

11 класс

Задача 1. Разделение соседей

1. При $x = 0,11$ состав минерала можно записать так: $L_{0,89}M_{1,11}S_2$. Обозначим молярную массу этого химического соединения за M , молярные массы M и $L - M_M$ и M_L соответственно. Тогда можно записать систему из следующих уравнений:

$$\frac{100}{M} \cdot 0,89 \cdot M_L \cdot 0,83 = 23,95 - \text{масса выделенного } L \text{ (с учетом выхода)}$$

$$M = 0,89 M_L + 1,11 M_M + 2 \cdot 32,06$$

Подставляя выражения для M в первое уравнение и немного преобразуя его получаем:

$$\frac{M_L}{0,89 M_L + 1,11 M_M + 64,12} = 0,3242$$

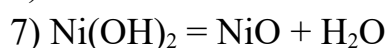
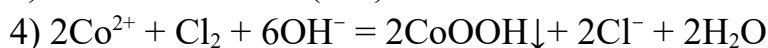
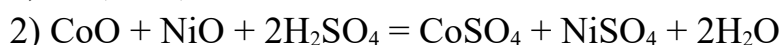
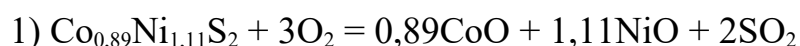
$$0,711 M_L - 0,36 M_M = 20,75$$

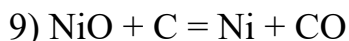
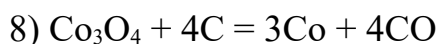
Учитывая то, что L и M – соседи и находятся в одном периоде, для грубой оценки их молярных масс можно принять, что $M_L \approx M_M$. Тогда:

$$M_L \approx M_M \approx \frac{20,75}{0,351} = 59,1 \text{ г/моль}$$

Значит, L и M находятся в третьем периоде таблицы Менделеева. Из всех пар металлов-соседей подходят только Co и Ni , хотя близость их молярных масс не дает понять, кто из них обозначен как L , а кто как M . Это можно сделать, внимательно изучив методику их разделения. После второй стадии образуется водный раствор, содержащий ионы Co^{2+} и Ni^{2+} . При обработке хлором в щелочной среде кобальт окислится, и в слабокислой среде в осадок будет переходить именно Co^{3+} . То есть $L - Co$, а $M - Ni$ (это можно понять и дальше по ходу решения задачи, т.к. плоско-квадратная геометрия комплексов характерна именно для никеля).

Реакции:





Для пар реакций 2-3, 4-5, 6-7 и 8-9 порядок не влияет на оценку.

Осадок 1 – **CoOOH** ($\text{Co}(\text{OH})_3$, $\text{CoOOH} \cdot x\text{H}_2\text{O}$, $\text{Co}_2\text{O}_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$).

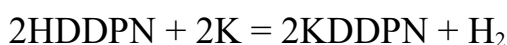
Осадок 2 – **Ni(OH)₂**.

2. Наиболее характерной степенью окисления никеля является степень окисления +2. То есть $n = 2$. Тяжелым аналогом никеля можно назвать Pd (и Pt в меньшей степени). **M₂ – Pd**.

Квадратной геометрии комплекса соответствует **dsp²-гибридизация** орбиталей комплексообразователя.

3. Интенсивная окраска раствора щелочного металла и низкая температура кипения однозначно указывают на то, что **F – это NH₃**. Интенсивная окраска растворов объясняется наличием в нем сольватированных электронов.

4. По использованию сокращений HDPPN и KDPPN можно догадаться, что HDPPN – органическая кислота. Причем условия получения ее калиевой соли указывают на то, что pK_a кислоты очень большое. Уравнение реакции HDPPN с калием (его раствором в жидком аммиаке) можно записать так:



Тогда:

$$\frac{n(\text{KDPPN})}{n(\text{H}_2)} = 2$$

$$n(\text{H}_2) = \frac{57,79 \cdot 10^{-3}}{22,4} = 2,58 \cdot 10^{-3} \text{ моль}$$

$$M(\text{KDPPN}) = \frac{1,39}{2 \cdot 2,58 \cdot 10^{-3}} = 269,38 \text{ г/моль}$$

$$M(\text{HDPPN}) = 269,38 - 39,098 + 1,008 = 231,29 \text{ г/моль}$$

HDPPN – $\text{C}_x\text{H}_y\text{N}_z\text{O}_m$ и нельзя отрицать возможное присутствие других элементов. Тогда:

$$x = \frac{231,29 \cdot 0,9}{12} = 17,3 \implies x = 17$$

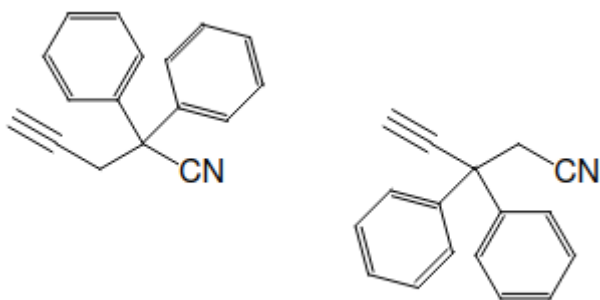
$$z = \frac{231,29 \cdot 0,06}{14} = 0,99 \implies z = 1$$

Без азота и углерода от молярной массы остается 13 г/моль. Значит, формула **HDPPN** – **C₁₇H₁₃N**. Соединение содержит тройную связь CN и CC и обра-

зует осадки с солями меди и серебра. Значит в нем есть терминальная тройная связь (*источник кислого протона*). Степень ненасыщенности соединения равна:

$$(17 \cdot 2 + 2 + 1 - 13) / 2 = 12$$

За вычетом двух тройных связей останется 8. В соединении есть ароматические протоны, а значит, скорее всего, в нем есть бензольное кольцо. За вычетом четырех от 8 останется 4. Учитывая симметричность соединения (отсутствие хиральности), можно предположить наличие в нем еще одного бензольного кольца. Под все условия подходит несколько структур, из которых мы приведем две:



Иные подходящие структуры также считаются верным ответом. Засчитывается 2 верные структуры (если приведено больше – за каждую верную +2 балла, за каждую неверную минус 2 балла, в сумме не более 4 баллов и не менее 0).

5. Наиболее логичным продуктом реакции можно считать соединение $K_2[Ni(DPPN)_4]$ (учитывая намек на склонность никеля к образованию квадратных комплексов). Тогда:

$$n(KDPPN) = 2 \cdot 2,58 \cdot 10^{-3} = 5,16 \cdot 10^{-3} \text{ моль}$$

$$n(E) = \frac{5,16 \cdot 10^{-3}}{4} = 1,29 \cdot 10^{-3} \text{ моль}$$

$$M(E) = \frac{0,927}{0,67 \cdot 1,29 \cdot 10^{-3}} = 1072,54 \text{ г/моль}$$

Если вычесть из этого молярную массу предполагаемого соединения, останется еще примерно 15 г/моль, что может соответствовать только аммиаку. То есть **E** – сольват $K_2[Ni(DPPN)_4]$. **E** – $K_2[Ni(DPPN)_4] \cdot NH_3$

Перейдем к определению **X**. Если в **X** содержится только один атом никеля, то:

$$M(X) = \frac{0,31}{1,29 \cdot 10^{-3}} = 240,31 \text{ г/моль}$$

Судя по молярной массе, соединение **X** – комплексное. В синтезе комплекса, где катионом выступает калий, логично использовать производные того же калия. Если формула **X** – $K_2[NiR_4]$, где R – отрицательно заряженный лиганд, то:

$$M(R) = 240,31 - 2 \cdot 39,1 \cdot 58,7 \approx 26 \text{ г/моль, что соответствует цианиду.}$$



Анионы обоих соединений представляют из себя плоские квадраты $[NiL_4]^{2-}$, где для **E** L – DPPN, а для **X** L – CN.

Система оценивания:

1. Определение металлов **L** и **M** – по **0,5 балла**. Реакции с 1 по 10 – по **1 баллу**. За уравнения реакций без коэффициентов или с ошибкой в коэффициентах – по **0,5 балла**. Осадки 1 и 2 – по **1 баллу**. Всего – **13 баллов**.

2. M_2 и n – по **0,5 балла**. Гибридизация – **1 балл**. Всего – **2 балла**.

3. Формула **F** и объяснение окраски – по **1 баллу**. Всего – **2 балла**.

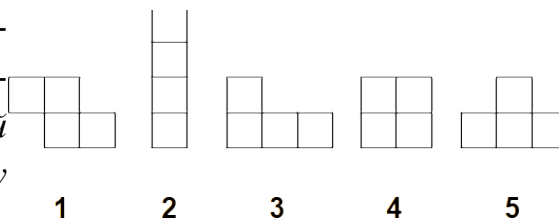
4. Определение молярной массы KDPPN – **1 балл**. Изомеры – по **2 балла за правильные структуры (но не более 4 баллов)**. За каждый неправильный – штраф **2 балла (но не более 2 баллов)**. Если неправильно определена молярная масса, то штраф не накладывается. Всего – **5 баллов**.

5. Определение формул **X** и **E** – по **1 баллу**. Строение анионов **E** и **X** – по **0,5 балла**. Всего – **3 балла**.

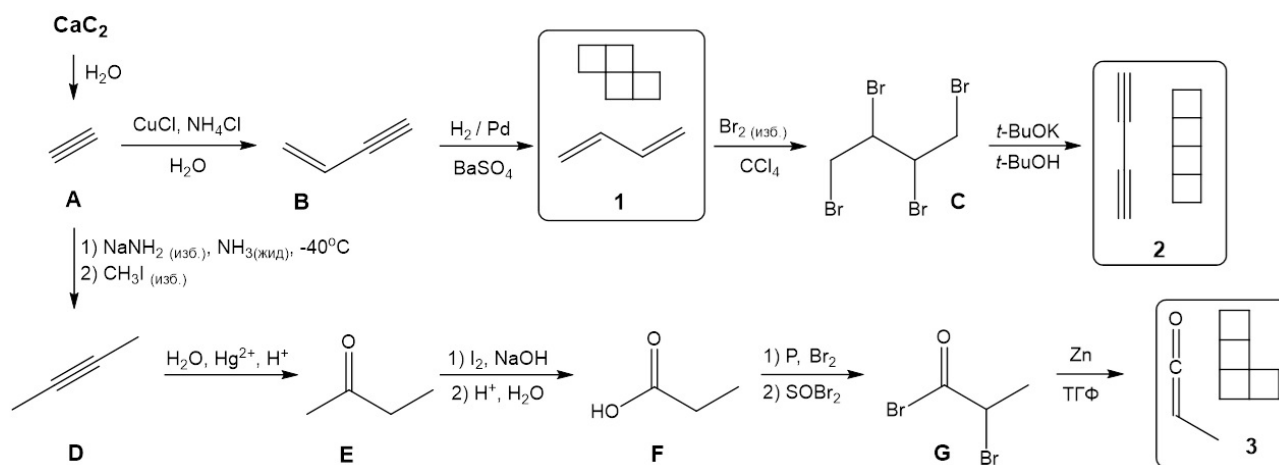
ИТОГО: 25 баллов.

Задача 2. Химический тетрис

Главные подсказки в решении данной задачи – это фигуры тетриса и «правила игры». Согласно правилам «каждый квадрат фигуры соответствует атому углерода, гетероатому или циклическому фрагменту, а атомы водорода при описании формы фигур не учитываются...» При этом, молекулы-фигуры 1–3 имеют ациклическое строение, а в составе соединений 4 и 5 присутствуют циклы».

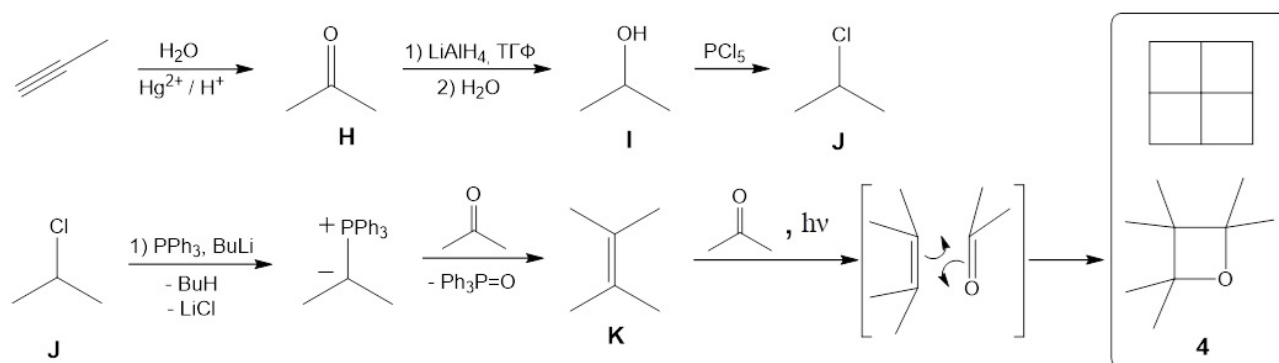


Синтез первых трех соединений представлен на следующей схеме и, как было упомянуто в подсказке, ни на одном из этапов не содержит циклических фрагментов:



При оценивании полный балл для соединения **1** засчитывается только в случае указания диена в *s-транс*-конформации, поскольку именно она подходит под соответствующую форму фигуры. То же самое касается диацетилена **2**, в котором все валентные углы должны быть равны 180 градусам, и метилкетена **3**, у которого фрагмент C=C=O также является линейным.

Далее было предложено синтезировать оставшиеся соединения **4** и **5**, про которые известно, что они могут содержать циклические фрагменты:

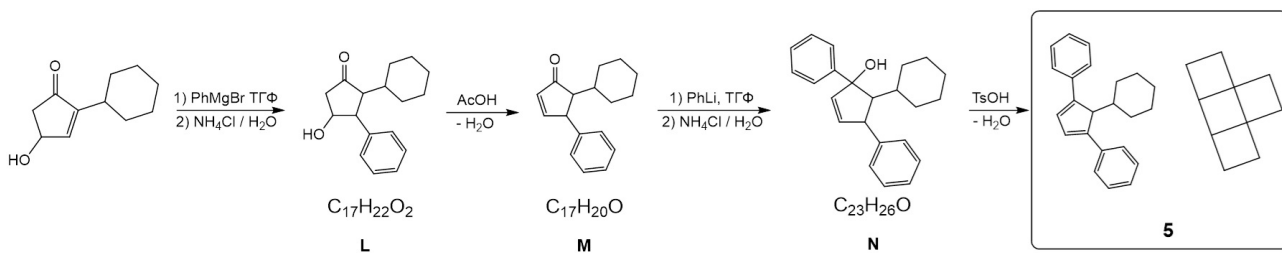


Комментарий:

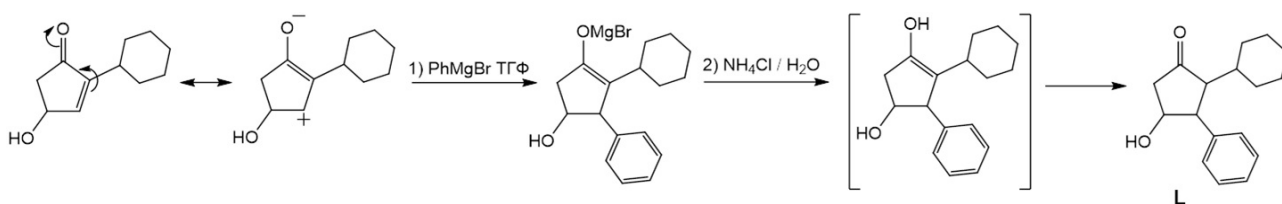
1) Превращение **J** в **K** – реакция Виттига, которая используется для получения алкенов заданного строения из илидов фосфора (первая стадия) и карбонильных соединений.

2) Превращение **K** в **4** – реакция [2+2]-циклоприсоединения ацетона к 2,3-диметилбутену-2, приводящая к образованию гексаметилокетана **4**. В данной молекуле присутствуют мешающие нам 6 метильных групп, однако по условию задачи мы о них осведомлены, а атомы четырехчленного цикла составляют тот самый квадрат из четырех фрагментов, в роли которых выступают 3 атома углерода и один атом кислорода.

Последняя цепочка превращений наиболее сложная, поэтому на схеме были дополнительно представлены брутто-формулы продуктов реакций.



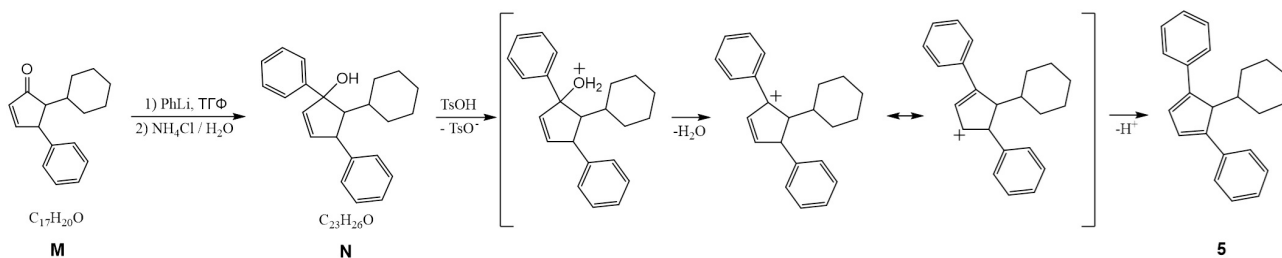
Первая стадия с участием реактива Гриньяра на первый взгляд должна протекать по карбонильному атому углерода, однако в данных условиях реактив Гриньяра преимущественно участвует в реакции 1,4-присоединения из-за сопряжения карбонильной группы с двойной связью:



Дополнительно нам сообщили, что в молекуле **L** присутствует только одна гидроксильная группа, что также исключает возможность протекания реакции по карбонильному атому углерода, поскольку тогда в результате гидролиза их осталось бы две.

Далее на основе брутто-формулы **M** можно сделать вывод, что протекает обычная реакция дегидратации, но двойная связь формируется не с третичным атомом углерода, а так, чтобы образовалось сопряжение с карбонильной группой. Реакция **M** с фениллитием протекает иначе, нежели с реактивом Гриньяра, этот реагент используют, когда в сопряженных альдегидах и кетонах требуется провести реакцию по карбонильному атому и избежать образования продукта 1,4-присоединения.

Последняя стадия – уже известная нам дегидратация, но со своими особенностями. Поскольку отщепление воды приводит к появлению положительного заряда на атоме углерода, двойная связь мигрирует ближе к ароматическому кольцу, создавая более длинную цепь сопряжения, а значит и более устойчивый карбокатион. Затем от соседнего атома отщепляется протон и формируется вторая C=C связь. В результате образуется продукт, в котором две двойные связи и два ароматических кольца образуют единую цепь сопряжения.



Система оценивания:

1. Ответ на первый вопрос – **14 баллов** (по **1 баллу** за структурные формулы А–N).

2. Ответ на второй вопрос – **11 баллов** (по **2 балла** за структурные формулы соединений 1–4, **3 балла** – за соединение 5). При оценивании полные **3 балла** для соединения 5 засчитываются в случае правильного продукта с надлежащим расположением двойных связей в пятичленном цикле. **2 балла** – за правильный продукт с неверным расположением двойных связей. В случае написания продукта 1,4-присоединения PhLi к веществу **М** засчитывается **1 балл** за продукт **Н** и **0 баллов** за неправильный продукт **5**.

ИТОГО: 25 баллов.

Задача 3. Китайские фонарики

1. В упомянутых комплексах на один ион комплексообразователя приходится два ацетат-иона, т. е. на один атом металла приходится четыре атома углерода, а на биядерный фрагмент – восемь (может приходится и больше, если лиганды L будут углерод-содержащими). Исходя из этого, можно вычислить молярные массы комплексов **К₁–К₄** соответственно:

$$M = 12,01 \cdot 8 / 0,2406 = 399,33 \text{ г/моль (К}_1\text{)}$$

$$M = 12,01 \cdot 8 / 0,2554 = 376,19 \text{ г/моль (К}_2\text{)}$$

$$M = 12,01 \cdot 8 / 0,2245 = 427,97 \text{ г/моль (К}_3\text{)}$$

$$M = 12,01 \cdot 8 / 0,1854 = 518,23 \text{ г/моль (К}_4\text{)}$$

Откуда можно вычислить атомные веса комплексообразователей:

$$M = 399,33 \cdot 0,3183 / 2 = 63,55 \text{ г/моль (К}_1\text{)}$$

$$M = 376,19 \cdot 0,2764 / 2 = 51,99 \text{ г/моль (К}_2\text{)}$$

$$M = 427,97 \cdot 0,4483 / 2 = 95,93 \text{ г/моль (К}_3\text{)}$$

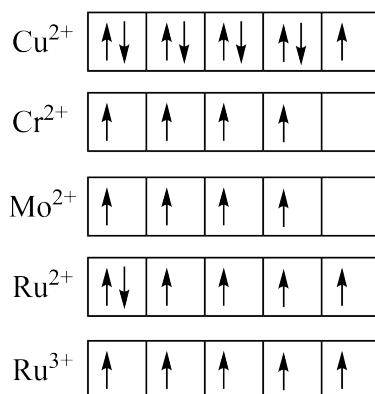
$$M = 518,23 \cdot 0,3901 / 2 = 101,08 \text{ г/моль (К}_4\text{)}$$

Исходя из сопоставления полученных значений с Периодической системой можно сделать вывод о том, что комплексообразователем в **К₁** является медь, в **К₂** – хром, в **К₃** – молибден и в **К₄** – рутений. Далее вычитая из полученных ранее молярных масс комплексов молярные массы двух комплексообразователей и четырех ацетат ионов (59,04 г/моль) можно установить, что в комплексах **К₁** и **К₂** остается по 36 г/моль. Такая молярная масса соответствует двум молекулам воды. В случае аналогичного расчета для **К₃** получается, что лиганды L отсутствуют. Для **К₄** остается 79,9 г/моль, что соответствует одному иону брома.

Таким образом, комплексы **K**₁–**K**₄ имеют следующий состав:

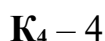
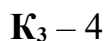
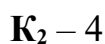
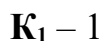


2. Исходя из составов комплексов можно установить, что в комплексах **K**₁–**K**₃ комплексообразователь находится в степени окисления +2, а в **K**₄ два комплексообразователя имеют разную степень окисления: один +2, а другой +3. Приведем электронно-ячеечные формулы для таких ионов:

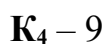
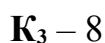
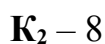
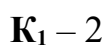


Исходя из этих формул нетрудно оценить общее число неспаренных электронов на два иона комплексообразователя, а также максимальную возможную кратность связи металл-металл (последняя определяется числом неспаренных электронов у одного иона комплексообразователя, если у двух ионов комплексообразователя оно разное (как в последнем комплексе), то определяется по тому иону, где меньше неспаренных электронов).

Исходя из этого получается, что максимально возможные кратности связей в комплексах **K**₁–**K**₄ составят:



Число неспаренных электронов в двух свободных ионах для комплексов **K**₁–**K**₄ будет равно:



3. Исходя из данных задачи можно сделать простое предположение, что если расстояние металл-металл равно или даже короче данного расстояния в металле, то связь металл-металл в комплексе присутствует. Если же расстояние в комплексе больше, чем расстояние в простом веществе, то связь металл-металл отсутствует, но при общем уменьшении числа неспаренных электронов есть антиферромагнитное взаимодействие через мостиковые лиганды. На основе этого можно сделать следующие заключения о наличии связи металл-металл в комплексах K_1 – K_4 :

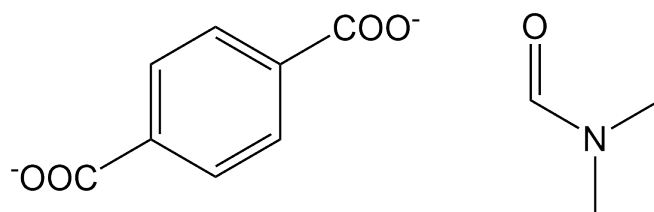
K_1 – нет (есть антиферромагнитное взаимодействие)

K_2 – есть

K_3 – есть

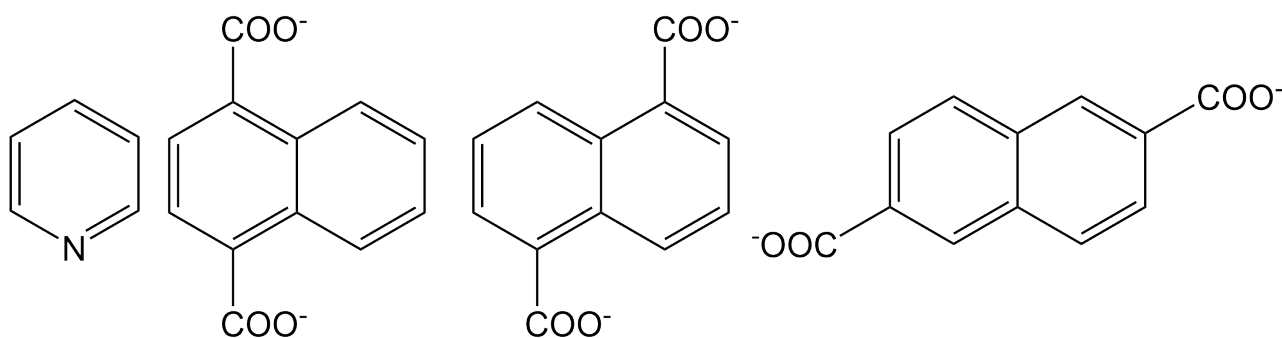
K_4 – есть

4. Простейший возможный ароматический дикарбоксилат – анион терефталевой кислоты (1,4-бензолдикарбоновая кислота, другие изомеры не подходят по стерическим причинам), его брутто-формула $C_8H_4O_4$, вычитая которую из общей формулы комплекса **A** остается $C_3H_9NO_2$ (с вычетом и комплексообразователя). Лиганд **L**, являющийся простой неорганической молекулой, подходящий с учетом оставшейся брутто-формулы в такой состав – вода, причем одна молекула на один комплексообразователь. Тогда оставшаяся формула имеет вид C_3H_7NO . Из распространенных органических растворителей под такую формулу подходит диметилформамид. Структурные формулы дикарбоксилата и растворителя в составе **A** следующие:

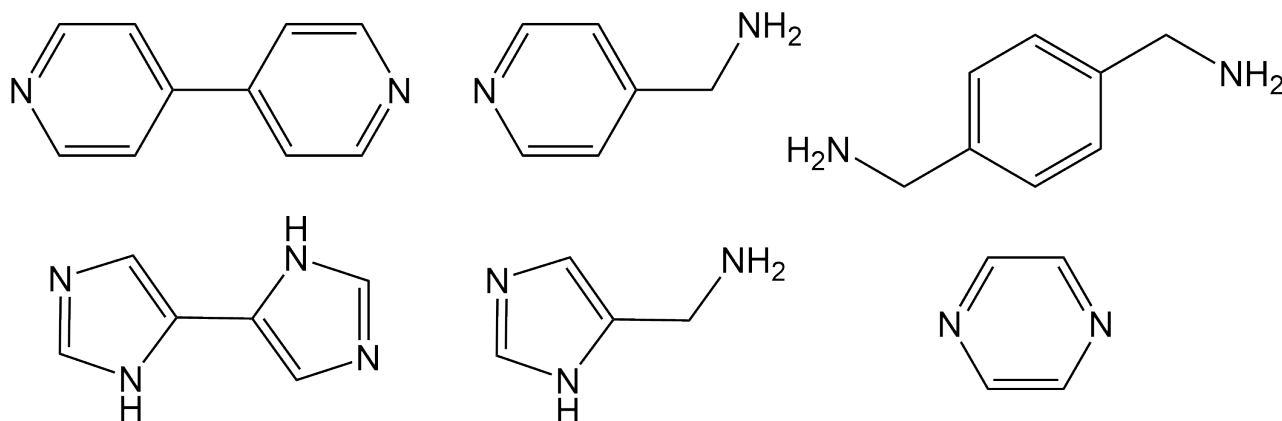


В структуре **A** пустоты имеют форму ромбической призмы.

5. Шестичленный ароматический N-донорный лиганд (отдельно существующий в виде жидкости с неприятным запахом и используемый как растворитель) в составе **B** – это пиридин, брутто-формула которого C_5H_5N . Тогда на анион ароматического дикарбоксилата остается брутто-формула $C_{12}H_6O_4$. Структурная формула пиридина и возможные структуры дикарбоксилата (с учетом мостиковой роли и необходимости сохранения bicyclic фрагментов в комплексе) подходят структуры где две карбокси-группы расположены в примерно противоположных местах молекулы нафталина) в составе **B** следующие:



6. В качестве таких лигандов могут быть приведены различные соединения на основе как пиридина, так и имидазола, и даже бензола. Следует учитывать доступность неподеленной пары электронов атома азота для участия в комплекссообразовании (отсюда она не должна участвовать в сопряжении с ароматическим кольцом), а также достаточное удаление двух групп мостикового лиганда друг от друга, чтобы соседние биядерные фрагменты, связанные мостиком, не испытывали сильное стерическое отталкивание. Примеры возможных структур:



Система оценивания:

1. Ответ на первый вопрос – **8 баллов** (по **2 балла** за формулы комплексов K_1 - K_4 , подтвержденные расчетами, если нет расчета – по **1 баллу** за правильную формулу).

2. Ответ на второй вопрос – **6 баллов** (по **0,5 балла** за электронную конфигурацию для двух ионов комплексообразователя каждого комплекса, кратность связи и число неспаренных электронов).

3. Ответ на третий вопрос – **3 балла** (по **0,5 балла** за правильную правильное указание наличия связи, **1 балл** за общее пояснение. *Примечание: ввиду того, что в комплекте заданий, выданных участникам, были перепутаны заголовки столбцов таблицы (металл и комплекс), ответ засчитывается в соответствии с цифрами в выданном комплекте заданий; либо, если участник хорошо знает химию и догадался о перепутанности столбцов, то балл выставляется в соответствии с авторским решением).*

4. Ответ на четвертый вопрос – **4 балла** (по **1 баллу** за правильные структуры дикарбоксилата и органического растворителя, **1 балл** за качественное описание пустот (оценивается любое разумное описание формы пустот), **1 балл** за указание неорганических молекул; в случае дикарбоксилата мета-изомер оценивается в **0,5 балла**, а орто – в **0 баллов**).

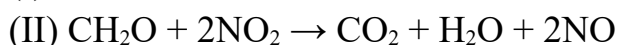
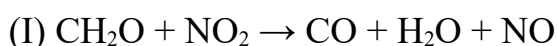
5. Ответ на пятый вопрос – **2 балла** (по **1 баллу** за структуры дикарбоксилата и лиганда L; структура дикарбоксилата оценивается только одна).

6. Ответ на пятый вопрос – **2 балла** (по **1 баллу** за структуру, оценивается не более двух подходящих под условие задачи структур).

ИТОГО: 25 баллов.

Задача 4. Как дела? СносNO

1. По описанному перечню продуктов можно записать следующие две реакции:



2. Выразим отношение скоростей в первой и второй строчках таблицы экспериментальных данных:

$$\frac{r_1}{r_2} = \frac{k[\text{NO}_2]_1^a [\text{CH}_2\text{O}]_1^b}{k[\text{NO}_2]_2^a [\text{CH}_2\text{O}]_2^b} = \frac{(3,74 \cdot 10^{-3})^a (4,67 \cdot 10^{-3})^b}{(3,74 \cdot 10^{-3})^a (1,31 \cdot 10^{-3})^b} = \left(\frac{4,67}{1,31}\right)^b = \frac{5,56 \cdot 10^{-5}}{1,56 \cdot 10^{-5}}$$

$$3,56^b = 3,56$$

Очевидно, **b = 1**.

Аналогично поступим с отношением скоростей в 1 и 3 наборе данных:

$$\frac{r_1}{r_3} = \frac{k[\text{NO}_2]_1^a [\text{CH}_2\text{O}]_1^b}{k[\text{NO}_2]_3^a [\text{CH}_2\text{O}]_3^b} = \frac{(3,74 \cdot 10^{-3})^a (4,67 \cdot 10^{-3})^b}{(9,38 \cdot 10^{-3})^a (6,33 \cdot 10^{-3})^b} = \left(\frac{3,74}{9,38}\right)^a \cdot \frac{4,67}{6,33} = \frac{5,56 \cdot 10^{-5}}{1,89 \cdot 10^{-4}}$$

$$(0,399)^a \cdot 0,738 = 0,294$$

Очевидно, **a = 1**.

Рассчитаем константы скорости при двух температурах исходя из определенных порядков.

$$k_{177} = \frac{r_1}{[\text{NO}_2]_1 [\text{CH}_2\text{O}]_1} = \frac{5,56 \cdot 10^{-5}}{3,74 \cdot 10^{-3} \cdot 4,67 \cdot 10^{-3}} = \mathbf{3,18 \text{ л/(моль}\cdot\text{с)}}$$

$$k_{157} = \frac{r_4}{[\text{NO}_2]_4 [\text{CH}_2\text{O}]_4} = \frac{1,37 \cdot 10^{-5}}{8,88 \cdot 10^{-3} \cdot 1,12 \cdot 10^{-3}} = \mathbf{1,38 \text{ л/(моль}\cdot\text{с)}}$$

3. Выразим отношение констант скорости при двух температурах, а затем из него – энергию активации. При расчетах температуры переведем в кельвины:

$$\frac{k_2}{k_1} = \frac{Ae^{\frac{-E_A}{RT_2}}}{Ae^{\frac{-E_A}{RT_1}}} = e^{\frac{E_A}{RT_1} - \frac{E_A}{RT_2}} = e^{\frac{E_A}{R} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right)}$$

$$\frac{E_A}{R} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right) = \ln \frac{k_2}{k_1}$$

$$E_A = \frac{RT_1 T_2}{T_2 - T_1} \ln \frac{k_2}{k_1} = \frac{8,314 \cdot 430 \cdot 450}{450 - 430} \ln \frac{3,18}{1,38} = 67149 \text{ Дж/моль} =$$

$$= \mathbf{67,1 \text{ кДж/моль.}}$$

4. В параллельных реакциях такого типа отношение числа образующихся в двух путях молекул продуктов равно отношению констант скорости, то есть:

$$\frac{k_2}{k_3} = \frac{[\text{CO}]}{[\text{CO}_2]} = 2 \Rightarrow k_2 = 2k_3$$

$$k_2 + k_3 = 3k_3 = 2,57 \cdot 10^{10} \text{ л/(моль} \cdot \text{с)}$$

$$k_3 = \mathbf{8,57 \cdot 10^9 \text{ л/(моль} \cdot \text{с)}}$$

$$k_2 = 2k_3 = \mathbf{1,71 \cdot 10^{10} \text{ л/(моль} \cdot \text{с).}}$$

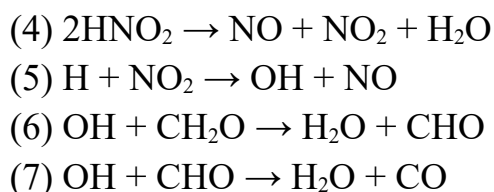
Согласно условию, константы скоростей этих реакций не зависят от температуры. Это значит, что энергии активации этих реакций равны нулю ($E_{A2} = E_{A3} = 0$), что видно и из уравнения Аррениуса, и из уравнения для $d(\ln k)/dT$, приведенного в условии.

5. Радикалы СНО образуются по реакции (1) со скоростью $r_1 = k_1[\text{CH}_2\text{O}][\text{NO}_2]$ и тратятся в реакциях (2) и (3) с суммарной скоростью $r_2 + r_3 = (k_2 + k_3)[\text{СНО}][\text{NO}_2]$. Для постоянства концентрации $[\text{СНО}]$ необходимо, чтобы скорость образования была равна скорости траты:

$$k_1[\text{CH}_2\text{O}][\text{NO}_2] = (k_2 + k_3)[\text{СНО}][\text{NO}_2]$$

$$[\text{СНО}] = \frac{k_1[\text{CH}_2\text{O}]}{k_2 + k_3} = \frac{1,5 \cdot 10^{-3}}{2,57 \cdot 10^{10}} = \mathbf{5,8 \cdot 10^{-14} \text{ моль/л.}}$$

6. Реакция распада азотистой кислоты на устойчивые продукты аналогична её разложению в растворе. Остальные стадии конструируются по описанию в условии:



7. Выразим логарифм константы скорости, затем, пользуясь уравнением из условия, продифференцируем его по температуре и выразим энергию активации.

$$\ln k = \ln(3 \cdot 10^9) + \ln(T^{1,27}) + \ln\left(e^{-\frac{1330}{T}}\right) = 21,82 + 1,27 \ln T - \frac{1330}{T}$$

$$\frac{d \ln k}{dT} = \frac{1,27}{T} + \frac{1330}{T^2}$$

$$E_A = RT^2 \left(\frac{1,27}{T} + \frac{1330}{T^2} \right) = 1,27 RT + 1330 R$$

При 298 К:

$$E_A = 1,27 \cdot 8,314 \cdot 298 + 1330 \cdot 8,314 = 14204 \text{ Дж/моль} = \mathbf{14,2 \text{ кДж/моль}}.$$

Система оценивания:

1. Уравнения 2 реакций – по **1 баллу**. Всего – **2 балла**.
2. Порядки a и b , k при двух температурах – по **1 баллу**. Всего – **4 балла**.
3. Значение энергии активации – **3 балла**. Ответ без приведенного решения и расчета – **0 баллов**; верное решение и расчет, полученное исходя из неверных значений из п.2 – **полный балл**.
4. Значения 2 констант скорости и 2 энергий активации – по **1 баллу**. Всего – **4 балла**. Ответ без решения или обоснования – **0 баллов**.
5. Значение концентрации – **3 балла**. Ответ без приведенного решения и расчета – **0 баллов**.
6. Уравнения реакций (4)–(7) – по **1 баллу**. Всего – **4 балла**.
7. Выражение для энергии активации через температуру – **3 балла**. Значение энергии активации при 298 К – **2 балла**. Всего – **5 баллов**.

ИТОГО: 25 баллов.