)} = \frac{2,24 \text{ л} \cdot 1000 \text{ г/л}}{18 \text{ г/моль}} = 124,44 \text{ моль}$$

$$n(C_{16}H_{26}O_8) = \frac{n(H_2O)}{13} = \frac{124,4 \text{ моль}}{13} = 9,57 \text{ моль}$$

Определим количество ацетилен, необходимое для получения 9,57 моль вещества  $X_5$ . Учтем, что на образование каждой его молекулы требуется 2 молекулы ацетилен, а выход синтеза составляет 43,2%:

$$n(C_2H_2) = \frac{2n(C_{16}H_{26}O_8)}{\eta} = \frac{2 \cdot 9,57 \text{ моль}}{0,432} = 44,306 \text{ моль}$$

$$m(C_2H_2) = n(C_2H_2) \cdot M(C_2H_2) = 44,306 \text{ моль} \cdot 26 \text{ г/моль} = 1152 \text{ г}$$

<b>Критерии оценивания</b>	
1. Определение структурных формул веществ $X_1 - X_5$ . <i>Если в структуре <math>X_3</math> нет указания на транс-конфигурацию двойных связей – 1 балл.</i> Расчёт общего выхода синтеза.	по 2 балла  2 балла
<i>Если приведён только численный ответ без расчёта – 1 балл.</i> Тривиальное название реакции 4	 2 балла
2. Уравнение сгорания вещества $X_5$ Расчёт необходимой для синтеза массы ацетилен	2 балла 4 балла
<b>Итого</b>	<b>20 баллов</b>

## Задача 6. Немного о осмотическом давлении

### Условие

Традиционно считается, что серная кислота является сильной и полностью диссоциирует по обеим ступеням. Однако, это не совсем так. Для подтверждения этого юный экспериментатор взял U-образную трубку с тонкими коленями, разделённую на 2 части мембраной, проницаемой лишь для воды. В её левое колено он поместил 0,001 М раствор серной кислоты, а в правое – такой же объём чистой дистиллированной воды. В результате высота жидкости в левой части прибора оказался на 72,4 см выше.

1. Рассчитайте осмотическое давление, создаваемое серной кислотой в растворе. Плотность раствора примите равным  $1000 \text{ кг/м}^3$ , ускорение свободного падения  $g = 9,81 \text{ М/с}^2$ .
2. Определите степень диссоциации и константу диссоциации кислоты по второй ступени. Температуру эксперимента считайте равной  $25^\circ\text{C}$
3. Рассчитайте рН взятого раствора серной кислоты.

### Справочные данные

$$\pi = CRT,$$

где  $\pi$  – осмотическое давление,  $C$  – концентрация частиц (молекул и ионов) растворённого вещества в растворе,  $R = 8,314 \text{ Дж/К} \cdot \text{моль}$ ,  $T$  – температура.

### Рекомендации к решению

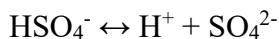
Оценим осмотическое давление 0,001 М раствора серной кислоты, используя данные о разности уровней жидкости в левом и правом колене сосуда:

$$\pi = \rho g \Delta h = 1000 \text{ кг/м}^3 \cdot 9,81 \text{ М/с}^2 \cdot 0,724 \text{ м} = 7102,44 \text{ Па}$$

Рассчитаем кажущуюся концентрацию частиц в растворе серной кислоты:

$$C = \frac{\pi}{RT} = \frac{7102,44 \text{ Па}}{8,314 \text{ Дж/К} \cdot \text{моль} \cdot 298 \text{ К}} = 2,867 \text{ моль/м}^3 = 0,002867 \text{ М}$$

Концентрация частиц в растворе выше изначального содержания кислоты в 2,867 раза, что говорит о неполной диссоциации кислоты по второй ступени.



Пусть  $\alpha$  – степень диссоциации кислоты по второй ступени, тогда:

$$[\text{H}^+] = (1 + \alpha)C_0$$

$$[\text{HSO}_4^-] = (1 - \alpha)C_0$$

$$[\text{SO}_4^{2-}] = \alpha C_0$$

$$C_{\text{общ}} = (2 + \alpha)C_0$$

$$\alpha = \frac{C_{\text{общ}}}{C_0} - 2 = 2,867 - 2 = 0,867$$

$$K_a = \frac{[H^+][SO_4^{2-}]}{[HSO_4^-]} = \frac{(1 + \alpha)\alpha C_0}{1 - \alpha} = \frac{(1 + 0,867) \cdot 0,867 \cdot 10^{-3}}{1 - 0,867} = 1,22 \cdot 10^{-2}$$

Рассчитаем рН взятого раствора серной кислоты:

$$pH = -\lg[H^+] = -\lg((1 + 0,867) \cdot 10^{-3}) = 2,73$$

<b>Критерии оценивания</b>	
1. Расчёт осмотического давления в растворе серной кислоты. <i>Если численный ответ верный, но в нём отсутствует размерность или она неверная – 4 балла.</i>	5 баллов
2. Расчёт степени диссоциации и константы кислотности по второй ступени	по 5 баллов
3. Расчёт рН раствора серной кислоты	5 баллов
<b>Итого</b>	<b>20 баллов</b>