



Министерство науки и высшего образования РФ
ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет»
Химический институт им. А.М. Бутлерова

**МЕЖРЕГИОНАЛЬНАЯ ПРЕДМЕТНАЯ ОЛИМПИАДА
КАЗАНСКОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО УНИВЕРСИТЕТА
ПО ПРЕДМЕТУ «ХИМИЯ»**

Очный тур

2025-2026 учебный год

Задания для 10 и 11 классов

Казань – 2026

Содержание:

10 класс.....	3
11 класс.....	10

Рекомендации

Максимальный балл за каждую задачу – 25.

При решении расчётных задач используйте численные значения с точностью до четырёх значащих цифр. Особенно это касается относительных **атомных масс**, которые рекомендуется использовать **с точностью до сотых**.

Успехов!

Курамшин Б.К.

Полезные константы и уравнения

$$pV = nRT, R = 8.314 \text{ Дж}/(\text{моль}\cdot\text{К})$$

$$1 \text{ атм} = 760 \text{ мм рт. ст.} = 101325 \text{ Па}$$

$$1 \text{ эВ} = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$$

$$N_A = 6.022 \cdot 10^{23}$$

$$F = 96485 \text{ Кл/моль}$$

$$\Delta_r G^\circ = -RT \ln K = \Delta_r H^\circ - T \Delta_r S^\circ$$

10 класс

Задача 1. Изoeлектронность не порок

— Сэр, вы зарегистрированы как человек?

— Никак нет, я всего лишь страус Эму.

При сгорании на воздухе простого вещества **X** (соответствующий элемент также будем обозначать буквой **X**) образуется белое вещество **A**, реагирующее с водой с образованием кислоты **B** (*реакция 1*). **B** при нагревании превращается в слоистое вещество **B** ($w(\text{X}) = 24.67\%$) (*реакция 2*; потеря массы равна 29.14%). При больших температурах **B** превращается в **A** с потерей массы 20.56% (*реакция 3*). При пропускании углекислого газа через раствор натриевой соли кислоты **B** (вещество **B**₁, содержит тетраэдрический однозарядный анион) в растворе может образовываться несколько анионов одинакового качественного состава **Г**₁, **Г**₂ и **Г**₃ (отношения молярной массы к заряду равны 82.73; 95.63; 218.07 соотв.). При электролизе раствора **B**₁ из раствора можно выделить соединение **Д** ($w(\text{Na}) = 23.03\%$) (*реакция 4*), не содержащее кристаллизационной воды.

1. Определите неизвестные вещества **X**, **A**, **B**, **B**₁, **B**, **Г**₁, **Г**₂, **Г**₃, ответ подтвердите расчетом. Напишите уравнения *реакций 1-4*.

2. Изобразите структуры анионов **Г**₁ – **Г**₃ и аниона в соединении **Д**. Известно, что **Г**₁ и **Д** содержат один, а **Г**₂ и **Г**₃ – два шестичленных цикла.

При реакции высшего галогенида **X**, вещества **E**, с металлической медью в электрическом разряде было получено соединение **Ж**, которое при нагревании при разных температурах может превращаться в три различных соединения **З**₁, **З**₂ и **З**₃ кластерного строения, имеющих одинаковый качественный и количественный состав ($w(\text{X}) = 23.37\%$). **З**₁, **З**₂ и **З**₃ содержат 8, 16 и 18 скелетных (участвующих в образовании кластера) электронов, соответственно. При этом **З**₁ содержит суммарно 88 электронов в молекуле.

3. Определите неизвестные вещества **E**, **Ж**, **З**₁, **З**₂, **З**₃.

4. Предположите формы кластеров (достаточно названий) **З**₁, **З**₂ и **З**₃, зная, что **З**₁ имеет ось симметрии третьего порядка, полиэдр в **З**₂ содержит 12 треугольных граней, а **З**₃ имеет ось симметрии 4-го порядка.

В 2018 году было описано несколько неустойчивых частиц схожего строения, полученных лазерной абляцией (испарением) простого вещества **X** в атмосфере бинарного газа **И** ($D_{\text{возд.}} = 0.966$), имеющих строение, аналогичное

простым органическим молекулам. Ниже приведена таблица, описывающая некоторые из них.

	$w(\text{X})$	Заряд	Число плоскостей симметрии	Число осей симметрии	Центр инверсии
Y_1	27.85%	0	∞	∞	есть
Y_2	27.85%	+1	4	4	нет
Y_3	22.45%	+1	2	3	нет
Y_4	18.80%	+1	2	1	нет

5. Определите неизвестные частицы $\text{Y}_1 - \text{Y}_4$ и формулу **И**, изобразите структурные формулы $\text{Y}_1 - \text{Y}_4$, если известно, что они содержат не более трех атомов **X** в своем составе. Подберите к каждому по одному аналогу в привычной органической химии.

Дополнительная информация:

- Плоскость симметрии – это плоскость, которая делит объект на две одинаковые, зеркально отраженные относительно плоскости половины.
- Ось симметрии n -го порядка – это ось, вокруг которой фигуру можно повернуть на угол $360^\circ/n$, и в результате поворота она совместится сама с собой; в таблице учитываются все оси второго и более порядков.
- Центр инверсии – это точка, относительно которой каждая точка фигуры имеет симметричную пару (например, центр окружности или точка пересечения диагоналей квадрата).

Задача 2. Свинка полицейский

Вещество **A** образует оранжево-желтые кристаллы и легко возгоняется. Оно ядовито, как и многие вещества из этой задачи. При реакции **A** с раствором простого вещества **X** в CS_2 образуется в основном продукт **B**, иногда может происходить образование оранжевых кристаллов **C**, причем в превращениях $\text{A} \rightarrow \text{B} \rightarrow \text{C}$ на каждой стадии число атомов элемента, образующего **X**, растёт на 1. **C** так же может быть препаративно получено из **B** в две стадии. Сначала **B** растворяют в пиперидине ($\text{C}_5\text{H}_{10}\text{NH}$) и получают соединение **Y** ($w(\text{C}) = 18.08\%$), в состав которого входит бициклический анион. Затем на **Y** следует подействовать небольшим количеством кислоты, например, HCl (*реакция 1*). При этом выделяется дурно пахнущий газ **Z** и образуется вещество **C**. Вещества **B** и **C** тоже легко возгоняются: плотность паров **C** по **B** равна 1.075.

1. Определите вещества **A-C**, **X**, **Y**, **Z**. Напишите уравнение *реакции 1*.

2. Изобразите структуры веществ **A** и **B**, аниона **Y**. Для **B** изобразите два изомера.

Если в **C** заменить атомы элемента **Ы**, проявляющего нечетную валентность в **C**, на его более легкого соседа по таблице Менделеева **Ъ**, получится соединение **Q**. Однако, вследствие различий между этими элементами, для него предпочтительнее другая структура. Так, в **C** только одна связь **Ы-Ы**, а в **Q** две связи **Ъ-Ъ**.

3. Какое отличие элементов-соседей приводит к разным структурам **C** и **Q**? В каких еще процессах это проявляется (приведите пример химической реакции, где эти элементы ведут себя по-разному)?

4. Изобразите структуры **C** и **Q**. Если под условие задачи подходит несколько изомеров, приведите один из них.

Соединение **D** имеет такой же качественный состав, как и **A**, однако обладает большей устойчивостью. В твердом состоянии оно состоит из слоев, образованных двенадцатичленными циклами. При нагреве оно тоже может возгоняться. **D** нерастворимо в воде, но растворяется в концентрированном горячем растворе NaOH (*реакция 2*), как и вещества **A** – **C** (для **A** – *реакция 3*). **A** – **D** растворимо также в горячей концентрированной HNO₃ (для **A** – *реакция 4*).

5. Определите вещество **D**. Запишите уравнения *реакций 2 – 4*.

6. Изобразите структуру **D** в газовой и твердой фазе (для твердой фазы изобразите строение слоя).

Вещество **B** может выступать в роли лиганда, однако его комплексы с переходными металлами были получены лишь недавно. Вещество **U** – аддукт **B** и соли **F**. Его кристаллическая решетка имеет параметры: $a = 9.433 \text{ \AA}$, $b = 14.986 \text{ \AA}$, $c = 11.624 \text{ \AA}$; $\alpha = \gamma = 90^\circ$, $\beta = 127.72^\circ$, $Z = 2$, а плотность составляет 4.509 г/см^3 . В узлах решетки расположены молекулы димерного аддукта, в которых атом металла имеет КЧ 5, а также есть четырехчленный цикл, содержащий два атома металла.

7. Определите вещества **U** и **F**.

8. Изобразите структурные единицы, расположенные в узлах решетки **U**.

Задача 3. Напряженная химия

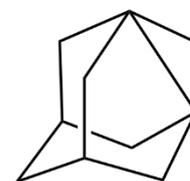
Пропелланы – углеводороды с чрезвычайно необычной структурой, содержащей 2 атома углерода, связанные одинарной связью, образуют три мостика из одной или нескольких мостиковых групп CH_2 . Впервые простейший [1.1.1]-пропеллан был получен в 1982 году, хотя он считался одной из «невозможных» органических молекул из-за наличия в структуре двух атомов углерода, образующих 4 связи, расположенных по одну сторону от плоскости.



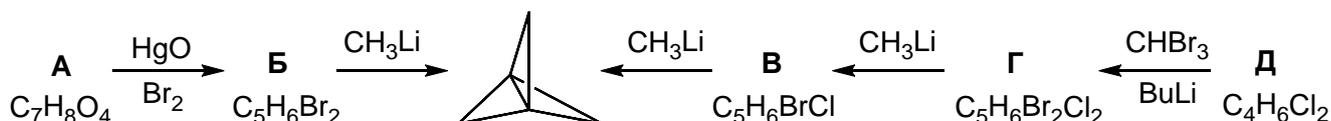
[1.1.1]-пропеллан

1. Цифры в квадратных скобках означают число CH_2 -групп в каждом из трёх мостиков. Приведите названия одного пропеллана, в котором 4 связи также расположены по одну сторону от плоскости, и одного пропеллана, в котором это не так.

2. 1,3-дегидроадамантан (структура изображена на рисунке) содержит фрагмент одного из пропелланов. Укажите название, какого именно.

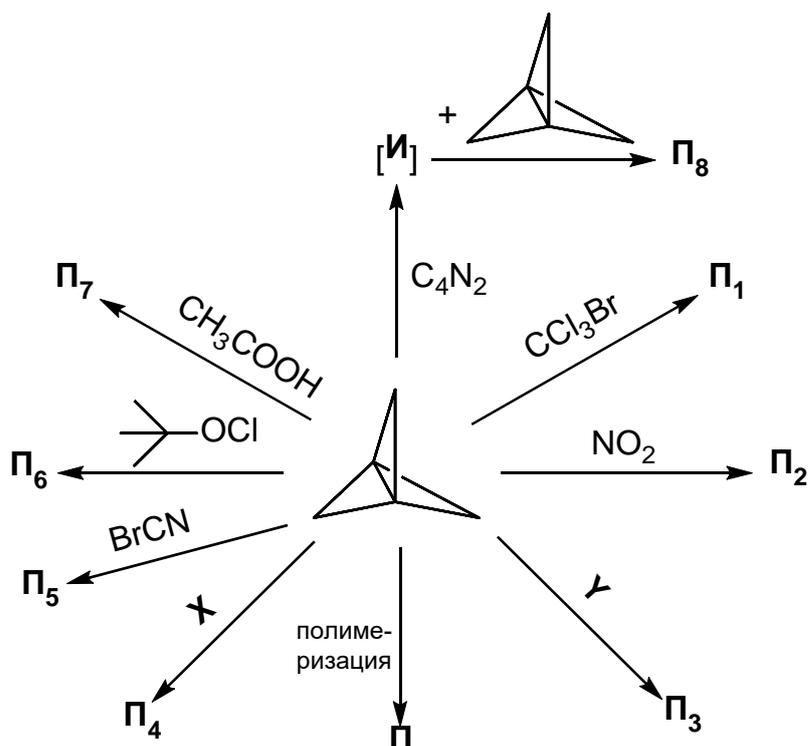


[1.1.1]-пропеллан синтезируется одним из двух способов:



3. Изобразите структурные формулы А – Д.

Вследствие своей геометрии в [1.1.1]-пропеллане центральная связь отличается от остальных: например, она очень длинная (1.6 Å!). Центральная связь С-С [1.1.1]-пропеллана ослаблена и образуется перекрыванием двух «чистых» p -орбиталей, остальные С-С связи можно считать образующимися из гибридов орбиталей углерода. Вследствие этого центральная связь легко разрывается в реакциях, некоторые из которых представлены на схеме ниже. При образовании продуктов П₁ – П₆ и полимера П реакции идут, предположительно, по радикальному механизму, а продуктов П₇, П₈ и недолгоживущего промежуточного интермедиата И – по ионному. Среди реакций образования П₁ – П₆ только в случае П₅ идет процесс из более чем двух простых стадий и образующийся П₅ имеет молярную массу 238 г/моль. Реагент C_4N_2 , использующийся при получении И и П₈ – динитрил ацетилендикарбоновой кислоты.



Дополнительно известно, что:

- **X** присоединяется связью P–H и содержит 16.64% фосфора по массе;
- **Y** присоединяется связью Se–Se, и **П₃** содержит 41.76% Se по массе;
- образование **П₇** происходит через присоединение H⁺, последующую миграцию катиона с алкильным сдвигом и присоединением CH₃COO⁻ к образовавшемуся катиону; **П₇** содержит одну двойную связь C=C и только один цикл;
- образование **И** происходит аналогично образованию **П₇**, однако в процессе замыкается новый трёхчленный цикл;
- образование **П₈** происходит аналогично **И**, однако в процессе разрывается трёхчленный цикл, и **П₈** содержит только два цикла, оба из которых четырехчленные.

4. Изобразите структурные формулы **X**, **Y**, C₄N₂, **П**, **П₁** – **П₈**.

Задача 4. Альфа бета бета штрих

Спектральные методы анализа основаны на характеристиках процесса взаимодействия электромагнитного излучения и вещества. Один из них, спектрофотометрия, является важным методом определения как неорганических, как и органических веществ. Уравнение Бугера-Ламберта-Бера является основным уравнением, используемым в спектрофотометрии:

$$I = I_0 \cdot 10^{-\varepsilon lc},$$

Где I_0, I – интенсивность потока монохроматического излучения, первоначального и прошедшего через раствор, соответственно; ε – коэффициент поглощения или экстинкции [$\text{л} \cdot \text{моль}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$]; l – длина оптического пути; c – концентрация.

При регистрации спектров поглощения измеряют пропускание T :

$$T = \frac{I}{I_0}$$

Или оптическую плотность A :

$$A = \lg \frac{I_0}{I}$$

1. Выразите A а) через $\varepsilon l c$; б) через T .

2. Раствор поглощает 30% падающего излучения. Какова его оптическая плотность?

Содержание железа в сплаве марганца можно определить спектрофотометрически. Так как ионы железа слабо окрашены, для данного метода используется его комплекс с 1,10-фенантролином. Первый шаг анализа – выбор оптимальной длины волны. Для этого отвесили 0.500 г железа, растворили в смеси азотной, фтороводородной и серной кислот количественно, перенесли в колбу на 1000 мл и довели раствор до метки. Далее отобрали аликвоту объемом 0.5 мл, перенесли в колбу на 100 мл, добавили избыток раствора 1,10-фенантролина и довели раствор до метки. Измерив оптическую плотность ($l = 1$ см) при разных длинах волн, получили следующие значения:

λ , нм	460	470	480	490	500	510	520	530	540	550
A	0.356	0.387	0.418	0.441	0.464	0.470	0.462	0.443	0.410	0.367

3. При какой длине волны оптимально проводить измерения? Рассчитайте коэффициент экстинкции при данной длине волны.

Образец марганца с примесями железа массой 0.445 г растворили в колбе на 100 мл, добавили избыток 1,10-фенантролина и довели до метки. Аликвоту объемом 3 мл перенесли в другую мерную колбу на 50 мл и довели до метки.

Измерение проводили в кювете с $l = 2$ см. Пропускание полученного раствора составило 19.7%.

4. Рассчитайте массовую долю железа в образце.

Величина A является аддитивной, то есть при поглощении света несколькими веществами в растворе их оптические плотности суммируются. Это позволяет использовать метод спектрофотометрии при анализе многокомпонентных систем.

При измерении оптической плотности раствора хлороформа, содержащего органические комплексы меди, кобальта и никеля (которые имеют, соответственно, зеленый, красный и фиолетовый цвета) в неизвестных концентрациях, при трех длинах волн (380 нм, 550 нм и 700 нм) были получены следующие значения поглощения (длина оптического пути 1 см): $A_{380} = 0.830$, $A_{550} = 0.570$, $A_{700} = 0.410$.

Также для каждого иона был получен набор коэффициентов экстинкции при всех длинах волн, но незадачливый лаборант не запомнил, каким металлам соответствуют полученные значения.

ϵ_{λ} , л·моль ⁻¹ ·см ⁻¹	вещество 1	вещество 2	вещество 3
ϵ_{380}	1240	15110	9800
ϵ_{550}	15350	2120	15560
ϵ_{700}	25210	8540	1480

5. Соотнесите вещества **1-3** с металлами, входящими в их состав.

6. Определите концентрацию каждого комплекса.

Для определения константы диссоциации протонированной формы органического красителя в воде были проведены измерения значений поглощения при $\lambda = 455$ нм трех растворов: анализируемого раствора при рН = 8 ($A = 0.744$); раствора, содержащего краситель практически полностью в протонированной форме ($A(\text{HR}) = 0.110$) и раствора, в котором краситель был практически полностью диссоциирован ($A(\text{R}^-) = 0.820$).

7. Рассчитайте константу диссоциации HR.

11 класс

Задача 1. Ах, миллимоль, миллимоль!

Юный химик Ибрагим часто ошибался в простых угадках, поэтому его преподаватель изматывал его тренировками, чтобы навык его разрабатывался, а число ошибок падало.

Сегодня Ибрагим получил следующие шесть угадаек:

№1. Бинарные соединения меди **А** и **Б** количеством 1 ммоль при растворении в концентрированной серной кислоте выделяют 128.5 и 102.8 мл удушливого газа (при н.у.), соответственно. **А** и **Б** имеют схожий состав и окраску, и отличаются лишь неметаллом, входящим в их состав (оба неметалла находятся в одной группе). Определите **А** и **Б**, запишите 2 описанные реакции.

№2. Твёрдое четырёхэлементное ионное белое вещество **В** при нагревании разлагается с образованием черного твердого остатка, составляющего 9.84% от исходной массы **В**, и газовой смеси с плотностью по воздуху 0.759, уменьшающейся в объёме в 2.5 раза при охлаждении ниже 100°C. Определите формулу **В**, изобразите структурную формулу катиона и аниона **В**.

№3. Твёрдое вещество **Г** образуется по реакции соединения из газов **Д** и **Е**. При сжигании 1.000 **Г** в кислороде образуется белое твердое вещество, 645 мг воды и 1.052 г углекислого газа. Определите формулы **Г**, **Д**, **Е**, изобразите их структурные формулы.

№4. При растворении 1 ммоль бинарного молекулярного вещества **Ж** в концентрированной азотной кислоте выделяется 46 ммоль бурого газа **З**. В растворе образуется только одно новое вещество. Определите **Ж**, **З**, запишите уравнение реакции. Изобразите структурные формулы **Ж** и **З** (для **З** – одну любую резонансную структуру).

№5. Бинарное вещество **И** количеством 1 ммоль способно прореагировать с 1.833 ммоль KClO_3 при сплавлении в KOH (которого, согласно стехиометрии реакции, требуется 5 ммоль, но и щелочь, и хлорат берут в реальном процессе в избытке). При выщелачивании всего плава водой образуется желтый раствор. При подкислении этого раствора и реакции с избытком KI выделяется 1.5 ммоль I_2 . Определите вещество **И**, запишите уравнение реакции его вскрытия хлоратом калия.

Помогите Ибрагиму решить его сегодняшний тренировочный лист угадаек!

Задача 2. В.И., а что такое палиндром?

*Я ел мясо лося, млея...
Рвал Эол алоэ, лавр...
Те ему: «Ого! Умеет
рвать!» Он им: «Я — минотавр!».*

В. Набоков

Серебристый металл **A** растворяется в царской водке с образованием соединения **X1** (*реакция 1*). При обработке полученного раствора хлоридом аммония образуются красные кристаллы **X2**. Пиролизом этого соединения можно получить красный порошок **X3**, при прокаливании на воздухе превращающийся в зелёный порошок **X4** (*реакция 2*). Длительным кипячением **A** в концентрированной серной кислоте и кристаллизацией из разбавленного раствора можно получить жёлтое вещество **B** (содержит 56.53% кислорода по массе). Все эти соединения содержат металл **A** в одной степени окисления – самой характерной для него.

1. **X4** содержит атомы двух элементов, из которых один имеет в структуре КЧ 4, а другой – КЧ 6. Плотность **X4** составляет 8.18 г/см³. Объём одной элементарной ячейки равен 103.047 Å³. Определите формулу **X4** и число формульных единиц в одной элементарной ячейке **X4** (*Z*). Приведите расчет.

2. Определите формулы **X1**, **X2**, **X3**, **B**, запишите уравнения *реакций 1 – 2*.

Следующие соединения содержат металл в иных степенях окисления.

Воздействием трифенилфосфина на водный раствор **X3** получают красно-коричневое **X5** (*реакция 3*), представляющее собой 16-электронный нейтральный комплекс. Реакцией горячего метанольного раствора **X3** с ацетатом натрия можно получить зелёно-голубые кристаллы **X6** (*реакция 4*). Из расплава, полученного экстремальным нагреванием смеси **X4**, Sr(OH)₂·8H₂O и LiOH·H₂O на воздухе получают чёрные кубические кристаллы соединения **X7** (*реакция 5*). **X7** при нагревании в концентрированной соляной кислоте растворяется и выделяет газ (*реакция 6*). При пропускании тока NF₃ в аргоне над порошком **A**, нагреваемым диодным лазером, можно получить газ **X8**, конденсирующийся в коричневую жидкость и при нагревании теряющий 26.3% массы. При пропускании CO через водный раствор **X6** можно получить фиолетово-красные кристаллы **X9**. **X9** теряет 42.1% массы при нагревании без доступа воздуха.

Для количественного анализа некоторых соединений была использована следующая методика:

- 300 мг исследуемого вещества нагревали с 1 мл концентрированной серной кислоты;

- Полученный раствор фильтровали, разбавляли до объёма в 10 мл и отбирали аликвоту 0,5 мл;
- К аликвоте добавляли 2 мл концентрированной соляной кислоты и нагревали раствор до кипения;
- Пропускали сероводород до прекращения выделения осадка, прокаливали осадок на воздухе и взвешивали полученный порошок.

Численные результаты анализа приведены в таблице ниже:

Вещество	Масса полученного порошка, мг
X6	7.52
X7	4.06

3. Определите соединения **X5-X9**, запишите уравнения *реакций 3 – 6*.

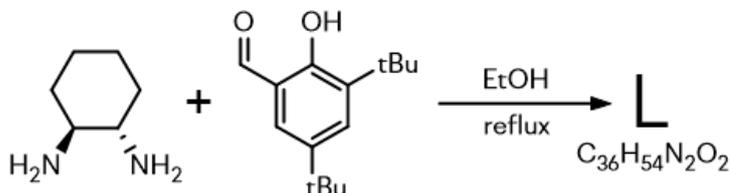
4. Предскажите строение **X9**, воспользовавшись правилами Уэйда и зная, что все атомы металла в этой частице имеют идентичное координационное окружение, а типов атомов углерода в этой частице всего два.

Формула, описывающая количество валентных электронов в частице	Геометрия полиэдра в частице
$12n + 2(n - 2)$	Двухшпичный правильный полиэдр с $n - 2$ вершинами
$12n + 2n$	Одношпичный правильный полиэдр с $n - 1$ вершинами
$12n + 2(n + 1)$	Правильный полиэдр с n вершинами
$12n + 2(n + 2)$	Правильный полиэдр с $n + 1$ вершинами, лишённый 1 вершины
$12n + 2(n + 3)$	Правильный полиэдр с $n + 2$ вершинами, лишённый 2 вершин
$12n + 2(n + 4)$	Правильный полиэдр с $n + 3$ вершинами, лишённый 3 вершин
$12n + 2(n + 5)$	Правильный полиэдр с $n + 4$ вершинами, лишённый 4 вершин

5. Приведите палиндром, имеющий большее отношение к теме задачи, чем приведённый в эпиграфе.

Задача 3. Гнусная семейка

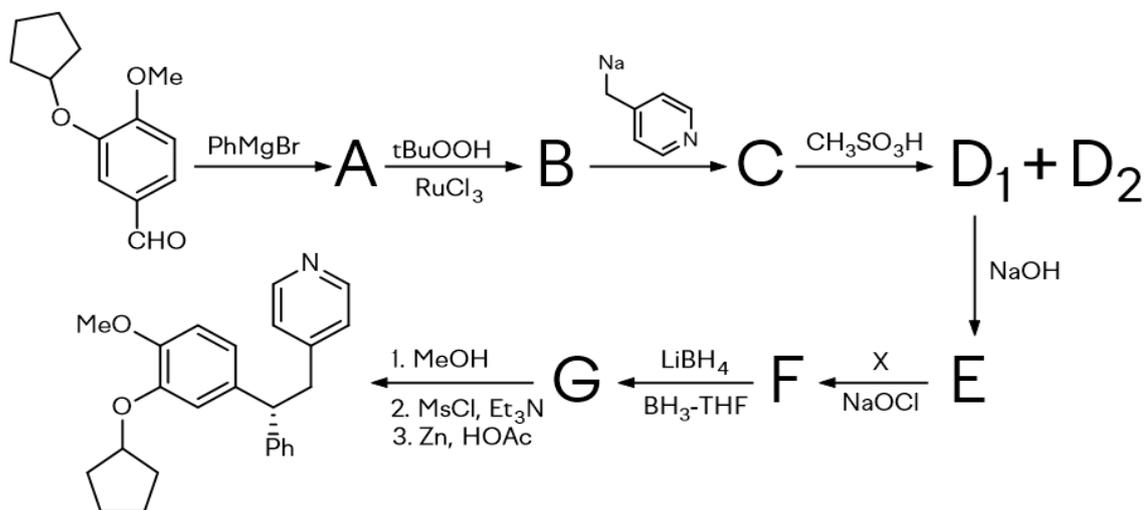
Комплексы с лигандами одного семейства активно применяются в современном органическом синтезе. Получить их можно по схожей схеме. Все начинается с получения лиганда по реакции, приведенной ниже:



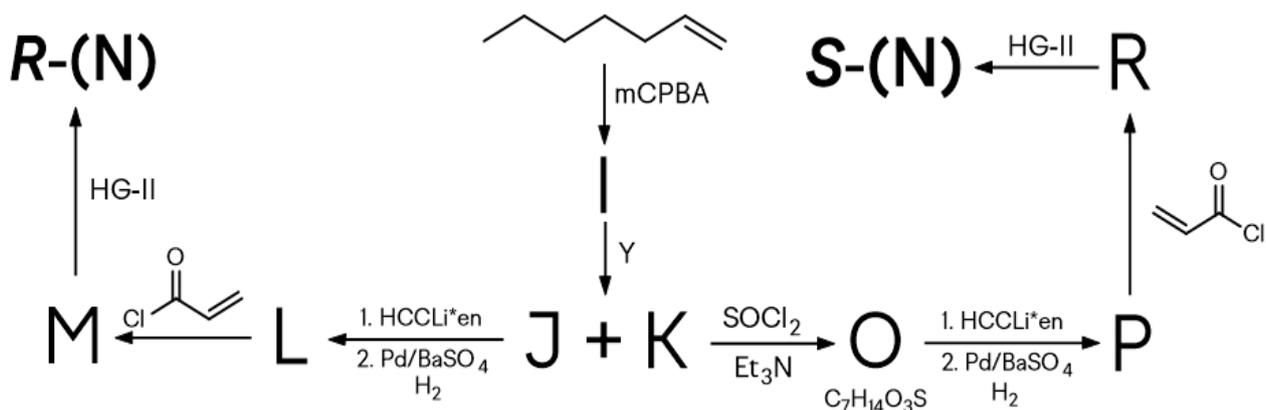
Затем к соединению металла добавляют лиганд, и выделяют продукт. Результаты объединены в таблицу ниже:

комплекс	лиганд	условия	прекурсор
X	L	O ₂ , затем LiCl	Бледно-розовый ацетат
Y	L	O ₂ , затем AcOH	Красно-фиолетовый ацетат
Z	L	Горячий водный EtOH, O ₂	Ярко-синий сульфат

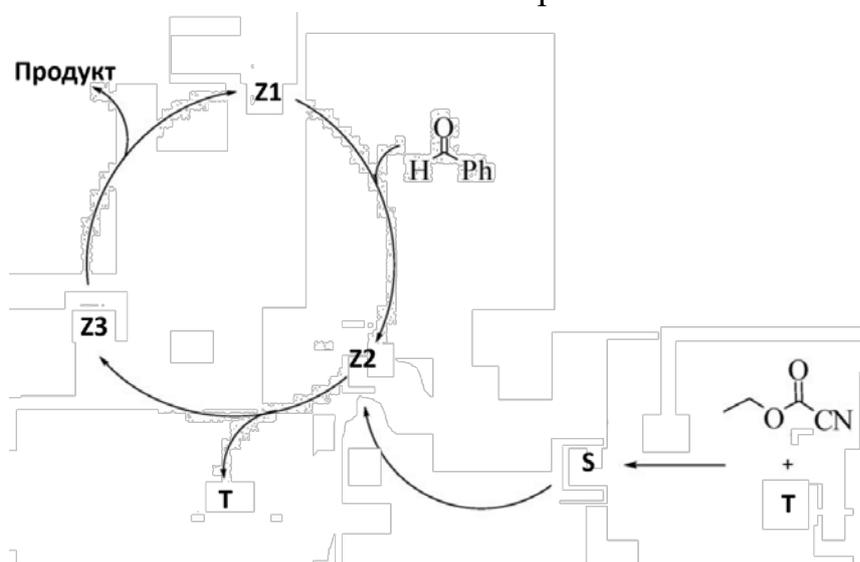
Самый частый гость в препаративных методиках – комплекс **X**. Например, с его помощью в промышленности получают CDP840 – лекарственное соединение класса нейропротекторов:



Комплекс **Y** тоже можно использовать для получения биоактивных веществ:



Последний из комплексов, **Z**, немного экзотичнее и реакцию катализирует странную. Её ближайший аналог – образование циангидринов карбонильных соединений, однако её механизм значительно интереснее.



Для проведения реакции **Z** растворяют в сухом дихлорметане, что сопровождается дегидратацией с образованием координационно ненасыщенного **Z1**, добавляют реагенты и органическое основание **T** (содержит 52.93% углерода и 41.15% азота). На первой стадии образуется аддукт **S**, который можно считать ионным соединением, который затем быстро превращается в конечное соединение.

1. Определите **L** и комплексы **X**, **Y** и **Z**, если известно, что все неорганические исходники – кристаллогидраты и содержат только двухзарядные катионы. Массовые доли металлов в них равны соответственно 22.41%, 23.66% и 23.47%. Противоион в **Z** однозарядный и содержит даёт пик с $m/z = 29$ в масс-спектре.

2. Для получения **L** вместо амина иногда берут его тартрат. Чем обусловлен такой выбор противоиона?

3. Изобразите структуры веществ всех неизвестных органических соединений. **D1** и **D2** – изомеры. HG-II – катализатор Хувейды-Граббса – вещество, позволяющее провести метатезис алкенов.

Параметры кривой Морзе для молекул водорода, хлора и хлороводорода приведены в таблице:

Молекула	А	В	С
$D_e / \text{эВ}$	2.50	4.43	4.55
$r_e / \text{Å}$	1.99	1.27	0.74
$\alpha / \text{Å}^{-1}$	1.60	2.04	1.93

4. Установите, какой столбец соответствует каждой из молекул. Ответ обоснуйте.

5. Рассчитайте по имеющимся данным изменение энтальпии реакции образования хлороводорода из простых веществ (в кДж/моль).

Если известен функциональный вид зависимости энергии от расстояния, можно вычислить общую силу, действующую на две объекта.

6. Учитывая, что сила определяется как

$$F = -\frac{dU(r)}{dr}$$

получите математическое выражение для силы взаимодействия частиц как функции расстояния и укажите, при каких значениях r преобладает притяжение, а при каких – отталкивание.

Математическое выражение для кривой Морзе достаточно сложно для проведения высокопроизводительных расчётов, когда компьютер обрабатывает информацию о десятках и сотнях связей. Поэтому кривую Морзе в области минимума часто аппроксимируют параболой:

$$U(r) = a + b \cdot (r - r_e) + c \cdot (r - r_e)^2$$

7. Считая, что такая аппроксимация допустима при $U \leq 1/4U_e$, установите величины коэффициентов параболы для С из вопроса 4 и рассчитайте относительную ошибку расчёта энергии, которую даёт такая аппроксимация при $r = 2r_e$.

ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЙ РЯД НАПРЯЖЕНИЙ МЕТАЛЛОВ

Li, Rb, K, Cs, Ba, Sr, Ca, Na, Mg, Be, Al, Mn, Zn, Cr, Fe, Cd, Co, Ni, Pb, (H), Bi, Cu, Hg, Ag, Pd, Pt, Au

РАСТВОРИМОСТЬ СОЛЕЙ, КИСЛОТ И ОСНОВАНИЙ В ВОДЕ

анион катион	OH ⁻	NO ₃ ⁻	F ⁻	Cl ⁻	Br ⁻	I ⁻	S ²⁻	SO ₃ ²⁻	SO ₄ ²⁻	CO ₃ ²⁻	SiO ₃ ²⁻	PO ₄ ³⁻	CH ₃ COO ⁻
H ⁺		P	P	P	P	P	P	P	P	P	H	P	P
NH ₄ ⁺	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	–	P	P
K ⁺	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P
Na ⁺	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P
Ag ⁺	–	P	P	H	H	H	H	H	M	H	–	H	P
Ba ²⁺	P	P	M	P	P	P	P	H	H	H	H	H	P
Ca ²⁺	M	P	H	P	P	P	M	H	M	H	H	H	P
Mg ²⁺	H	P	M	P	P	P	M	H	P	H	H	H	P
Zn ²⁺	H	P	M	P	P	P	H	H	P	H	–	H	P
Cu ²⁺	H	P	P	P	P	–	H	H	P	–	–	H	P
Co ²⁺	H	P	P	P	P	P	H	H	P	H	–	H	P
Hg ²⁺	–	P	–	P	M	H	H	–	P	–	–	H	P
Pb ²⁺	H	P	H	M	M	H	H	H	H	H	H	H	P
Fe ²⁺	H	P	P	P	P	P	H	H	P	H	H	H	P
Fe ³⁺	H	P	P	P	P	–	–	–	P	–	–	H	P
Al ³⁺	H	P	P	P	P	P	–	–	P	–	–	H	P
Cr ³⁺	H	P	P	P	P	P	–	–	P	–	–	H	P
Sn ²⁺	H	P	H	P	P	M	H	–	P	–	–	H	P
Mn ²⁺	H	P	P	P	P	P	H	H	P	H	H	H	P

P – растворимо, **M** – малорастворимо (< 0,1 M), **H** – нерастворимо (< 10⁻⁴ M), – – не существует или разлагается водой

ПЕРИОДИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ЭЛЕМЕНТОВ Д. И. МЕНДЕЛЕЕВА

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
1	1 H 1.008																	2 He 4.0026	
2	3 Li 6.941	4 Be 9.0122											5 B 10.811	6 C 12.011	7 N 14.007	8 O 15.999	9 F 18.998	10 Ne 20.180	
3	11 Na 22.990	12 Mg 24.305											13 Al 26.982	14 Si 28.086	15 P 30.974	16 S 32.066	17 Cl 35.453	18 Ar 39.948	
4	19 K 39.098	20 Ca 40.078	21 Sc 44.956		22 Ti 47.867	23 V 50.942	24 Cr 51.996	25 Mn 54.938	26 Fe 55.845	27 Co 58.933	28 Ni 58.693	29 Cu 63.546	30 Zn 65.39	31 Ga 69.723	32 Ge 72.61	33 As 74.922	34 Se 78.96	35 Br 79.904	36 Kr 83.80
5	37 Rb 85.468	38 Sr 87.62	39 Y 88.906		40 Zr 91.224	41 Nb 92.906	42 Mo 95.94	43 Tc 98.906	44 Ru 101.07	45 Rh 102.91	46 Pd 106.42	47 Ag 107.87	48 Cd 112.41	49 In 114.82	50 Sn 118.71	51 Sb 121.75	52 Te 127.60	53 I 126.91	54 Xe 131.29
6	55 Cs 132.91	56 Ba 137.33	57 La 138.91	*	72 Hf 178.49	73 Ta 180.9	74 W 183.84	75 Re 186.21	76 Os 190.23	77 Ir 192.22	78 Pt 195.08	79 Au 196.97	80 Hg 200.59	81 Tl 204.38	82 Pb 207.20	83 Bi 208.98	84 Po [209]	85 At [210]	86 Rn [222]
7	87 Fr [223]	88 Ra [226]	89 Ac [227]	**	104 Rf [265]	105 Db [268]	106 Sg [271]	107 Bh [270]	108 Hs [277]	109 Mt [276]	110 Ds [281]	111 Rg [280]	112 Cn [285]	113 Nh [284]	114 Fl [289]	115 Mc [288]	116 Lv [293]	117 Ts [294]	118 Og [294]

*	58 Ce 140.12	59 Pr 140.91	60 Nd 144.24	61 Pm [145]	62 Sm 150.36	63 Eu 151.96	64 Gd 157.25	65 Tb 158.93	66 Dy 162.50	67 Ho 164.93	68 Er 167.26	69 Tm 168.93	70 Yb 173.04	71 Lu 174.97
**	90 Th 232.04	91 Pa 231.04	92 U 238.029	93 Np [237]	94 Pu [242]	95 Am [243]	96 Cm [247]	97 Bk [247]	98 Cf [251]	99 Es [252]	100 Fm [257]	101 Md [258]	102 No [259]	103 Lr [262]