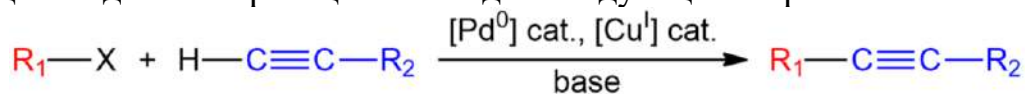


## Химия 10 класс. Вариант 1

Во всех задачах необходимо привести полное обоснованное решение.

### Задание 1. E pluribus unum. (16 баллов)

Реакция Соногаширы – это реакция кросс-сочетания арил- и винилгалогенидов (как правило, иодидов, бромидов или хлоридов, но не фторидов) с терминальными алкинами (алкинами с концевой тройной связью), катализируемая соединениями  $\text{Pd}^0$  и  $\text{Cu}^I$  в присутствии оснований. В общем виде схема реакции выглядит следующим образом:



$\text{R}_1$  – арил или винил.

$\text{R}_2$  – арил, винил, алкил,  $\text{Si}(\text{CH}_3)_3$  и др.

$\text{X} = \text{I}, \text{Br}, \text{Cl}, \text{OTf}$  (трифлат –  $\text{CF}_3\text{—SO}_3^-$ ).

$[\text{Pd}^0] \text{ cat.}$  – катализатор на основе комплексов  $\text{Pd}^0$  (как правило, с фосфиновыми лигандами; часто образуется *in situ* из солей  $\text{Pd}^{2+}$ ).

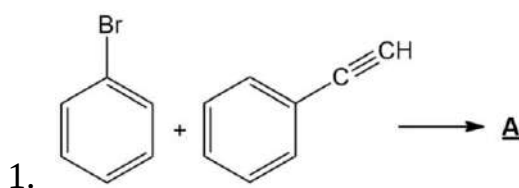
$[\text{Cu}^I] \text{ cat.}$  – сокатализатор на основе  $\text{Cu}^I$ : как правило,  $\text{CuI}$ .

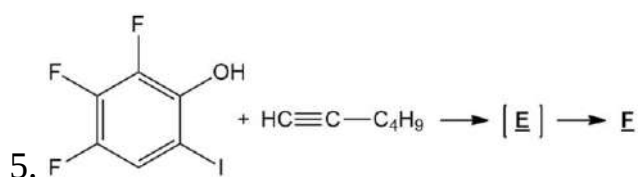
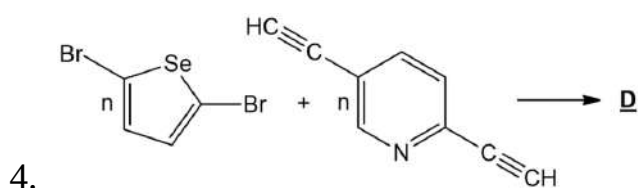
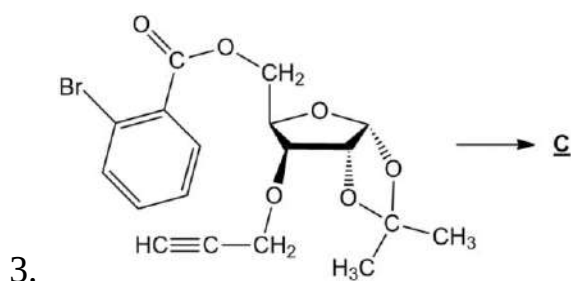
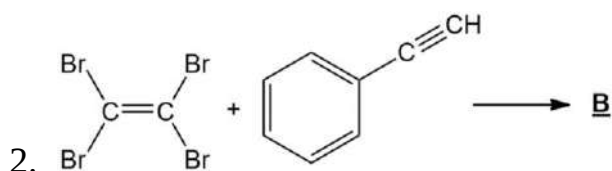
base – основание: вторичные или третичные амины, карбонаты K или Cs и др.

Руководствуясь указанной выше схемой, установите строение соединений **A**, **B**, **C**, **D**, **E**, **F**. Известно, что при получении соединения **B** фенилацетилен берут в избытке; получение соединения **C** проводят в разбавленных растворах; соединение **D** является полимером; соединение **E** содержит ароматическую систему из 6  $\pi$ -электронов, в то время как **F** – из 10; превращение  $\text{E} \rightarrow \text{F}$  не является реакцией кросс-сочетания, но катализируется основаниями, поскольку они увеличивают нуклеофильные свойства  $\text{OH}$ -группы.

*Примечание: при изображении структурных формул органических соединений связи, нарисованные жирными линиями, расширяющимися к одному из концов, “смотрят” на наблюдателя из плоскости рисунка, в то время как связи, обозначенные расширяющимися штрихами, “смотрят” от наблюдателя. Это необходимо для изображения конфигурации асимметрических атомов углерода в хиральных молекулах или для наглядного изображения объёмных многоатомных структур.*

Для изображения монозамещённого бензольного кольца в ходе решения задачи допускается использовать сокращение Ph.





**Задание 2. Изобилие изомеров (*isos* – равный (греч.), *meros* – часть (греч.)). (24 балла)**

Всем изучавшим химию известно такое явление как изомерия, придающее различные свойства одинаковым по составам молекулам. Все также знают, что открыто несколько видов изомерии, а число изомеров бывает очень большим. Так, для одного из самых токсичных и самых сложных по структуре веществ, обнаруженных в живой природе, палитоксина теоретически возможны  $10^{21}$  изомеров.

1. Сколько всего существует структурных изомеров н-гептана? Запишите структурные формулы трех любых из них.

2. Установите, какие из перечисленных соединений способны существовать как в цис-, так и в транс-формах. Для соединений **В, Е, G, Н** напишите их тривиальные названия (имейте в виду, что тривиальные названия некоторых соединений могут отличаться для цис- и транс-форм).

А)  $\text{C}_6\text{H}_{10}\text{Cl}_2$  (шестичленное циклическое соединение, в котором заместители находятся у соседних атомов углерода);

В)  $C_{10}H_{18}$  (насыщенный бициклический углеводород, каждое из колец которого имеет по шесть атомов углерода);

С)  $C_2H_3Cl$ ;

Д)  $CHBr=CHBr$ ;

Е)  $C_2H_2$ ;

Ф)  $C_6H_8$  (сопряженный триен);

Г)  $C_{17}H_{33}COOH$  (9-октадеценовая кислота);

Н)  $C_{17}H_{35}COOH$  (октадекановая кислота).

Для мостиковых бициклических соединений известен еще один вид изомерии, который получил название *in/out* изомерии или гомеоморфной изомерии. *In/out* изомеры имеют разную ориентацию заместителей в голове моста. Так, для *in,in*-изомера заместители направлены внутрь циклической системы, а в случае *out,out*-изомера – наружу (рисунок 1):

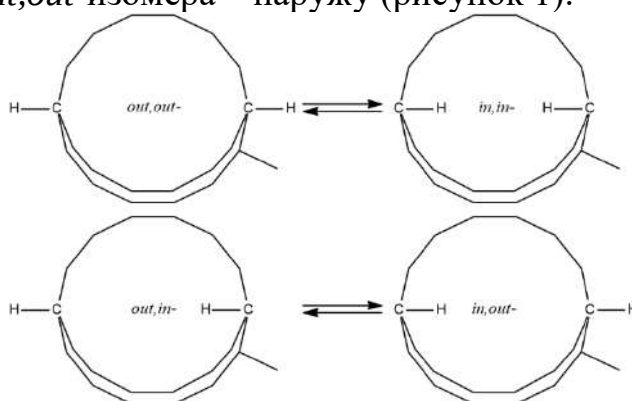


Рисунок 1 – Гомеоморфная изомеризация *out,out*- в *in,in*-форму и *out,in*- в *in,out*-форму

3. Установите, сколько изомерных продуктов образуется при последовательном протонировании макроциклического диамина, представленного на рисунке 2.

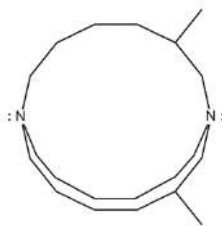
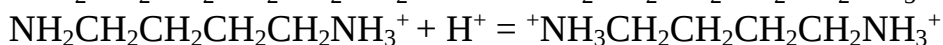
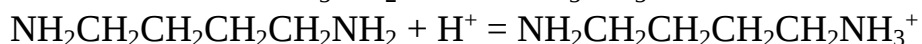


Рисунок 2 – Макроциклический диамин

Способность аминного азота к присоединению  $H^+$  обусловлена наличием у него неподеленной электронной пары. К примеру, схема протонирования простейшего амина, метиламина, в сущности, ничем не отличается от протонирования аммиака, а протонирование диаминов происходит поэтапно:



Зачастую бывает так, что один изомер крайне затруднительно превратить в другой (представьте, к примеру, количество стадий синтеза для получения 1,2,3-триметилциклопропана из гексена-1). Тем не менее, существуют так называемые реакции изомеризации. Вам, вероятно, хорошо известна реакция изомеризации н-бутана в изобутан при нагревании в присутствии хлористого алюминия.

К еще одной реакции подобного типа (часто их называют перегруппировками) стоит отнести перегруппировку Коупа (рисунок 3), протекающую по схеме (для удобства атомы углерода пронумерованы):

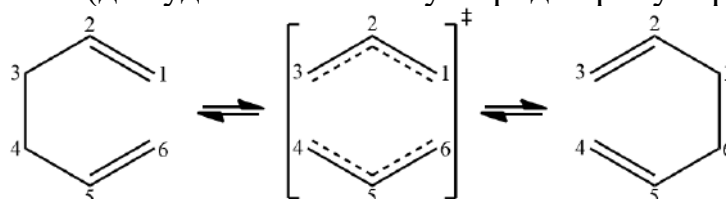


Рисунок 3 – Общая схема перегруппировки Коупа

Замена одного или нескольких атомов углерода в диене на азот приводит к соответствующим аза-диеновым системам, перегруппировка которых носит название аза-перегруппировки Коупа:

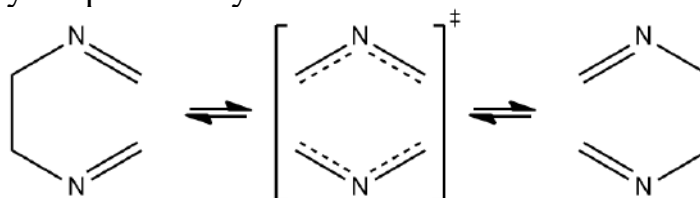
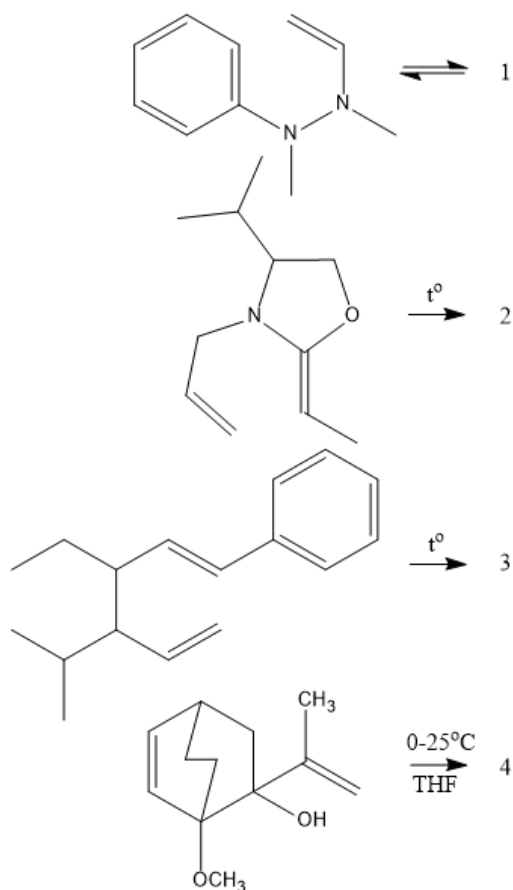


Рисунок 4 – Общая схема аза-перегруппировки Коупа

4. Пользуясь схемами на рисунках 3 и 4, предложите продукты перегруппировок следующих соединений:



Если соединения отличаются только своим изотопным составом (положение изотопной метки не важно), то они носят название *изотопологов*. К примеру, если рассматривать два изотопа водорода ( $^1\text{H}$ ,  $\text{D}$ ) и два изотопа углерода ( $^{12}\text{C}$  и  $^{13}\text{C}$ ), то можно записать десять различных изотопологов метана:

$^{12}\text{CH}_4$ ,  $^{12}\text{CH}_3\text{D}$ ,  $^{12}\text{CH}_2\text{D}_2$ ,  $^{12}\text{CHD}_3$ ,  $^{12}\text{CD}_4$ ,  $^{13}\text{CH}_4$ ,  $^{13}\text{CH}_3\text{D}$ ,  $^{13}\text{CH}_2\text{D}_2$ ,  $^{13}\text{CHD}_3$ ,  $^{13}\text{CD}_4$

5. Сколько изотопологов может существовать у этанола ( $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ ), если при их составлении ограничиться следующими нуклидами:  $^1\text{H}$ ,  $\text{D}$ ,  $^{12}\text{C}$ ,  $^{13}\text{C}$ ,  $^{16}\text{O}$ ?

В случае же, когда молекулы отличаются друг от друга только лишь положением изотопной метки, они называются *изотопомерами* (к примеру,  $\text{CH}_3\text{-OD}$  и  $\text{CH}_2\text{D-OH}$ ).

6. Сколько изотопомеров существует для тридейтерированного этанола?

### Задание 3. Киндер церприз. (20 баллов)

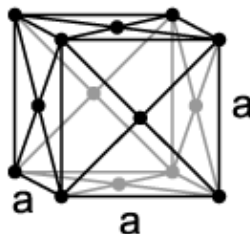
Церий – самый распространенный редкоземельный металл. Металлический церий существует в виде нескольких аллотропных модификаций, устойчивых при различных температурах. Соединения церия широко применяются в металлургии, органическом синтезе и катализе.

При взаимодействии перхлората церия(IV) с сульфатом натрия в соотношениях 1:1 и 1:3 образуются соединения, содержащие комплексные ионы **A** и **Б**, соответственно. Если же исходные соединения взаимодействуют в соотношении 1:2, образуется простая соль **В**, которая имеет потенциал применения в качестве катализатора на одном из этапов производства серной кислоты.

В некоторых комплексных соединениях церий, как и многие другие лантаноиды, проявляет аномально высокие координационные числа. Известно, например, что в комплексе Г реализуется 12 связей между  $\text{Ce}^{4+}$  и шестью лигандами  $\text{NO}_3^-$ .

Церий способен образовывать изоморфные кристаллы, встраиваясь в кристаллическую решетку флюорита.

1.  $\gamma$ -Модификация церия (плотность  $8,16 \text{ г/см}^3$ ) имеет гранецентрированную кубическую решетку. Рассчитайте объем элементарной ячейки для этой модификации. Ответ выразите в  $\text{м}^3$ .



Гранецентрированная кубическая решетка

2. Установите формулы комплексных ионов **А** и **Б** и приведите сокращенные ионные уравнения реакций образования этих ионов.

3. Укажите, на какой стадии производства серной кислоты в качестве катализатора может применяться соединение **В**? Установите формулу **В**.

4. Установите химическую и структурную формулы соединения **Г**.

5. Что такое изоморфизм? Укажите требования к веществам, образующим изоморфные кристаллы.

6. Рассчитайте количество атомов церия в полый наночастице диоксида церия с внутренним диаметром  $150 \text{ нм}$  и толщиной  $1 \cdot 10^4 \text{ пм}$  ( $\rho(\text{CeO}_2) = 7,22 \text{ г/см}^3$ ).

*Справочные данные:*

Таблица перевода единиц измерения:

|      |                      |
|------|----------------------|
| 1 пм | $10^{-12} \text{ м}$ |
| 1 нм | $10^{-9} \text{ м}$  |

В кристаллической решетке можно выделить наименьший параллелепипед, трансляцией (размножением) которого во всех трех измерениях получается кристалл. Такая структурная единица называется элементарной ячейкой. Длина, ширина и высота такой ячейки называются ее параметрами.

#### Задание 4. Посвящается Анри Луи Ле Шателье. (20 баллов)

Синтез аммиака из элементов – процесс Габера-Боша – по праву считают одной из важнейших промышленных химических реакций, когда-либо разработанных. Его реализация привела к значительному увеличению производства минеральных удобрений, что обеспечило резкий рост урожайности, а, значит, способствовало повышению количества населения и снижению голода. Однако этот процесс долгое время оставался нереализованным, поскольку не могли подобрать условия его осуществления. Ситуация улучшилась после работ Анри Луи Ле Шателье, посвященных исследованию равновесия обратимых реакций.



Анри Луи Ле Шателье

1850-1936

1. Напишите реакцию синтеза аммиака из элементов. В чем, по - Вашему, причина сложности её промышленной реализации?

2. Рассчитайте равновесный выход аммиака ( $\phi$ ) при различных температурах и давлениях, заполнив таблицу:

| № опыта | Температура, К | Давление, МПа | Кр (МПа <sup>-2</sup> ) | $\phi$ , % |
|---------|----------------|---------------|-------------------------|------------|
| 1       | 723            | 1,01          | $4,5 \cdot 10^{-5}$     |            |
| 2       | 723            | 30,30         | $7,9 \cdot 10^{-5}$     |            |
| 3       | 573            | 30,30         | $7,4 \cdot 10^{-3}$     |            |

Учтите, что приведенные в таблице константы равновесия (Кр) выражены через парциальные давления реагентов.

3. Сравните результаты, полученные в опытах 1 – 3 и сделайте выводы о влиянии температуры и давления на процесс синтеза аммиака. Объясните причины такого влияния.

4. Сформулируйте принцип смещения равновесия обратимой реакции, предложенный Ле Шателье.

5. Напишите уравнения реакций взаимодействия аммиака с азотной кислотой, цезием, водным раствором хлорида никеля (II), фосфином, надпероксидом калия.

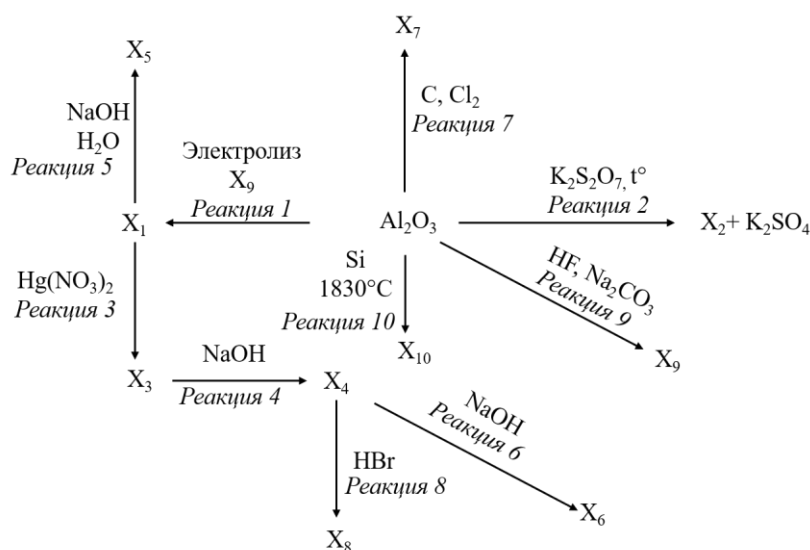
Для справки:

1. *Парциальное давление (лат. partialis «частичный») - давление, которое имел бы газ, входящий в состав газовой смеси, если бы он один занимал объём, равный объёму смеси при той же температуре. Общее давление газовой смеси является суммой парциальных давлений её компонентов. Парциальное давление отдельных компонентов газов в идеальном газе рассчитывается по формуле:  $p_i = x_i \cdot P$ , где  $x_i$  - мольная доля компонента газовой смеси,  $P$  - общее давление газовой смеси.*

2. *Равновесный выход продукта – это отношение количества продукта реакции в момент равновесия к начальному количеству одного из реагентов (взятого не в избытке) с учетом стехиометрических коэффициентов.*

### Задание 5. Забывчивая аспирантка. (20 баллов)

Аспирантка Люся забыла подготовиться к заседанию кафедры, на котором должна была сделать доклад о химических свойствах алюминия. Ее «подруга» Клавдия напомнила Люсе об этом, но сделала это в самый последний момент. Люся успела только схематично изобразить превращения алюминия, но не составила уравнения химических реакций. В спешке она умудрилась забыть, что скрывается под литерами «X». Точно помнила только, что везде зашифрованы соединения алюминия,  $X_2$  называют «жженные квасцы»,  $X_7$  – средняя соль,  $X_9$  – комплексное соединение, в котором металл проявляет К.Ч. = 6, а в реакции 10 образуется два оксида. Помогите Люсе написать уравнения химических реакций, соответствующие следующей последовательности превращений, и укажите вещества  $X_1$ - $X_{10}$ .



# РАСТВОРИМОСТЬ КИСЛОТ, СОЛЕЙ И ОСНОВАНИЙ В ВОДЕ

|                                              | H <sup>+</sup> | Li <sup>+</sup> | K <sup>+</sup> | Na <sup>+</sup> | NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> | Ba <sup>2+</sup> | Ca <sup>2+</sup> | Mg <sup>2+</sup> | Sr <sup>2+</sup> | Al <sup>3+</sup> | Cr <sup>3+</sup> | Fe <sup>2+</sup> | Fe <sup>3+</sup> | Mn <sup>2+</sup> | Zn <sup>2+</sup> | Ag <sup>+</sup> | Hg <sup>2+</sup> | Pb <sup>2+</sup> | Sn <sup>2+</sup> | Cu <sup>2+</sup> |
|----------------------------------------------|----------------|-----------------|----------------|-----------------|------------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| OH <sup>-</sup>                              |                | P               | P              | P               | P                            | P                | M                | H                | M                | H                | H                | H                | H                | H                | H                | —               | —                | H                | H                | H                |
| F <sup>-</sup>                               | P              | M               | P              | P               | P                            | M                | H                | H                | H                | M                | H                | H                | H                | P                | P                | P               | —                | H                | P                | P                |
| Cl <sup>-</sup>                              | P              | P               | P              | P               | P                            | P                | P                | P                | P                | P                | P                | P                | P                | P                | P                | H               | P                | M                | P                | P                |
| Br <sup>-</sup>                              | P              | P               | P              | P               | P                            | P                | P                | P                | P                | P                | P                | P                | P                | P                | P                | H               | M                | M                | P                | P                |
| I <sup>-</sup>                               | P              | P               | P              | P               | P                            | P                | P                | P                | P                | P                | ?                | P                | ?                | P                | P                | H               | H                | H                | M                | ?                |
| S <sup>2-</sup>                              | P              | P               | P              | P               | P                            | —                | —                | —                | H                | —                | —                | H                | —                | H                | H                | H               | H                | H                | H                | H                |
| HS <sup>-</sup>                              | P              | P               | P              | P               | P                            | P                | P                | P                | P                | ?                | ?                | ?                | ?                | ?                | ?                | ?               | ?                | ?                | ?                | ?                |
| SO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>                | P              | P               | P              | P               | P                            | H                | H                | M                | H                | ?                | —                | H                | ?                | ?                | M                | H               | H                | H                | ?                | ?                |
| SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>                | P              | P               | P              | P               | P                            | H                | M                | P                | H                | P                | P                | P                | P                | P                | P                | M               | —                | H                | P                | P                |
| HSO <sub>4</sub> <sup>-</sup>                | P              | P               | P              | P               | P                            | ?                | ?                | ?                | —                | ?                | ?                | ?                | ?                | ?                | ?                | ?               | ?                | H                | ?                | ?                |
| NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>                 | P              | P               | P              | P               | P                            | P                | P                | P                | P                | P                | P                | P                | P                | P                | P                | P               | P                | P                | —                | P                |
| NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>                 | P              | P               | P              | P               | P                            | P                | P                | P                | P                | ?                | ?                | ?                | ?                | ?                | ?                | M               | ?                | ?                | ?                | ?                |
| PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>                | P              | H               | P              | P               | —                            | H                | H                | H                | H                | H                | H                | H                | H                | H                | H                | H               | H                | H                | H                | H                |
| HPO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>               | P              | ?               | P              | P               | P                            | H                | H                | M                | H                | ?                | ?                | H                | ?                | H                | ?                | ?               | ?                | M                | H                | ?                |
| H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>  | P              | P               | P              | P               | P                            | P                | P                | P                | P                | ?                | ?                | P                | ?                | P                | P                | P               | ?                | —                | ?                | ?                |
| CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>                | P              | P               | P              | P               | P                            | H                | H                | H                | H                | ?                | ?                | H                | —                | H                | H                | H               | H                | H                | ?                | H                |
| HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>                | P              | P               | P              | P               | P                            | P                | P                | P                | P                | ?                | ?                | P                | ?                | ?                | ?                | ?               | ?                | P                | ?                | ?                |
| CH <sub>3</sub> COO <sup>-</sup>             | P              | P               | P              | P               | P                            | P                | P                | P                | P                | —                | P                | P                | —                | P                | P                | P               | P                | P                | —                | P                |
| SiO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>               | H              | H               | P              | P               | ?                            | H                | H                | H                | H                | ?                | ?                | H                | ?                | H                | H                | ?               | ?                | H                | ?                | ?                |
| MnO <sub>4</sub> <sup>-</sup>                | P              | P               | P              | P               | P                            | P                | P                | P                | P                | P                | ?                | ?                | ?                | ?                | P                | ?               | ?                | ?                | ?                | ?                |
| Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub> <sup>2-</sup> | P              | P               | P              | P               | P                            | M                | P                | ?                | H                | ?                | ?                | ?                | P                | ?                | ?                | H               | H                | M                | ?                | P                |
| CrO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>               | P              | P               | P              | P               | P                            | H                | P                | P                | H                | ?                | ?                | ?                | H                | H                | H                | H               | H                | H                | H                | H                |
| ClO <sub>3</sub> <sup>-</sup>                | P              | P               | P              | P               | P                            | P                | P                | P                | P                | P                | P                | ?                | ?                | P                | P                | P               | P                | P                | ?                | P                |
| ClO <sub>4</sub> <sup>-</sup>                | P              | P               | P              | P               | P                            | P                | P                | P                | P                | P                | P                | P                | P                | P                | P                | P               | P                | P                | ?                | P                |

«P» – растворяется (> 1 г на 100 г H<sub>2</sub>O);

«M» – мало растворяется (от 0,1 г до 1 г на 100 г H<sub>2</sub>O)

«H» – не растворяется (меньше 0,01 г на 1000 г воды);

«—» – в водной среде разлагается

«?» – нет достоверных сведений о существовании соединений

## РЯД АКТИВНОСТИ МЕТАЛЛОВ / ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЙ РЯД НАПРЯЖЕНИЙ

Li Rb K Ba Sr Ca Na Mg Al Mn Zn Cr Fe Cd Co Ni Sn Pb (H<sub>2</sub>) Sb Bi Cu Hg Ag Pt Au  
 активность металлов уменьшается →



1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18

1 2 3 4 5 6 7

символ  
стандартная атомная масса  
название на русском  
на английском  
полуметалл

атомный номер  
устойчивая степень окисления  
относительный размер атома  
радиоактивный

s-элементы  
p-элементы  
d-элементы  
f-элементы

|                                           |                                            |                                             |                                                   |                                                     |                                             |                                               |                                            |                                              |                                                  |                                               |                                                |                                                |                                            |                                               |                                                |                                              |                                             |
|-------------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------------------|---------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|---------------------------------------------|-----------------------------------------------|--------------------------------------------|----------------------------------------------|--------------------------------------------------|-----------------------------------------------|------------------------------------------------|------------------------------------------------|--------------------------------------------|-----------------------------------------------|------------------------------------------------|----------------------------------------------|---------------------------------------------|
| 1<br>H<br>1.008<br>Водород<br>Hydrogen    | 2<br>He<br>4.0026<br>Гелий<br>Helium       |                                             |                                                   |                                                     |                                             |                                               |                                            |                                              |                                                  |                                               |                                                | 13<br>B<br>10.81<br>Бор<br>Boron               | 14<br>C<br>12.011<br>Углерод<br>Carbon     | 15<br>N<br>14.007<br>Азот<br>Nitrogen         | 16<br>O<br>15.999<br>Кислород<br>Oxygen        | 17<br>F<br>18.998<br>Фтор<br>Fluorine        | 18<br>Ne<br>20.1798<br>Неон<br>Neon         |
| 3<br>Li<br>6.94<br>Литий<br>Lithium       | 4<br>Be<br>9.0122<br>Бериллий<br>Beryllium |                                             |                                                   |                                                     |                                             |                                               |                                            |                                              |                                                  |                                               |                                                | 13<br>Al<br>26.9815<br>Алюминий<br>Aluminium   | 14<br>Si<br>28.085<br>Кремний<br>Silicon   | 15<br>P<br>30.9738<br>Фосфор<br>Phosphorus    | 16<br>S<br>32.06<br>Сера<br>Sulfur             | 17<br>Cl<br>35.45<br>Хлор<br>Chlorine        | 18<br>Ar<br>39.95<br>Аргон<br>Argon         |
| 5<br>Na<br>22.9898<br>Натрий<br>Sodium    | 6<br>Mg<br>24.305<br>Магний<br>Magnesium   |                                             |                                                   |                                                     |                                             |                                               |                                            |                                              |                                                  |                                               |                                                | 13<br>Ga<br>69.723<br>Галлий<br>Gallium        | 14<br>Ge<br>72.63<br>Германий<br>Germanium | 15<br>As<br>74.9216<br>Мышьяк<br>Arsenic      | 16<br>Se<br>78.971<br>Селен<br>Selenium        | 17<br>Br<br>79.904<br>Бром<br>Bromine        | 18<br>Kr<br>83.798<br>Криптон<br>Krypton    |
| 7<br>K<br>39.0983<br>Калий<br>Potassium   | 8<br>Ca<br>40.078<br>Кальций<br>Calcium    | 9<br>Sc<br>44.9559<br>Скандий<br>Scandium   | 10<br>Ti<br>47.867<br>Титан<br>Titanium           | 11<br>V<br>50.9415<br>Ванадий<br>Vanadium           | 12<br>Cr<br>51.9961<br>Хром<br>Chromium     | 13<br>Mn<br>54.938<br>Марганец<br>Manganese   | 14<br>Fe<br>55.845<br>Железо<br>Iron       | 15<br>Co<br>58.932<br>Кобальт<br>Cobalt      | 16<br>Ni<br>58.6934<br>Никель<br>Nickel          | 17<br>Cu<br>63.546<br>Медь<br>Copper          | 18<br>Zn<br>65.38<br>Цинк<br>Zinc              | 19<br>Ga<br>69.723<br>Галлий<br>Gallium        | 20<br>Ge<br>72.63<br>Германий<br>Germanium | 21<br>As<br>74.9216<br>Мышьяк<br>Arsenic      | 22<br>Se<br>78.971<br>Селен<br>Selenium        | 23<br>Br<br>79.904<br>Бром<br>Bromine        | 24<br>Kr<br>83.798<br>Криптон<br>Krypton    |
| 9<br>Rb<br>85.4678<br>Рубидий<br>Rubidium | 10<br>Sr<br>87.62<br>Стронций<br>Strontium | 11<br>Y<br>88.9058<br>Иттрий<br>Yttrium     | 12<br>Zr<br>91.224<br>Цирконий<br>Zirconium       | 13<br>Nb<br>92.9064<br>Нобий<br>Niobium             | 14<br>Mo<br>95.95<br>Молибден<br>Molybdenum | 15<br>Tc<br>98.9062<br>Технеций<br>Technetium | 16<br>Ru<br>101.07<br>Рутений<br>Ruthenium | 17<br>Rh<br>102.9055<br>Родий<br>Rhodium     | 18<br>Pd<br>106.867<br>Палладий<br>Palladium     | 19<br>Ag<br>107.8682<br>Серебро<br>Silver     | 20<br>Cd<br>112.414<br>Кадмий<br>Cadmium       | 21<br>In<br>114.818<br>Индий<br>Indium         | 22<br>Sn<br>118.71<br>Олово<br>Tin         | 23<br>Sb<br>121.76<br>Сурьма<br>Antimony      | 24<br>Te<br>127.6<br>Теллур<br>Tellurium       | 25<br>I<br>126.9045<br>Иод<br>Iodine         | 26<br>Xe<br>131.293<br>Ксенон<br>Xenon      |
| 11<br>Cs<br>132.9055<br>Цезий<br>Caesium  | 12<br>Ba<br>137.327<br>Барий<br>Barium     | 13<br>La<br>138.9055<br>Лантан<br>Lanthanum | 14<br>Hf<br>178.486<br>Гафний<br>Hafnium          | 15<br>Ta<br>180.9479<br>Тантал<br>Tantalum          | 16<br>W<br>183.84<br>Вольфрам<br>Tungsten   | 17<br>Re<br>186.207<br>Рений<br>Rhenium       | 18<br>Os<br>190.23<br>Осмий<br>Osmium      | 19<br>Ir<br>192.22<br>Иридий<br>Iridium      | 20<br>Pt<br>195.084<br>Платина<br>Platinum       | 21<br>Au<br>196.9666<br>Золото<br>Gold        | 22<br>Hg<br>200.592<br>Ртуть<br>Mercury        | 23<br>Tl<br>204.383<br>Таллий<br>Thallium      | 24<br>Pb<br>207.2<br>Свинец<br>Lead        | 25<br>Bi<br>208.9804<br>Висмут<br>Bismuth     | 26<br>Po<br>209<br>Полоний<br>Polonium         | 27<br>At<br>[210]<br>Астат<br>Astatine       | 28<br>Rn<br>[222]<br>Радон<br>Radon         |
| 13<br>Fr<br>[223]<br>Франций<br>Francium  | 14<br>Ra<br>226.0254<br>Радий<br>Radium    | 15<br>Ac<br>227.0278<br>Актиний<br>Actinium | 16<br>Rf<br>[261]<br>Резерфордий<br>Rutherfordium | 17<br>Db<br>[262]<br>Дубний<br>Dubnium              | 18<br>Sg<br>[266]<br>Сиборгий<br>Seaborgium | 19<br>Bh<br>[270]<br>Борий<br>Bohrium         | 20<br>Hs<br>[277]<br>Хассий<br>Hassium     | 21<br>Mt<br>[278]<br>Мейтнерий<br>Meitnerium | 22<br>Ds<br>[281]<br>Дармштадтий<br>Darmstadtium | 23<br>Rg<br>[282]<br>Рентгений<br>Roentgenium | 24<br>Cn<br>[285]<br>Коперниций<br>Copernicium | 25<br>Nh<br>[286]<br>Нихоний<br>Nihonium       | 26<br>Fl<br>[290]<br>Флеровий<br>Flerovium | 27<br>Mc<br>[290]<br>Московский<br>Moscovium  | 28<br>Lv<br>[293]<br>Ливерморий<br>Livermorium | 29<br>Ts<br>[294]<br>Теннессин<br>Tennessine | 30<br>Og<br>[294]<br>Оганессон<br>Oganesson |
|                                           |                                            |                                             | 31<br>Ce<br>140.116<br>Церий<br>Cerium            | 32<br>Pr<br>140.9077<br>Празеодим<br>Praseodymium   | 33<br>Nd<br>144.242<br>Неодим<br>Neodymium  | 34<br>Pm<br>[145]<br>Прометий<br>Promethium   | 35<br>Sm<br>150.36<br>Самарий<br>Samarium  | 36<br>Eu<br>151.964<br>Европий<br>Europium   | 37<br>Gd<br>157.25<br>Гадолиний<br>Gadolinium    | 38<br>Tb<br>158.9254<br>Тербий<br>Terbium     | 39<br>Dy<br>162.5<br>Диспрозий<br>Dysprosium   | 40<br>Ho<br>164.9303<br>Гольмий<br>Holmium     | 41<br>Er<br>167.259<br>Эрбий<br>Erbium     | 42<br>Tm<br>168.9342<br>Тулий<br>Thulium      | 43<br>Yb<br>173.045<br>Иттербий<br>Ytterbium   | 44<br>Lu<br>174.9668<br>Лютеций<br>Lutetium  |                                             |
|                                           |                                            |                                             | 45<br>Th<br>232.0377<br>Торий<br>Thorium          | 46<br>Pa<br>231.0369<br>Протактиний<br>Protactinium | 47<br>U<br>238.0289<br>Уран<br>Uranium      | 48<br>Np<br>237.0482<br>Нептуний<br>Neptunium | 49<br>Pu<br>[244]<br>Плутоний<br>Plutonium | 50<br>Am<br>[243]<br>Америций<br>Americium   | 51<br>Cm<br>[247]<br>Кюрий<br>Curium             | 52<br>Bk<br>[247]<br>Берклий<br>Berkelium     | 53<br>Cf<br>[251]<br>Калифорний<br>Californium | 54<br>Es<br>[252]<br>Эйнштейний<br>Einsteinium | 55<br>Fm<br>[257]<br>Фермий<br>Fermium     | 56<br>Md<br>[258]<br>Менделеев<br>Mendelevium | 57<br>No<br>[259]<br>Нобелий<br>Nobelium       | 58<br>Lr<br>[260]<br>Лоуренсий<br>Lawrencium |                                             |

QR-код

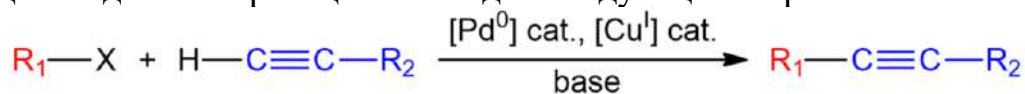
Приведённые в периодической системе данные актуальны по состоянию на 01.09.2023 года. Названия химических элементов указаны в соответствии с номенклатурой IUPAC (Международного союза теоретической и прикладной химии). Данные о стандартных атомных массах предоставлены Комиссией IUPAC по изотопному содержанию и атомным массам (CIAAW), Королевским химическим обществом (RSC), Американским физическим обществом и Объединённым институтом ядерных исследований (Россия). Визуализация атомных радиусов основана на информации Кембриджской базы структурных данных (CSD). Разработано на основе варианта дизайна ПСХЭ от научно-популярного проекта «Химия – просто». Дизайнер: Андрей Зверев (<http://vk.com/ansvart>).

## Химия 10 класс. Вариант 2

Во всех задачах необходимо привести полное обоснованное решение.

### Задание 1. E pluribus unum. (16 баллов)

Реакция Соногаширы – это реакция кросс-сочетания арил- и винилгалогенидов (как правило, иодидов, бромидов или хлоридов, но не фторидов) с терминальными алкинами (алкинами с концевой тройной связью), катализируемая соединениями  $\text{Pd}^0$  и  $\text{Cu}^I$  в присутствии оснований. В общем виде схема реакции выглядит следующим образом:



$\text{R}_1$  – арил или винил.

$\text{R}_2$  – арил, винил, алкил,  $\text{Si}(\text{CH}_3)_3$  и др.

$\text{X}$  – I, Br, Cl, OTf (трифлат –  $\text{CF}_3\text{—SO}_3^-$ ).

$[\text{Pd}^0] \text{ cat.}$  – катализатор на основе комплексов  $\text{Pd}^0$  (как правило, с фосфиновыми лигандами; часто образуется *in situ* из солей  $\text{Pd}^{2+}$ ).

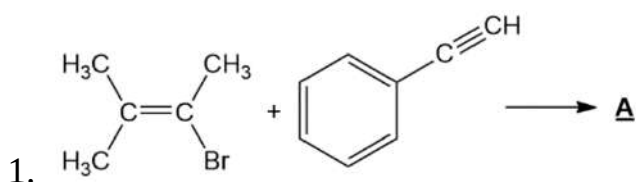
$[\text{Cu}^I] \text{ cat.}$  – сокатализатор на основе  $\text{Cu}^I$ : как правило, CuI.

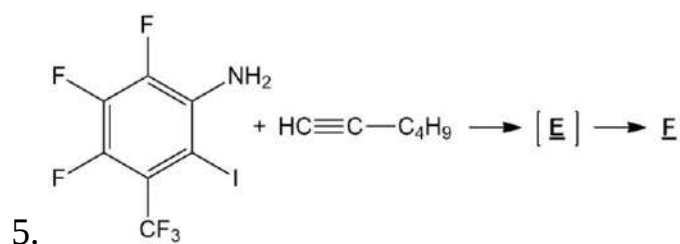
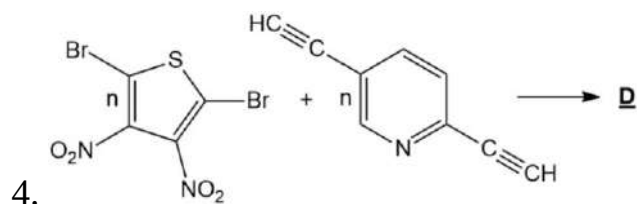
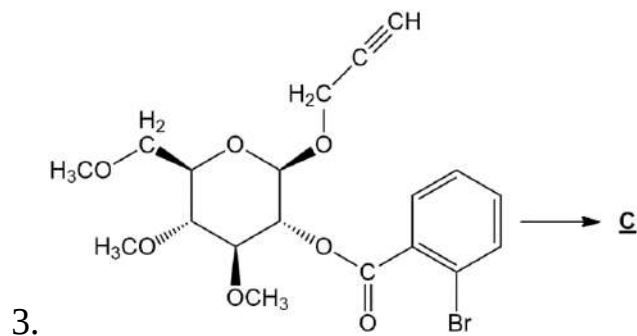
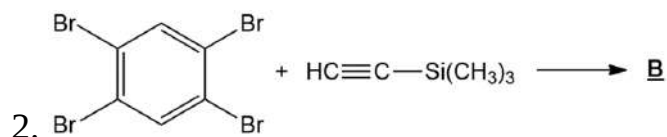
base – основание: вторичные или третичные амины, карбонаты K или Cs и др.

Руководствуясь указанной выше схемой, установите строение соединений А, В, С, D, Е, F. Известно, что при получении соединения В триметилсилилацетилен берут в избытке; получение соединения С проводят в разбавленных растворах; соединение D является полимером; соединение Е содержит ароматическую систему из 6  $\pi$ -электронов, в то время как F – из 10; превращение  $\text{E} \rightarrow \text{F}$  в пятом пункте задачи не является реакцией кросс-сочетания, но катализируется основаниями, поскольку они увеличивают нуклеофильные свойства  $\text{NH}_2$ -группы.

*Примечание: при изображении структурных формул органических соединений связи, нарисованные жирными линиями, расширяющимися к одному из концов, “смотрят” на наблюдателя из плоскости рисунка, в то время как связи, обозначенные расширяющимися штрихами, “смотрят” от наблюдателя. Это необходимо для изображения конфигурации асимметрических атомов углерода в хиральных молекулах или для наглядного изображения объёмных многоатомных структур.*

Для изображения монозамещённого бензольного кольца в ходе решения задачи допускается использовать сокращение Ph.





**Задание 2. Изобилие изомеров (*isos* – равный (греч.), *meros* – часть (греч.)). (24 балла)**

Всем изучавшим химию известно такое явление как изомерия, придающее различные свойства одинаковым по составам молекулам. Все также знают, что открыто несколько видов изомерии, а число изомеров бывает очень большим. Так, для одного из самых токсичных и самых сложных по структуре веществ, обнаруженных в живой природе, палитоксина теоретически возможны  $10^{21}$  изомеров.

1. Сколько всего существует структурных изомеров 2-метилгексана? Запишите структурные формулы трех любых из них.

2. Установите, какие из перечисленных соединений способны существовать как в цис-, так и в транс-формах. Для соединений В, Е, Г, Н напишите их тривиальные названия (имейте в виду, что тривиальные названия некоторых соединений могут отличаться для цис- и транс-форм).

А)  $\text{C}_5\text{H}_8\text{Br}_2$  (пятичленное циклическое соединение, в котором заместители находятся у соседних атомов углерода);

В)  $C_{10}H_{18}$  (насыщенный бициклический углеводород, каждое из колец которого имеет по шесть атомов углерода);

С) бутен-2;

Д) гексен-1;

Е)  $C_2H_2$ ;

Ф)  $C_6H_8$  (сопряженный триен);

Г)  $C_{17}H_{33}COOH$  (9-октадеценовая кислота);

Н)  $C_{17}H_{35}COOH$  (октадекановая кислота).

Для мостиковых бициклических соединений известен еще один вид изомерии, который получил название *in/out* изомерии или гомеоморфной изомерии. *In/out* изомеры имеют разную ориентацию заместителей в голове моста. Так, для *in,in*-изомера заместители направлены внутрь циклической системы, а в случае *out,out*-изомера – наружу (рисунок 1):

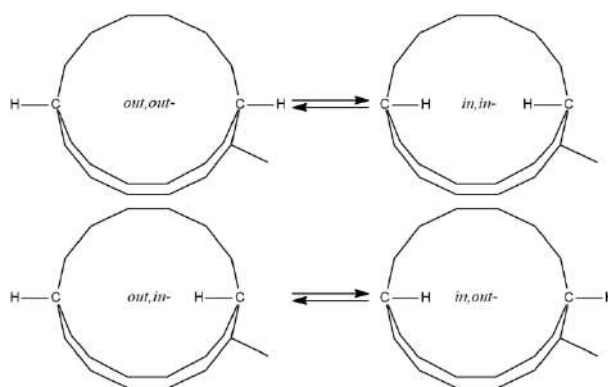


Рисунок 1 – Гомеоморфная изомеризация *out,out*- в *in,in*-форму и *out,in*- в *in,out*-форму

3. Установите, сколько изомерных продуктов образуется при последовательном протонировании макроциклического диамина, представленного на рисунке 2.

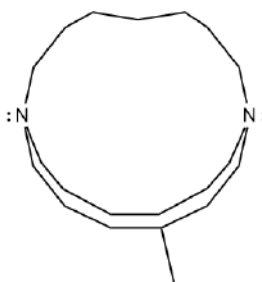
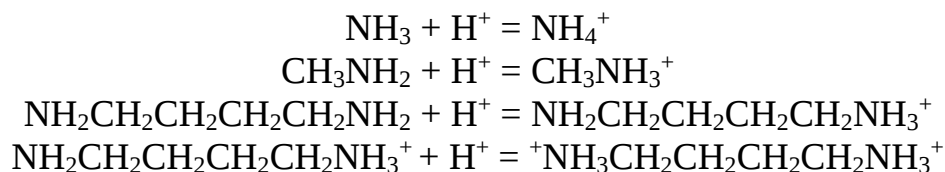


Рисунок 2 – Макроциклический диамин

Способность аминного азота к присоединению  $H^+$  обусловлена наличием у него неподеленной электронной пары. К примеру, схема протонирования простейшего амина, метиламина, в сущности, ничем не отличается от протонирования аммиака, а протонирование диаминов происходит поэтапно:



Зачастую бывает так, что один изомер крайне затруднительно превратить в другой (представьте, к примеру, количество стадий синтеза для получения 1,2,3-триметилциклопропана из гексена-1). Тем не менее, существуют так называемые реакции изомеризации. Вам, вероятно, хорошо известна реакция изомеризации н-бутана в изобутан при нагревании в присутствии хлористого алюминия.

К еще одной реакции подобного типа (часто их называют перегруппировками) стоит отнести перегруппировку Коупа (рисунок 3), протекающую по схеме (для удобства атомы углерода пронумерованы):

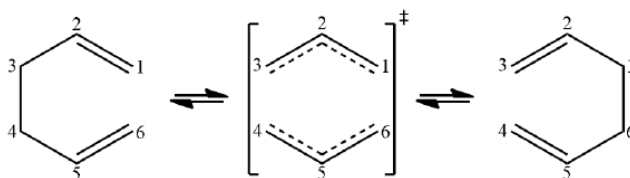


Рисунок 3 – Общая схема перегруппировки Коупа

Замена одного или нескольких атомов углерода в диене на азот приводит к соответствующим аза-диеновым системам, перегруппировка которых носит название аза-перегруппировки Коупа:

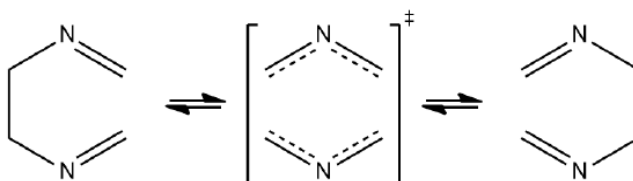
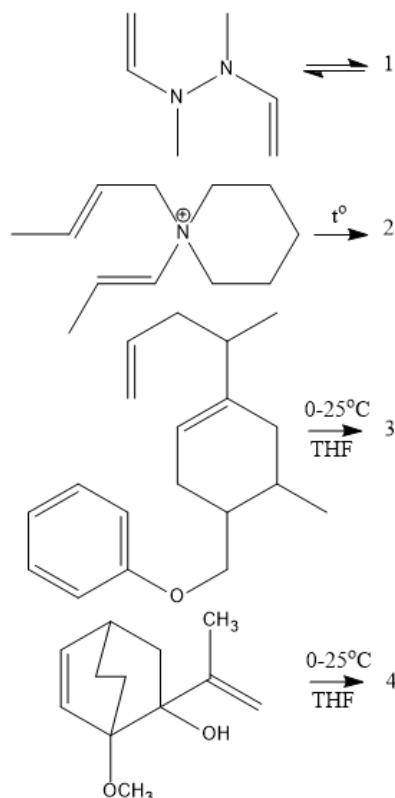
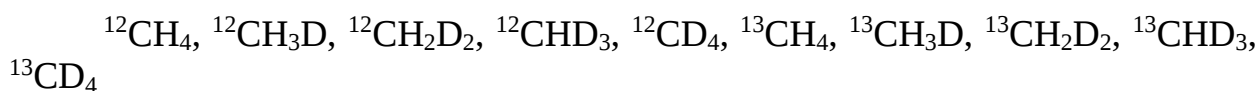


Рисунок 4 – Общая схема аза-перегруппировки Коупа

4. Пользуясь схемами на рисунках 3 и 4, предложите продукты перегруппировок следующих соединений:



Если соединения отличаются только своим изотопным составом (положение изотопной метки не важно), то они носят название *изотопологов*. К примеру, если рассматривать два изотопа водорода ( $^1\text{H}$ ,  $\text{D}$ ) и два изотопа углерода ( $^{12}\text{C}$  и  $^{13}\text{C}$ ), то можно записать десять различных изотопологов метана:



5. Сколько изотопологов может существовать у диметилового эфира ( $\text{CH}_3\text{OCH}_3$ ), если при их составлении ограничиться следующими нуклидами:  $^{12}\text{C}$ ,  $^{13}\text{C}$ ,  $^1\text{H}$ ,  $\text{D}$ ,  $^{16}\text{O}$ ?

В случае же, когда молекулы отличаются друг от друга только лишь положением изотопной метки, они называются *изотопомерами* (к примеру,  $\text{CH}_3\text{-OD}$  и  $\text{CH}_2\text{D-OH}$ ).

6. Сколько изотопомеров существует для тридейтерированного диметилового эфира?

### Задание 3. Киндер терприз. (20 баллов)

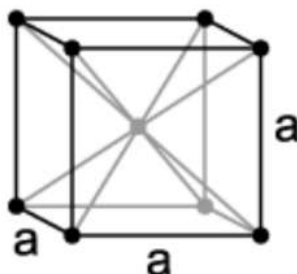
Тербий – это один из редкоземельных элементов. Металлический тербий существует в виде нескольких аллотропных модификаций, устойчивых при различных температурах. Соединения тербия широко применяются в металлургии, катализе и электронике.

При взаимодействии перхлората тербия (III) с сульфатом натрия в соотношениях 1:1 и 1:2 образуются соединения, содержащие комплексные ионы А и Б, соответственно. Если же исходные соединения взаимодействуют в соотношении 2:3, образуется простая соль В, которая применяется при производстве компонентов полупроводниковых приборов.

В некоторых комплексных соединениях тербий, как и многие другие лантаноиды, проявляет аномально высокие координационные числа. Известно, например, что в комплексе Г реализуется 8 связей между  $Tb^{3+}$  и четырьмя лигандами  $NO_3^-$ .

Моносουλфид тербия способен образовывать изоморфные кристаллы, встраиваясь в кристаллическую решетку NaCl.

1.  $\beta$ -Модификация тербия имеет объемноцентрированную кубическую решетку. Рассчитайте объем элементарной ячейки для этой модификации. Плотность решетки примите равной  $8,27 \text{ г/см}^3$ . Ответ выразите в  $\text{м}^3$ .



Объемноцентрированная кубическая решетка

2. Установите формулы комплексных ионов А и Б и приведите сокращенные ионные уравнения реакций образования этих ионов.

3. Для каких целей соединение В добавляют в металлы при производстве полупроводников? Установите формулу В.

4. Установите химическую и структурную формулы соединения Г.

5. Что такое изоморфизм? Укажите требования к веществам, образующим изоморфные кристаллы.

6. Рассчитайте количество атомов тербия в полый монодисперсной наночастице оксида тербия(III) с внутренним диаметром 50 нм и толщиной  $2 \cdot 10^4 \text{ пм}$  ( $\rho(Tb_2O_3) = 8,64 \text{ г/см}^3$ ).

*Справочные данные:*

Таблица перевода единиц измерения:

|      |                      |
|------|----------------------|
| 1 пм | $10^{-12} \text{ м}$ |
| 1 нм | $10^{-9} \text{ м}$  |

В кристаллической решетке можно выделить наименьший параллелепипед, трансляцией (размножением) которого во всех трех измерениях получается кристалл. Такая структурная единица называется элементарной ячейкой. Длина, ширина и высота такой ячейки называются ее параметрами.

#### Задание 4. Посвящается Анри Луи Ле Шателье. (20 баллов)

Синтез аммиака из элементов – процесс Габера-Боша - по праву считают одной из важнейших промышленных химических реакций, когда-либо разработанных. Его реализация привела к значительному увеличению производства минеральных удобрений, что обеспечило резкий рост урожайности, а, значит, способствовало повышению количества населения и снижению голода. Однако этот процесс долгое время оставался нереализованным, поскольку не могли подобрать условия его осуществления. Ситуация улучшилась после работ Анри Луи Ле Шателье, посвященных исследованию равновесия обратимых реакций.



Анри Луи Ле Шателье  
1850-1936

1. Напишите реакцию синтеза аммиака из элементов. В чем, по - Вашему, причина сложности её промышленной реализации?
2. Рассчитайте равновесный выход аммиака ( $\varphi$ ) при различных температурах и давлениях, закончив таблицу:

| N<br>опыта | Температура,<br>K | Давление,<br>МПа | $K_p$<br>(МПа <sup>-2</sup> ) | $\varphi$<br>, % |
|------------|-------------------|------------------|-------------------------------|------------------|
| 1          | 873               | 10,00            | $2,2 \cdot 10^{-6}$           |                  |
| 2          | 873               | 30,00            | $3,6 \cdot 10^{-6}$           |                  |
| 3          | 573               | 30,30            | $7,4 \cdot 10^{-3}$           |                  |

Учтите, что приведенные в таблице константы равновесия ( $K_p$ ) выражены через парциальные давления реагентов.

3. Сравните результаты, полученные в опытах 1 – 2 и сделайте выводы о влиянии температуры и давления на процесс синтеза аммиака. Объясните причины такого влияния.
4. Сформулируйте принцип смещения равновесия обратимой реакции, предложенный Ле Шателье.
5. Напишите уравнения реакций взаимодействия аммиака с серной кислотой, магнием (при нагревании), водным раствором нитрата меди (II), фосфином, супероксидом калия.

Для справки:

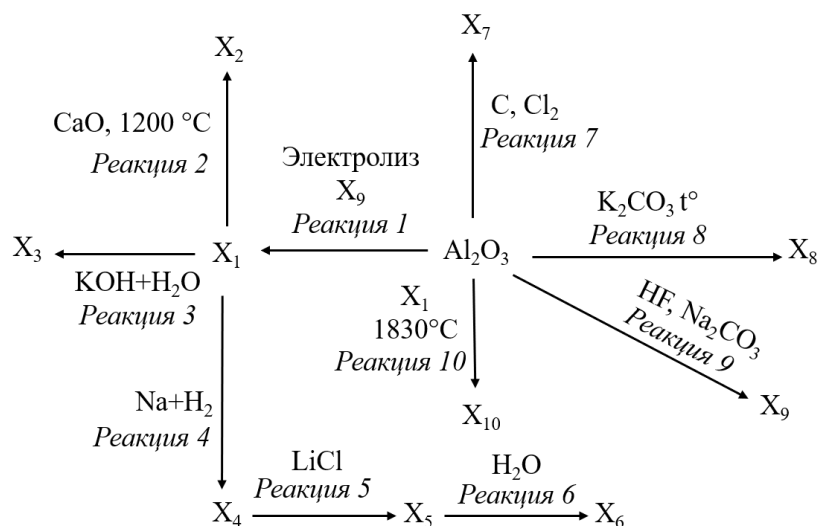
1. *Парциальное давление (лат. partialis «частичный») - давление, которое имел бы газ, входящий в состав газовой смеси, если бы он один занимал объём, равный объёму смеси при той же температуре. Общее давление газовой смеси является суммой парциальных давлений её компонентов.*

Парциальное давление отдельных компонентов газов в идеальном газе рассчитывается по формуле:  $p_i = x_i \cdot P$ , где  $x_i$  - мольная доля компонента газовой смеси,  $P$  - общее давление газовой смеси.

2. Равновесный выход продукта – это отношение количества продукта реакции в момент равновесия к начальному количеству одного из реагентов (взятого не в избытке) с учетом стехиометрических коэффициентов.

### Задание 5. Забывчивая аспирантка. (20 баллов)

Аспирантка Люся забыла подготовиться к заседанию кафедры, на котором должна была сделать доклад о химических свойствах алюминия. Ее «подруга» Клавдия напомнила Люсе об этом, но сделала это в самый последний момент. Люся успела только схематично изобразить превращения алюминия, но не составила уравнения химических реакций. В спешке Люся умудрилась забыть, что скрывается под литерами «X». Точно помнила только, что везде зашифрованы соединения алюминия,  $X_2$  – смешанный оксид,  $X_7$  – средняя соль,  $X_3, X_4, X_5, X_9$  – комплексные соединения, а в реакции 10 образуется оксид с необычной степенью окисления для входящего в его состав металла. Помогите Люсе написать уравнения химических реакций, соответствующие следующей последовательности превращений, и укажите вещества  $X_1$ - $X_{10}$





|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 3                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 4                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 5                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 6                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 7                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 8                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 9                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 10                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 11                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 12                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 13                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 14                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 15                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 16                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 17                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 18                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| <div> <div>символ</div> <div>стандартная атомная масса</div> <div>название на русском</div> <div>на английском</div> <div>полуметалл</div> </div> <div> <div>атомный номер</div> <div>устойчивая степень окисления</div> <div>относительный размер атома</div> <div>радиоактивный</div> </div> <div> <div>s-элементы</div> <div>p-элементы</div> <div>d-элементы</div> <div>f-элементы</div> </div> | <div> <div>Н</div> <div>1,008</div> <div>+1</div> <div>Водород</div> <div>Hydrogen</div> </div> <div> <div>Li</div> <div>6,94</div> <div>+1</div> <div>Литий</div> <div>Lithium</div> </div> <div> <div>Na</div> <div>22,9898</div> <div>+1</div> <div>Натрий</div> <div>Sodium</div> </div> <div> <div>K</div> <div>39,0983</div> <div>+1</div> <div>Калий</div> <div>Potassium</div> </div> <div> <div>Rb</div> <div>85,4678</div> <div>+1</div> <div>Рубидий</div> <div>Rubidium</div> </div> <div> <div>Cs</div> <div>132,9055</div> <div>+1</div> <div>Цезий</div> <div>Cesium</div> </div> <div> <div>Fr</div> <div>[223]</div> <div>+1</div> <div>Франций</div> <div>Francium</div> </div> | <div> <div>Be</div> <div>9,0122</div> <div>+2</div> <div>Бериллий</div> <div>Beryllium</div> </div> <div> <div>Mg</div> <div>24,305</div> <div>+2</div> <div>Магний</div> <div>Magnesium</div> </div> <div> <div>Ca</div> <div>40,078</div> <div>+2</div> <div>Кальций</div> <div>Calcium</div> </div> <div> <div>Sr</div> <div>87,62</div> <div>+2</div> <div>Стронций</div> <div>Strontium</div> </div> <div> <div>Ba</div> <div>137,327</div> <div>+2</div> <div>Барий</div> <div>Barium</div> </div> <div> <div>Ra</div> <div>226,0254</div> <div>+2</div> <div>Радий</div> <div>Radium</div> </div> | <div> <div>Sc</div> <div>44,9559</div> <div>+3</div> <div>Скандий</div> <div>Scandium</div> </div> <div> <div>Y</div> <div>88,9058</div> <div>+3</div> <div>Иттрий</div> <div>Yttrium</div> </div> <div> <div>La</div> <div>138,9055</div> <div>+3</div> <div>Лантан</div> <div>Lanthanum</div> </div> <div> <div>Ac</div> <div>227,0278</div> <div>+3</div> <div>Актиний</div> <div>Actinium</div> </div> | <div> <div>Ti</div> <div>47,887</div> <div>+4</div> <div>Титан</div> <div>Titanium</div> </div> <div> <div>Zr</div> <div>91,224</div> <div>+4</div> <div>Цирконий</div> <div>Zirconium</div> </div> <div> <div>Hf</div> <div>178,486</div> <div>+4</div> <div>Гафний</div> <div>Hafnium</div> </div> <div> <div>Rf</div> <div>[261]</div> <div>(+4)</div> <div>Резерфордий</div> <div>Rutherfordium</div> </div> | <div> <div>V</div> <div>50,9415</div> <div>+5</div> <div>Ванадий</div> <div>Vanadium</div> </div> <div> <div>Nb</div> <div>92,9064</div> <div>+5</div> <div>Ниобий</div> <div>Niobium</div> </div> <div> <div>Ta</div> <div>180,9479</div> <div>+5</div> <div>Тантал</div> <div>Tantalum</div> </div> <div> <div>Db</div> <div>[268]</div> <div>(+5)</div> <div>Дубний</div> <div>Dubnium</div> </div> | <div> <div>Cr</div> <div>51,9961</div> <div>+3</div> <div>Хром</div> <div>Chromium</div> </div> <div> <div>Mo</div> <div>95,95</div> <div>+6</div> <div>Молибден</div> <div>Molybdenum</div> </div> <div> <div>W</div> <div>183,84</div> <div>+6</div> <div>Вольфрам</div> <div>Tungsten</div> </div> <div> <div>Sg</div> <div>[269]</div> <div>(+6)</div> <div>Сиборгий</div> <div>Seaborgium</div> </div> | <div> <div>Mn</div> <div>54,938</div> <div>+2</div> <div>Марганец</div> <div>Manganese</div> </div> <div> <div>Tc</div> <div>98,9062</div> <div>+7</div> <div>Технеций</div> <div>Technetium</div> </div> <div> <div>Re</div> <div>186,207</div> <div>+7</div> <div>Рений</div> <div>Rhenium</div> </div> <div> <div>Bh</div> <div>[270]</div> <div>(+7)</div> <div>Борий</div> <div>Bohrium</div> </div> | <div> <div>Fe</div> <div>55,845</div> <div>+3</div> <div>Железо</div> <div>Iron</div> </div> <div> <div>Ru</div> <div>101,07</div> <div>+4</div> <div>Рутений</div> <div>Ruthenium</div> </div> <div> <div>Os</div> <div>190,23</div> <div>+8</div> <div>Осмий</div> <div>Osmium</div> </div> <div> <div>Hs</div> <div>[269]</div> <div>(+8)</div> <div>Хассий</div> <div>Hassium</div> </div> | <div> <div>Co</div> <div>58,9332</div> <div>+2</div> <div>Кобальт</div> <div>Cobalt</div> </div> <div> <div>Rh</div> <div>102,9055</div> <div>+3</div> <div>Родий</div> <div>Rhodium</div> </div> <div> <div>Pt</div> <div>195,084</div> <div>+2</div> <div>Платина</div> <div>Platinum</div> </div> <div> <div>Ds</div> <div>[281]</div> <div>?</div> <div>Дармштадтий</div> <div>Darmstadtium</div> </div> | <div> <div>Ni</div> <div>58,6934</div> <div>+2</div> <div>Никель</div> <div>Nickel</div> </div> <div> <div>Pd</div> <div>106,42</div> <div>+2</div> <div>Палладий</div> <div>Palladium</div> </div> <div> <div>Au</div> <div>196,9666</div> <div>+3</div> <div>Золото</div> <div>Gold</div> </div> <div> <div>Rg</div> <div>[282]</div> <div>?</div> <div>Рентгений</div> <div>Roentgenium</div> </div> | <div> <div>Cu</div> <div>63,546</div> <div>+2</div> <div>Медь</div> <div>Copper</div> </div> <div> <div>Ag</div> <div>107,8662</div> <div>+1</div> <div>Серебро</div> <div>Silver</div> </div> <div> <div>Hg</div> <div>200,592</div> <div>+2</div> <div>Ртуть</div> <div>Mercury</div> </div> <div> <div>Cn</div> <div>[285]</div> <div>(+2)</div> <div>Коперниций</div> <div>Copernicium</div> </div> | <div> <div>Zn</div> <div>65,38</div> <div>+2</div> <div>Цинк</div> <div>Zinc</div> </div> <div> <div>Cd</div> <div>112,414</div> <div>+2</div> <div>Кадмий</div> <div>Cadmium</div> </div> <div> <div>Pb</div> <div>207,2</div> <div>+2</div> <div>Свинец</div> <div>Lead</div> </div> <div> <div>Lv</div> <div>[293]</div> <div>?</div> <div>Ливерморий</div> <div>Livermorium</div> </div> | <div> <div>Ga</div> <div>69,723</div> <div>+3</div> <div>Галлий</div> <div>Gallium</div> </div> <div> <div>In</div> <div>114,818</div> <div>+3</div> <div>Индий</div> <div>Indium</div> </div> <div> <div>Tl</div> <div>204,383</div> <div>+1</div> <div>Таллий</div> <div>Thallium</div> </div> <div> <div>Nh</div> <div>[286]</div> <div>?</div> <div>Нихоний</div> <div>Nihonium</div> </div> | <div> <div>Ge</div> <div>72,63</div> <div>+4</div> <div>Германий</div> <div>Germanium</div> </div> <div> <div>Sn</div> <div>118,71</div> <div>+4</div> <div>Олово</div> <div>Tin</div> </div> <div> <div>Pb</div> <div>207,2</div> <div>+2</div> <div>Свинец</div> <div>Lead</div> </div> <div> <div>Fl</div> <div>[290]</div> <div>?</div> <div>Флеровий</div> <div>Flerovium</div> </div> | <div> <div>As</div> <div>74,9216</div> <div>+3</div> <div>Мышьяк</div> <div>Arsenic</div> </div> <div> <div>Sb</div> <div>121,76</div> <div>+3</div> <div>Сурьма</div> <div>Antimony</div> </div> <div> <div>Bi</div> <div>208,9804</div> <div>+3</div> <div>Висмут</div> <div>Bismuth</div> </div> <div> <div>Mc</div> <div>[290]</div> <div>?</div> <div>Московский</div> <div>Moscovium</div> </div> | <div> <div>Se</div> <div>78,971</div> <div>+4</div> <div>Селен</div> <div>Selenium</div> </div> <div> <div>Te</div> <div>127,6</div> <div>+4</div> <div>Теллур</div> <div>Tellurium</div> </div> <div> <div>Po</div> <div>209,9824</div> <div>+4</div> <div>Полоний</div> <div>Polonium</div> </div> <div> <div>Lv</div> <div>[293]</div> <div>?</div> <div>Ливерморий</div> <div>Livermorium</div> </div> | <div> <div>Br</div> <div>79,904</div> <div>+1</div> <div>Бром</div> <div>Bromine</div> </div> <div> <div>I</div> <div>126,9045</div> <div>+1</div> <div>Иод</div> <div>Iodine</div> </div> <div> <div>At</div> <div>[210]</div> <div>+1</div> <div>Астат</div> <div>Astatine</div> </div> <div> <div>Ts</div> <div>[294]</div> <div>?</div> <div>Теннессин</div> <div>Tennessee</div> </div> |

Приведённые в периодической системе данные актуальны по состоянию на 01.09.2023 года. Названия химических элементов указаны в соответствии с номенклатурой IUPAC (Международного союза теоретической и прикладной химии). Данные о стандартных атомных массах предоставлены Комиссией IUPAC по изотопному содержанию и атомным массам (CIAAW), Королевским химическим обществом (RSC), Американским физическим обществом и Объединённым институтом ядерных исследований (Россия). Визуализация атомных радиусов основана на информации Кембриджской базы структурных данных (CSD). Разработано на основе варианта дизайна ПСХЭ от научно-популярного проекта «Химия – просто». Дизайнер: Андрей Зверев (<http://vk.com/ansvart>).

### РАСТВОРИМОСТЬ КИСЛОТ, СОЛЕЙ И ОСНОВАНИЙ В ВОДЕ

|                                              | H <sup>+</sup> | Li <sup>+</sup> | K <sup>+</sup> | Na <sup>+</sup> | NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> | Ba <sup>2+</sup> | Ca <sup>2+</sup> | Mg <sup>2+</sup> | Sr <sup>2+</sup> | Al <sup>3+</sup> | Cr <sup>3+</sup> | Fe <sup>2+</sup> | Fe <sup>3+</sup> | Mn <sup>2+</sup> | Zn <sup>2+</sup> | Ag <sup>+</sup> | Hg <sup>2+</sup> | Pb <sup>2+</sup> | Sn <sup>2+</sup> | Cu <sup>2+</sup> |
|----------------------------------------------|----------------|-----------------|----------------|-----------------|------------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| OH <sup>-</sup>                              |                | P               | P              | P               | P                            | P                | M                | H                | M                | H                | H                | H                | H                | H                | H                | —               | —                | H                | H                | H                |
| F <sup>-</sup>                               | P              | M               | P              | P               | P                            | M                | H                | H                | H                | M                | H                | H                | H                | P                | P                | P               | —                | H                | P                | P                |
| Cl <sup>-</sup>                              | P              | P               | P              | P               | P                            | P                | P                | P                | P                | P                | P                | P                | P                | P                | P                | H               | P                | M                | P                | P                |
| Br <sup>-</sup>                              | P              | P               | P              | P               | P                            | P                | P                | P                | P                | P                | P                | P                | P                | P                | P                | H               | M                | M                | P                | P                |
| I <sup>-</sup>                               | P              | P               | P              | P               | P                            | P                | P                | P                | P                | P                | ?                | P                | ?                | P                | P                | H               | H                | H                | M                | ?                |
| S <sup>2-</sup>                              | P              | P               | P              | P               | P                            | —                | —                | —                | H                | —                | —                | H                | —                | H                | H                | H               | H                | H                | H                | H                |
| HS <sup>-</sup>                              | P              | P               | P              | P               | P                            | P                | P                | P                | P                | ?                | ?                | ?                | ?                | ?                | ?                | ?               | ?                | ?                | ?                | ?                |
| SO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>                | P              | P               | P              | P               | P                            | H                | H                | M                | H                | ?                | —                | H                | ?                | ?                | M                | H               | H                | H                | ?                | ?                |
| SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>                | P              | P               | P              | P               | P                            | H                | M                | P                | H                | P                | P                | P                | P                | P                | P                | M               | —                | H                | P                | P                |
| HSO <sub>4</sub> <sup>-</sup>                | P              | P               | P              | P               | P                            | ?                | ?                | ?                | —                | ?                | ?                | ?                | ?                | ?                | ?                | ?               | ?                | H                | ?                | ?                |
| NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>                 | P              | P               | P              | P               | P                            | P                | P                | P                | P                | P                | P                | P                | P                | P                | P                | P               | P                | P                | —                | P                |
| NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>                 | P              | P               | P              | P               | P                            | P                | P                | P                | P                | ?                | ?                | ?                | ?                | ?                | ?                | M               | ?                | ?                | ?                | ?                |
| PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>                | P              | H               | P              | P               | —                            | H                | H                | H                | H                | H                | H                | H                | H                | H                | H                | H               | H                | H                | H                | H                |
| HPO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>               | P              | ?               | P              | P               | P                            | H                | H                | M                | H                | ?                | ?                | H                | ?                | H                | ?                | ?               | ?                | M                | H                | ?                |
| H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>  | P              | P               | P              | P               | P                            | P                | P                | P                | P                | ?                | ?                | P                | ?                | P                | P                | P               | ?                | —                | ?                | ?                |
| CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>                | P              | P               | P              | P               | P                            | H                | H                | H                | H                | ?                | ?                | H                | —                | H                | H                | H               | H                | H                | ?                | H                |
| HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>                | P              | P               | P              | P               | P                            | P                | P                | P                | P                | ?                | ?                | P                | ?                | ?                | ?                | ?               | ?                | P                | ?                | ?                |
| CH <sub>3</sub> COO <sup>-</sup>             | P              | P               | P              | P               | P                            | P                | P                | P                | P                | —                | P                | P                | —                | P                | P                | P               | P                | P                | —                | P                |
| SiO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>               | H              | H               | P              | P               | ?                            | H                | H                | H                | H                | ?                | ?                | H                | ?                | H                | H                | ?               | ?                | H                | ?                | ?                |
| MnO <sub>4</sub> <sup>-</sup>                | P              | P               | P              | P               | P                            | P                | P                | P                | P                | P                | ?                | ?                | ?                | ?                | P                | ?               | ?                | ?                | ?                | ?                |
| Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub> <sup>2-</sup> | P              | P               | P              | P               | P                            | M                | P                | ?                | H                | ?                | ?                | ?                | P                | ?                | ?                | H               | H                | M                | ?                | P                |
| CrO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>               | P              | P               | P              | P               | P                            | H                | P                | P                | H                | ?                | ?                | ?                | H                | H                | H                | H               | H                | H                | H                | H                |
| ClO <sub>3</sub> <sup>-</sup>                | P              | P               | P              | P               | P                            | P                | P                | P                | P                | P                | P                | ?                | ?                | P                | P                | P               | P                | P                | ?                | P                |
| ClO <sub>4</sub> <sup>-</sup>                | P              | P               | P              | P               | P                            | P                | P                | P                | P                | P                | P                | P                | P                | P                | P                | P               | P                | P                | ?                | P                |

«P» – растворяется (> 1 г на 100 г H<sub>2</sub>O);

«M» – мало растворяется (от 0,1 г до 1 г на 100 г H<sub>2</sub>O)

«H» – не растворяется (меньше 0,01 г на 1000 г воды);

«—» – в водной среде разлагается

«?» – нет достоверных сведений о существовании соединений

### РЯД АКТИВНОСТИ МЕТАЛЛОВ / ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЙ РЯД НАПРЯЖЕНИЙ

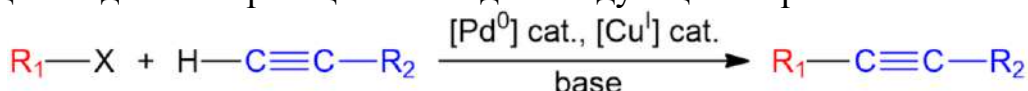
Li Rb K Ba Sr Ca Na Mg Al Mn Zn Cr Fe Cd Co Ni Sn Pb (H<sub>2</sub>) Sb Bi Cu Hg Ag Pt Au

активность металлов уменьшается

### Химия 10 класс. Вариант 3

#### Задание 1. “E pluribus unum”. (16 баллов)

Реакция Соногаширы – это реакция кросс-сочетания арил- и винилгалогенидов (как правило, иодидов, бромидов или хлоридов, но не фторидов) с терминальными алкинами (алкинами с концевой тройной связью), катализируемая соединениями  $\text{Pd}^0$  и  $\text{Cu}^I$  в присутствии оснований. В общем виде схема реакции выглядит следующим образом:



$\text{R}_1$  – арил или винил.

$\text{R}_2$  – арил, винил, алкил,  $\text{Si}(\text{CH}_3)_3$  и др.

$\text{X}$  – I, Br, Cl, OTf (трифлат –  $\text{CF}_3\text{—SO}_3^-$ ).

$[\text{Pd}^0] \text{ cat.}$  – катализатор на основе комплексов  $\text{Pd}^0$  (как правило, с фосфиновыми лигандами; часто образуется *in situ* из солей  $\text{Pd}^{2+}$ ).

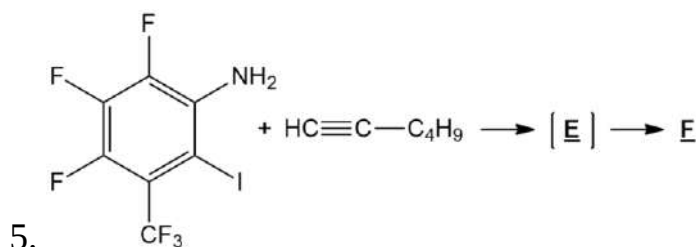
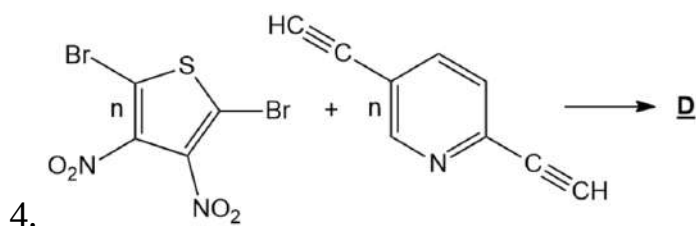
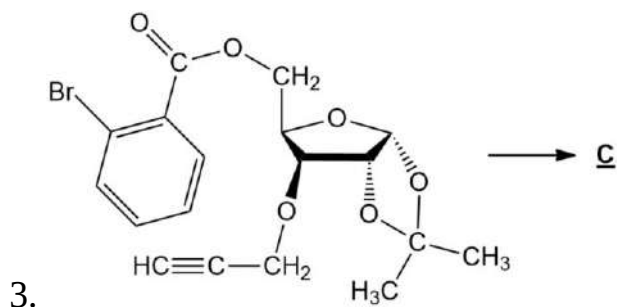
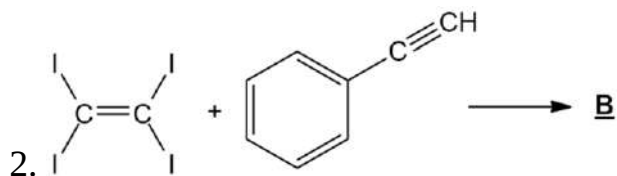
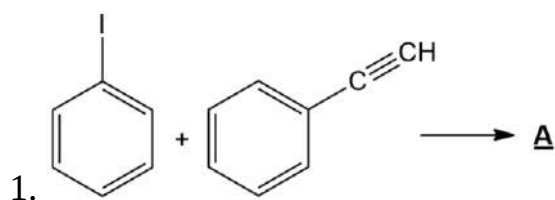
$[\text{Cu}^I] \text{ cat.}$  – сокатализатор на основе  $\text{Cu}^I$ : как правило,  $\text{CuI}$ .

base – основание: вторичные или третичные амины, карбонаты K или Cs и др.

Руководствуясь указанной выше схемой, установите строение соединений **A**, **B**, **C**, **D**, **E**, **F**. Известно, что при получении соединения **B** фенилацетилен берут в избытке; получение соединения **C** проводят в разбавленных растворах; соединение **D** является полимером; соединение **E** содержит ароматическую систему из 6  $\pi$ -электронов, в то время как **F** – из 10; превращение **E**  $\rightarrow$  **F** не является реакцией кросс-сочетания, но катализируется основаниями, поскольку они увеличивают нуклеофильные свойства  $\text{NH}_2$ -группы.

Примечание: при изображении структурных формул органических соединений связи, нарисованные жирными линиями, расширяющимися к одному из концов, “смотрят” на наблюдателя из плоскости рисунка, в то время как связи, обозначенные расширяющимися штрихами, “смотрят” от наблюдателя. Это необходимо для изображения конфигурации асимметрических атомов углерода в хиральных молекулах или для наглядного изображения объёмных многоатомных структур.

Для изображения монозамещённого бензольного кольца в ходе решения задачи допускается использовать сокращение Ph.



## Задание 2. Изобилие изомеров (isos – равный (греч.), meros – часть (греч.)) (24 балла)

Всем изучавшим химию известно такое явление как изомерия, придающее различные свойства одинаковым по составам молекулам. Все также знают, что открыто несколько видов изомерии, а число изомеров бывает очень большим. Так, для одного из самых токсичных и самых сложных по структуре веществ, обнаруженных в живой природе, палитоксина теоретически возможны  $10^{21}$  изомеров.

1. Сколько всего существует структурных изомеров 2,4 - диметилпентана? Запишите структурные формулы трех любых из них.

2. Установите, какие из перечисленных соединений способны существовать как в цис-, так и в транс-формах. Для соединений **В**, **Е**, **Г**, **Н**

напишите их тривиальные названия (имейте в виду, что тривиальные названия некоторых соединений могут отличаться для цис- и транс-форм).

A)  $C_6H_{10}Cl_2$  (шестичленное циклическое соединение, в котором заместители находятся у соседних атомов углерода);

B)  $C_{10}H_{18}$  (насыщенный бициклический углеводород, каждое из колец которого имеет по шесть атомов углерода);

C)  $C_2H_3Br$ ;

D)  $CHBr=CHBr$ ;

E)  $C_2H_2$ ;

F)  $C_6H_8$  (сопряженный триен);

G)  $C_{17}H_{33}COOH$  (9-октадеценовая кислота);

H)  $C_{17}H_{35}COOH$  (октадекановая кислота).

Для мостиковых бициклических соединений известен еще один вид изомерии, который получил название *in/out* изомерии или гомеоморфной изомерии. *In/out* изомеры имеют разную ориентацию заместителей в голове моста. Так, для *in,in*-изомера заместители направлены внутрь циклической системы, а в случае *out,out*-изомера – наружу (рисунок 1):

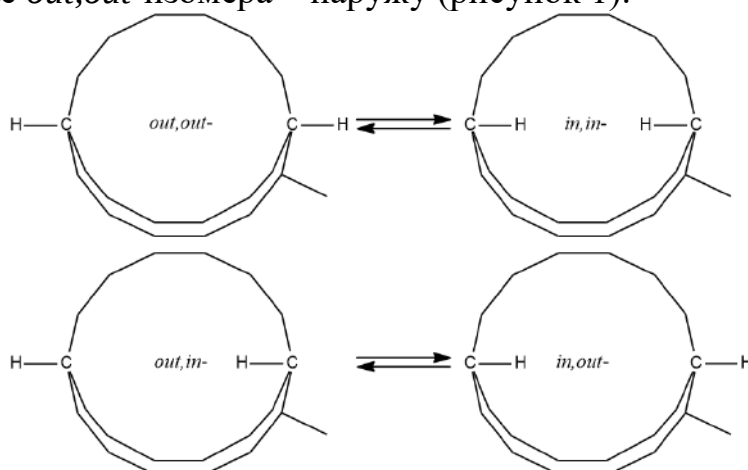


Рисунок 1 – Гомеоморфная изомеризация *out,out*- в *in,in*-форму и *out,in*- в *in,out*-форму

3. Установите, сколько изомерных продуктов образуется при последовательном протонировании макроциклического диамина, представленного на рисунке 2.

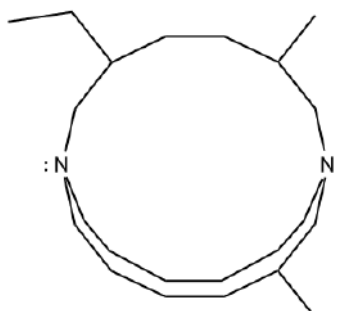
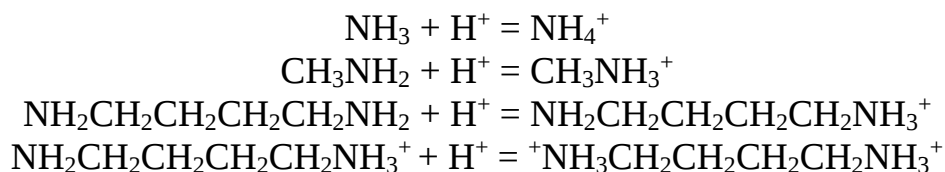


Рисунок 2 – Макроциклический диамин

Способность аминного азота к присоединению  $H^+$  обусловлена наличием у него неподеленной электронной пары. К примеру, схема

протонирования простейшего амина, метиламина, в сущности, ничем не отличается от протонирования аммиака, а протонирование диаминов происходит поэтапно:



Зачастую бывает так, что один изомер крайне затруднительно превратить в другой (представьте, к примеру, количество стадий синтеза для получения 1,2,3-триметилциклопропана из гексена-1). Тем не менее, существуют так называемые реакции изомеризации. Вам, вероятно, хорошо известна реакция изомеризации н-бутана в изобутан при нагревании в присутствии хлористого алюминия.

К еще одной реакции подобного типа (часто их называют перегруппировками) стоит отнести перегруппировку Коупа (рисунок 3), протекающую по схеме (для удобства атомы углерода пронумерованы):

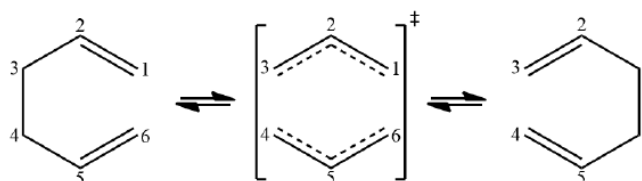


Рисунок 3 – Общая схема перегруппировки Коупа

Замена одного или нескольких атомов углерода в диене на азот приводит к соответствующим аза-диеновым системам, перегруппировка которых носит название аза-перегруппировки Коупа:

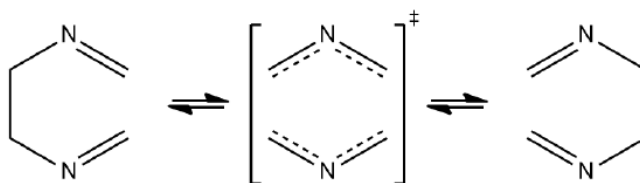
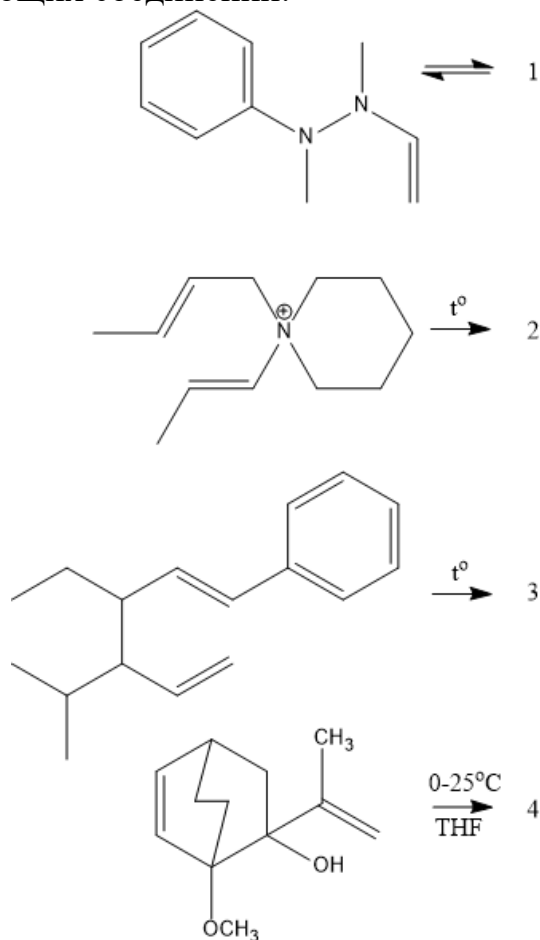
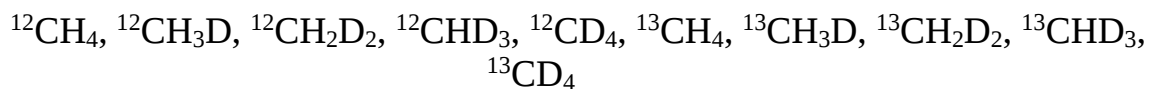


Рисунок 4 – Общая схема аза-перегруппировки Коупа

4. Пользуясь схемами на рисунках 3 и 4, предложите продукты перегруппировок следующих соединений:



Если соединения отличаются только своим изотопным составом (положение изотопной метки не важно), то они носят название *изотопологов*. К примеру, если рассматривать два изотопа водорода ( $^1\text{H}$ ,  $\text{D}$ ) и два изотопа углерода ( $^{12}\text{C}$  и  $^{13}\text{C}$ ), то можно записать десять различных изотопологов метана:



5. Сколько изотопологов может существовать у этанола ( $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ ), если при их составлении ограничиться следующими нуклидами:  $^1\text{H}$ ,  $\text{D}$ ,  $^{12}\text{C}$ ,  $^{13}\text{C}$ ,  $^{16}\text{O}$ ?

В случае же, когда молекулы отличаются друг от друга только лишь положением изотопной метки, они называются *изотопомерами* (к примеру,  $\text{CH}_3\text{-OD}$  и  $\text{CH}_2\text{D-OH}$ ).

6. Сколько изотопомеров существует для тридейтерированного этанола?

### Задание 3. Киндер церприз. (20 баллов)

Церий – самый распространенный редкоземельный металл. Металлический церий существует в виде нескольких аллотропных модификаций, устойчивых при различных температурах.

Соединения церия широко применяются в металлургии, органическом синтезе и катализе.

При взаимодействии перхлората церия(IV) с сульфатом калия в соотношениях 1:1 и 1:3 образуются соединения, содержащие комплексные ионы **A** и **B** соответственно. Если же исходные соединения взаимодействуют в соотношении 1:2, образуется простая соль **B**, которая в лабораторной практике используется в методе окислительно-восстановительного титрования, называемом цериметрией.

В некоторых комплексных соединениях церий, как и многие другие лантаноиды, проявляет аномально высокие координационные числа. Известно, например, что в комплексе **Г** реализуется 12 связей между  $\text{Ce}^{4+}$  и шестью лигандами  $\text{NO}_3^-$ .

Церий способен образовывать изоморфные кристаллы, встраиваясь в кристаллическую решетку флюорита.

1.  $\gamma$ -Модификация церия имеет гранецентрированную кубическую решетку. Рассчитайте объем элементарной ячейки для этой модификации. Плотность решетки примите равной  $8,16 \text{ г/см}^3$ . Ответ выразите в  $\text{м}^3$ .

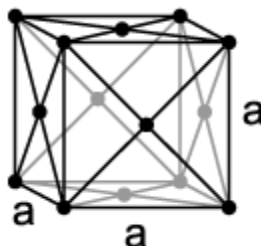


Рисунок 5 – Гранецентрированная кубическая решетка

2. Установите формулы комплексных ионов **A** и **B** и приведите сокращенные ионные уравнения реакций образования этих ионов.

3. Укажите, для количественного определения каких ионов в методе цериметрии применяется соединение **B**? Установите формулу **B**.

4. Установите химическую и структурную формулы соединения **Г**.

5. Что такое изоморфизм? Укажите требования к веществам, образующим изоморфные кристаллы.

6. Рассчитайте количество атомов церия в полый наночастице диоксида церия с внутренним диаметром 170 нм и толщиной  $2 \cdot 10^4$  пм ( $\rho(\text{CeO}_2) = 7,22 \text{ г/см}^3$ ).

*Справочные данные:*

Таблица перевода единиц измерения:

|      |                      |
|------|----------------------|
| 1 пм | $10^{-12} \text{ м}$ |
| 1 нм | $10^{-9} \text{ м}$  |

В кристаллической решетке можно выделить наименьший параллелепипед, трансляцией (размножением) которого во всех трех измерениях получается кристалл. Такая структурная единица называется элементарной ячейкой. Длина, ширина и высота такой ячейки называются ее параметрами.

#### 4. Посвящается Анри Луи Ле Шателье. (20 баллов)

Синтез аммиака из элементов – процесс Габера-Боша - по праву считают одной из важнейших промышленных химических реакций, когда-либо разработанных. Его реализация привела к значительному увеличению производства минеральных удобрений, что обеспечило резкий рост урожайности, а, значит, способствовало повышению количества населения и снижению голода. Однако этот процесс долгое время оставался



Анри Луи Ле Шателье

1850-1936

нереализованным, поскольку не могли подобрать условия его осуществления. Ситуация улучшилась после работ Анри Луи Ле Шателье, посвященных исследованию равновесия обратимых реакций.

1. Напишите реакцию синтеза аммиака из элементов. В чем, по Вашему, причина сложности её промышленной реализации?
2. Рассчитайте равновесный выход аммиака ( $\phi$ ) при различных температурах и давлениях, закончив таблицу:

| № опыта | Температура, К | Давление, МПа | $K_p$ (МПа <sup>-2</sup> ) | $\phi$ , % |
|---------|----------------|---------------|----------------------------|------------|
| 1       | 723            | 1,01          | $4,5 \cdot 10^{-5}$        |            |
| 2       | 723            | 30,30         | $7,9 \cdot 10^{-5}$        |            |
| 3       | 573            | 30,30         | $7,4 \cdot 10^{-3}$        |            |

Учтите, что приведенные в таблице константы равновесия ( $K_p$ ) выражены через парциальные давления реагентов.

3. Сравните результаты, полученные в опытах 1 – 2 и сделайте выводы о влиянии температуры и давления на процесс синтеза аммиака. Объясните причины такого влияния.
4. Сформулируйте принцип смещения равновесия обратимой реакции, предложенный Ле Шателье.
5. Напишите уравнения реакций взаимодействия аммиака с серной кислотой, магнием (при нагревании), водным раствором нитрата меди (II), фосфином, супероксидом калия.

Для справки:

1. Парциальное давление (лат. *partialis* «частичный») - давление,

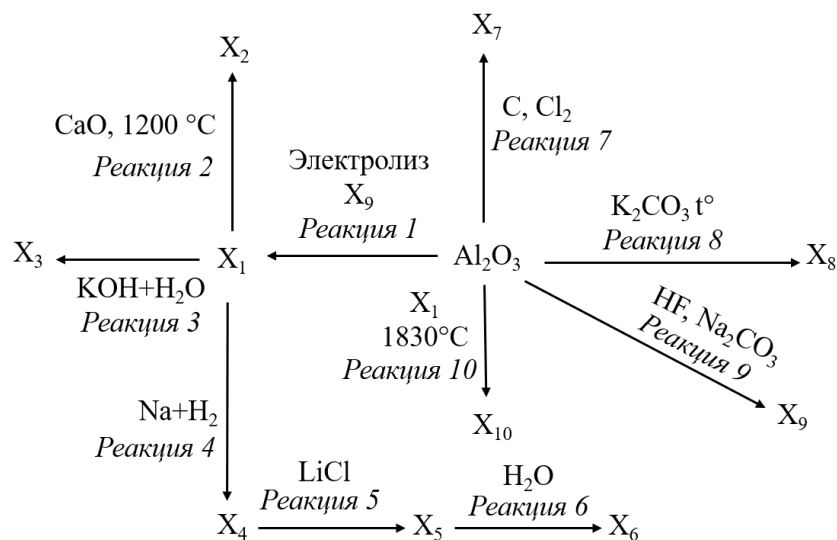
которое имел бы газ, входящий в состав газовой смеси, если бы он один занимал объём, равный объёму смеси при той же температуре. Общее давление газовой смеси является суммой парциальных давлений её компонентов.

Парциальное давление отдельных компонентов газов в идеальном газе рассчитывается по формуле:  $p_i = x_i \cdot P$ , где  $x_i$  - мольная доля компонента газовой смеси,  $P$  - общее давление газовой смеси.

2. Равновесный выход продукта – это отношение количества продукта реакции в момент равновесия к начальному количеству одного из реагентов (взятого не в избытке) с учетом стехиометрических коэффициентов.

### Задание 5. Забывчивая аспирантка. (20 баллов)

Аспирантка Люся забыла подготовиться к заседанию кафедры, на котором должна была сделать доклад о химических свойствах алюминия. Ее «подруга» Клавдия напомнила Люсе об этом, но сделала это в самый последний момент. Люся успела только схематично изобразить превращения алюминия, но не составила уравнения химических реакций. В спешке Люся умудрилась забыть, что скрывается под литерами «X». Точно помнила только, что везде зашифрованы соединения алюминия,  $X_2$  – смешанный оксид,  $X_7$  – средняя соль,  $X_3, X_4, X_5, X_9$  – комплексные соединения, а в реакции 10 образуется оксид с необычной степенью окисления для входящего в его состав металла. Помогите Люсе написать уравнения химических реакций, соответствующие следующей последовательности превращений, и укажите вещества  $X_1$ - $X_{10}$



# Периодическая система химических элементов



3.0-RU/EN-W

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

<



Приведённые в периодической системе данные актуальны по состоянию на 01.09.2023 года. Названия химических элементов указаны в соответствии с номенклатурой IUPAC (Международного союза теоретической и прикладной химии). Данные о стандартных атомных массах предоставлены Комиссией IUPAC по изотопному содержанию и атомным массам (CIAAW), Королевским химическим обществом (RSC), Американским физическим обществом и Объединённым институтом ядерных исследований (Россия). Визуализация атомных радиусов основана на информации Кембриджской базы структурных данных (CSD). Разработано на основе варианта дизайна ПХЭ от научно-популярного проекта «Химия – просто». Дизайнер: Андрей Зверев (<http://vk.com/ansvart>).

### РАСТВОРИМОСТЬ КИСЛОТ, СОЛЕЙ И ОСНОВАНИЙ В ВОДЕ

|                                              | H <sup>+</sup> | Li <sup>+</sup> | K <sup>+</sup> | Na <sup>+</sup> | NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> | Ba <sup>2+</sup> | Ca <sup>2+</sup> | Mg <sup>2+</sup> | Sr <sup>2+</sup> | Al <sup>3+</sup> | Cr <sup>3+</sup> | Fe <sup>2+</sup> | Fe <sup>3+</sup> | Mn <sup>2+</sup> | Zn <sup>2+</sup> | Ag <sup>+</sup> | Hg <sup>2+</sup> | Pb <sup>2+</sup> | Sn <sup>2+</sup> | Cu <sup>2+</sup> |
|----------------------------------------------|----------------|-----------------|----------------|-----------------|------------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| OH <sup>-</sup>                              |                | P               | P              | P               | P                            | P                | M                | H                | M                | H                | H                | H                | H                | H                | H                | —               | —                | H                | H                | H                |
| F <sup>-</sup>                               | P              | M               | P              | P               | P                            | M                | H                | H                | H                | M                | H                | H                | H                | P                | P                | P               | —                | H                | P                | P                |
| Cl <sup>-</sup>                              | P              | P               | P              | P               | P                            | P                | P                | P                | P                | P                | P                | P                | P                | P                | P                | H               | P                | M                | P                | P                |
| Br <sup>-</sup>                              | P              | P               | P              | P               | P                            | P                | P                | P                | P                | P                | P                | P                | P                | P                | P                | H               | M                | M                | P                | P                |
| I <sup>-</sup>                               | P              | P               | P              | P               | P                            | P                | P                | P                | P                | P                | ?                | P                | ?                | P                | P                | H               | H                | H                | M                | ?                |
| S <sup>2-</sup>                              | P              | P               | P              | P               | P                            | —                | —                | —                | H                | —                | —                | H                | —                | H                | H                | H               | H                | H                | H                | H                |
| HS <sup>-</sup>                              | P              | P               | P              | P               | P                            | P                | P                | P                | P                | ?                | ?                | ?                | ?                | ?                | ?                | ?               | ?                | ?                | ?                | ?                |
| SO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>                | P              | P               | P              | P               | P                            | H                | H                | M                | H                | ?                | —                | H                | ?                | ?                | M                | H               | H                | H                | ?                | ?                |
| SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>                | P              | P               | P              | P               | P                            | H                | M                | P                | H                | P                | P                | P                | P                | P                | P                | M               | —                | H                | P                | P                |
| HSO <sub>4</sub> <sup>-</sup>                | P              | P               | P              | P               | P                            | ?                | ?                | ?                | —                | ?                | ?                | ?                | ?                | ?                | ?                | ?               | ?                | H                | ?                | ?                |
| NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>                 | P              | P               | P              | P               | P                            | P                | P                | P                | P                | P                | P                | P                | P                | P                | P                | P               | P                | P                | —                | P                |
| NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>                 | P              | P               | P              | P               | P                            | P                | P                | P                | P                | ?                | ?                | ?                | ?                | ?                | ?                | M               | ?                | ?                | ?                | ?                |
| PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>                | P              | H               | P              | P               | —                            | H                | H                | H                | H                | H                | H                | H                | H                | H                | H                | H               | H                | H                | H                | H                |
| HPO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>               | P              | ?               | P              | P               | P                            | H                | H                | M                | H                | ?                | ?                | H                | ?                | H                | ?                | ?               | ?                | M                | H                | ?                |
| H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>  | P              | P               | P              | P               | P                            | P                | P                | P                | P                | ?                | ?                | P                | ?                | P                | P                | P               | ?                | —                | ?                | ?                |
| CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>                | P              | P               | P              | P               | P                            | H                | H                | H                | H                | ?                | ?                | H                | —                | H                | H                | H               | H                | H                | ?                | H                |
| HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>                | P              | P               | P              | P               | P                            | P                | P                | P                | P                | ?                | ?                | P                | ?                | ?                | ?                | ?               | ?                | P                | ?                | ?                |
| CH <sub>3</sub> COO <sup>-</sup>             | P              | P               | P              | P               | P                            | P                | P                | P                | P                | —                | P                | P                | —                | P                | P                | P               | P                | P                | —                | P                |
| SiO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>               | H              | H               | P              | P               | ?                            | H                | H                | H                | H                | ?                | ?                | H                | ?                | H                | H                | ?               | ?                | H                | ?                | ?                |
| MnO <sub>4</sub> <sup>-</sup>                | P              | P               | P              | P               | P                            | P                | P                | P                | P                | P                | ?                | ?                | ?                | ?                | P                | ?               | ?                | ?                | ?                | ?                |
| Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub> <sup>2-</sup> | P              | P               | P              | P               | P                            | M                | P                | ?                | H                | ?                | ?                | ?                | P                | ?                | ?                | H               | H                | M                | ?                | P                |
| CrO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>               | P              | P               | P              | P               | P                            | H                | P                | P                | H                | ?                | ?                | ?                | H                | H                | H                | H               | H                | H                | H                | H                |
| ClO <sub>3</sub> <sup>-</sup>                | P              | P               | P              | P               | P                            | P                | P                | P                | P                | P                | P                | ?                | ?                | P                | P                | P               | P                | P                | ?                | P                |
| ClO <sub>4</sub> <sup>-</sup>                | P              | P               | P              | P               | P                            | P                | P                | P                | P                | P                | P                | P                | P                | P                | P                | P               | P                | P                | ?                | P                |

«P» – растворяется (> 1 г на 100 г H<sub>2</sub>O);

«M» – мало растворяется (от 0,1 г до 1 г на 100 г H<sub>2</sub>O)

«H» – не растворяется (меньше 0,01 г на 1000 г воды);

«—» – в водной среде разлагается

«?» – нет достоверных сведений о существовании соединений

### РЯД АКТИВНОСТИ МЕТАЛЛОВ / ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЙ РЯД НАПРЯЖЕНИЙ

Li Rb K Ba Sr Ca Na Mg Al Mn Zn Cr Fe Cd Co Ni Sn Pb (H<sub>2</sub>) Sb Bi Cu Hg Ag Pt Au →

активность металлов уменьшается