

ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ СПбГУ ПО ХИМИИ.

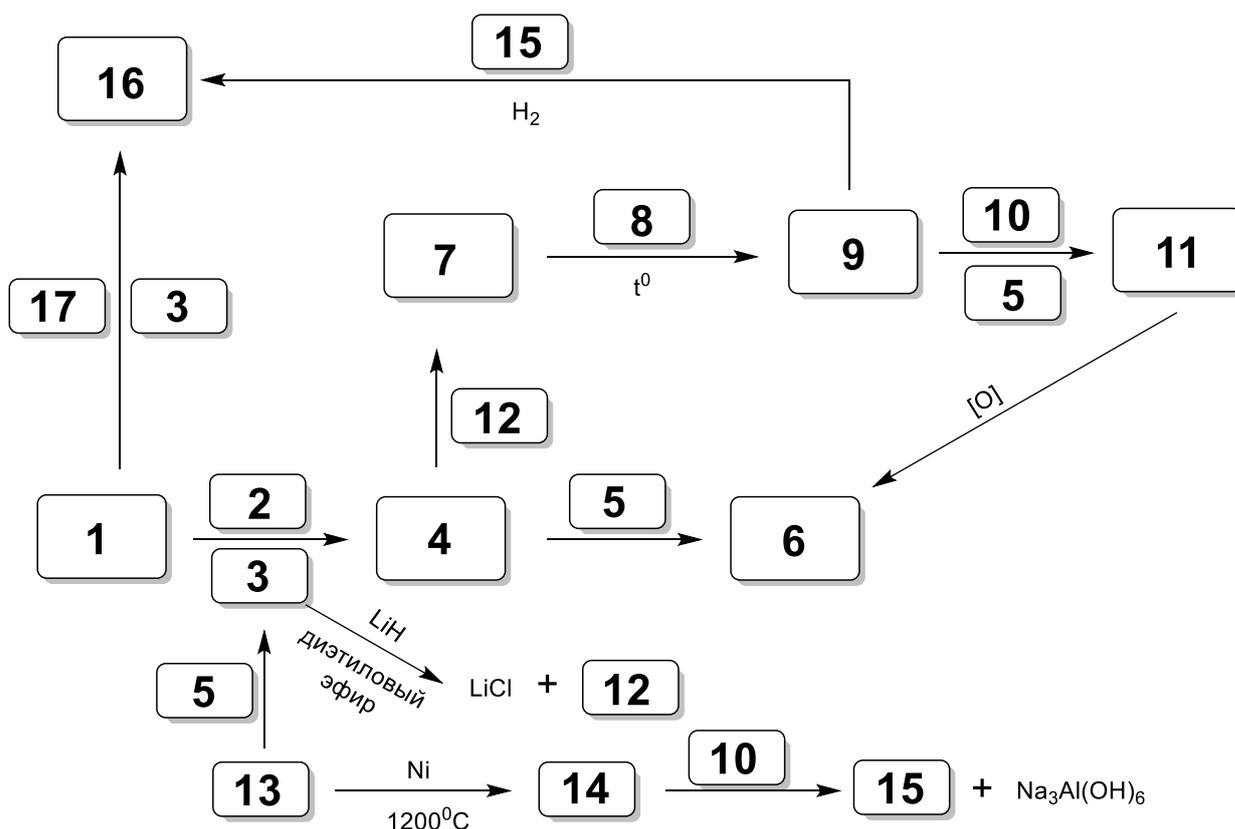
ЗАДАНИЯ ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНОГО ЭТАПА

10 класс

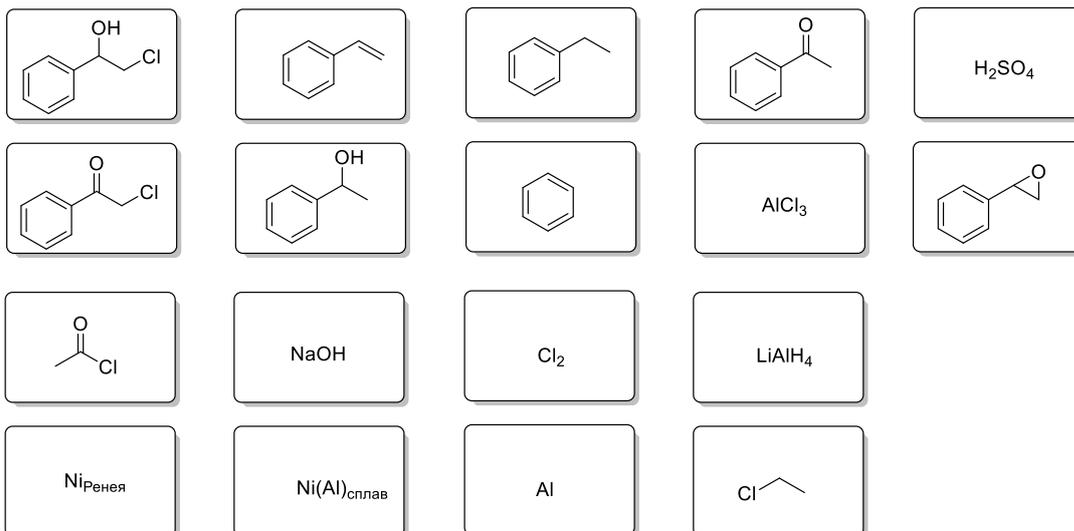
Задача 1. «Конструктор химических реакций» (20 баллов)

Никель Ренея, иначе «скелетный никель» — твёрдый микрокристаллический пористый никелевый катализатор, используемый во многих химико-технологических процессах; способ его приготовления предложил в 1926 году американский инженер Мюррей Реней. Данный катализатор используется для процессов гидрирования органических соединений (например, гидрирования аренов, алкенов, растительных масел и т. п.). Никель Ренея каталитически значительно менее активен, чем металлы платиновой группы, но значительно дешевле последних. В представленной схеме зашифрован как метод получения данного катализатора, так и вариант его использования.

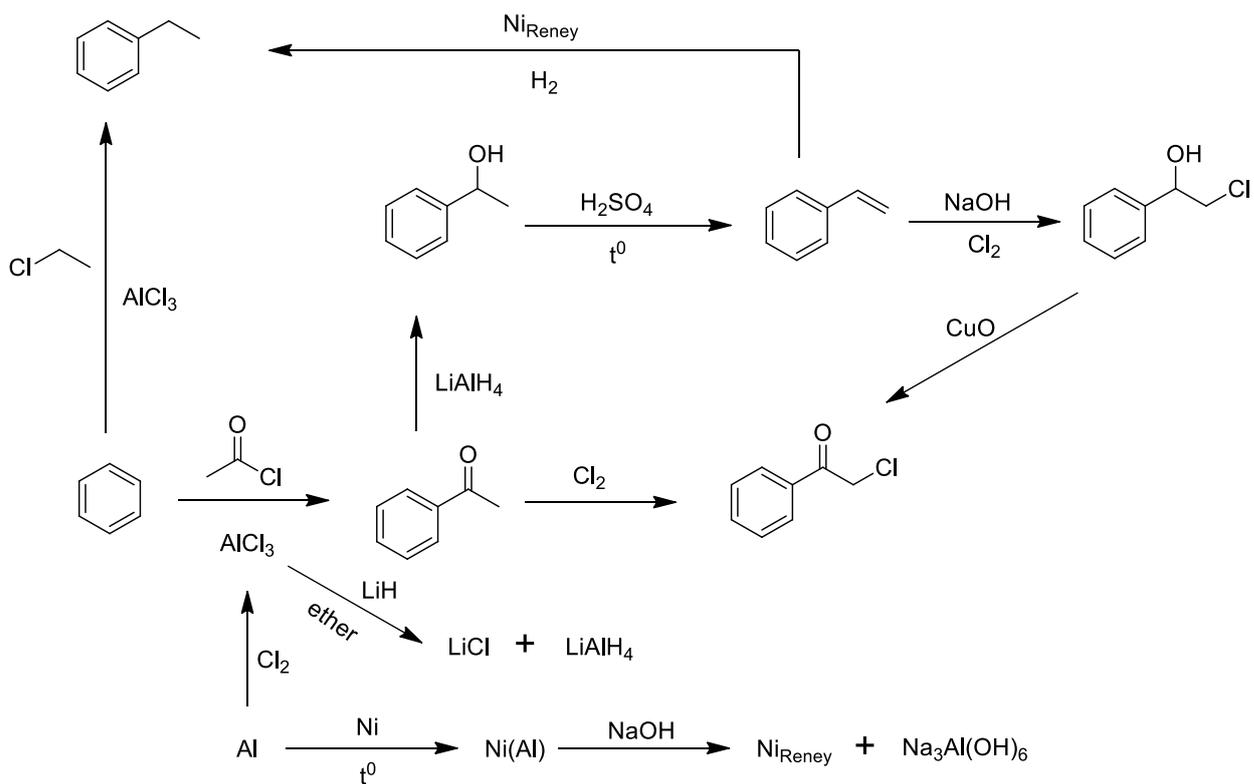
Из предложенного перечня реагентов и катализаторов составьте синтетическую схему превращений. Обратите внимание, что один из реагентов или катализаторов является лишним.



Реагенты, и катализаторы:



Решение



Задача 2. (20 баллов.)

При некоторой температуре мольное соотношение органических продуктов монохлорирования для 1,1,4,4-тетра(третбутил)циклогексана составляет 3:2, а для 2,2,4,4-тетраметил-3-(третбутил)пентана – 7:1. Оцените массовые доли продуктов монохлорирования 4,6-ди(изопропил)-2,2,3,8-тетраметилнонана в этих же условиях.

Решение: Молекула 1,1,4,4-тетра(третбутил)циклогексана содержит 36 атомов водорода при первичных атомах углерода и 8 атомов водорода при вторичных атомах углерода. Поскольку вероятность замещения того или иного атома водорода определяется как статистическим фактором, так и константой скоростью процесса (а точнее, произведением этих двух параметров), справедливо следующее:

$$k_2/36k_1 = 3/2 \text{ или } k_2/36k_1 = 2/3$$

В первом случае $k_2/k_1 = 6.25$, во втором - $k_2/k_1 = 3$. Учитывая невысокую селективность радикального хлорирования (существенно меньшую по сравнению с бромированием), можно заключить, что справедливо второе соотношение: константа скорости хлорирования по вторичному атому углерода в 3 раза выше, чем по первичному.

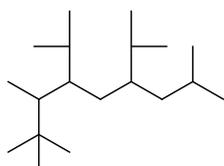
Молекула 2,2,4,4-тетраметил-3-(третбутил)пентана содержит 27 атомов водорода при первичных атомах углерода и 1 атомов водород при третичном атоме углерода.

$$k_3/27k_1 = 7 \text{ или } k_3/27k_1 = 1/7. \text{ Рассуждая аналогично предыдущему случаю, получаем } k_3 = 4,14k_1.$$

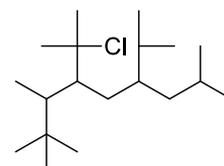
При моногалогенировании получается одно из приведенных ниже изомерных монохлорпроизводных и хлороводород. Массовая доля последнего составляет $36,5/(36,5 + 302,5) = 10,8\%$

Массовые доли галогенпроизводных:

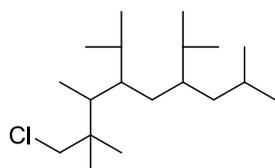
- 1-хлоро-4,6-ди(изопропил)-2,2,3,8-тетраметилнонана – 12,0%
- 3-хлоро-4,6-ди(изопропил)-2,2,3,8-тетраметилнонана – 5,5%
- 3-хлорометил-4,6-ди(изопропил)-2,2,8-триметилнонана – 4,0%
- 4-хлоро-4,6-ди(изопропил)-2,2,3,8-тетраметилнонана – 5,5%
- 4-(2-хлорпропан-2-ил)- 6-ди(изопропил)-2,2,3,8-тетраметилнонана – 5,5%
- 4-(1-хлорпропан-2-ил)- 6-ди(изопропил)-2,2,3,8-тетраметилнонана – 8,0%
- 5-хлоро-4,6-ди(изопропил)-2,2,3,8-тетраметилнонана – 8,0%
- 6-хлоро-4,6-ди(изопропил)-2,2,3,8-тетраметилнонана – 5,5%
- 6-(2-хлорпропан-2-ил)- 6-ди(изопропил)-2,2,3,8-тетраметилнонана – 5,5%
- 6-(1-хлорпропан-2-ил)- 6-ди(изопропил)-2,2,3,8-тетраметилнонана – 8,0%
- 7-хлоро-4,6-ди(изопропил)-2,2,3,8-тетраметилнонана – 8,0%
- 8-хлоро-4,6-ди(изопропил)-2,2,3,8-тетраметилнонана – 5,5%
- 1-хлоро-4,6-ди(изопропил)-2,7,8,8-тетраметилнонана – 8,0%



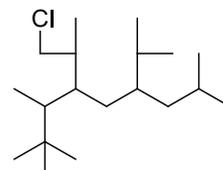
4,6-diisopropyl-2,2,3,8-tetramethylnonane



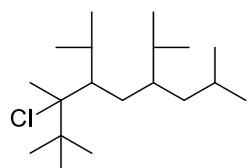
4-(2-chloropropan-2-yl)-6-isopropyl-2,2,3,8-tetramethylnonane



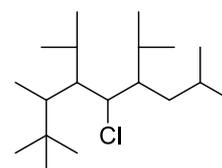
1-chloro-4,6-diisopropyl-2,2,3,8-tetramethylnonane



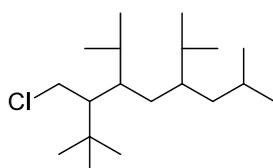
4-(1-chloropropan-2-yl)-6-isopropyl-2,2,3,8-tetramethylnonane



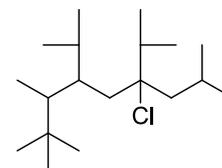
3-chloro-4,6-diisopropyl-2,2,3,8-tetramethylnonane



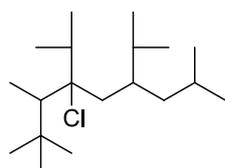
5-chloro-4,6-diisopropyl-2,2,3,8-tetramethylnonane



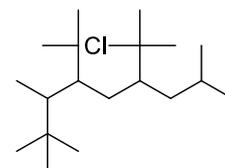
3-(chloromethyl)-4,6-diisopropyl-2,2,8-trimethylnonane



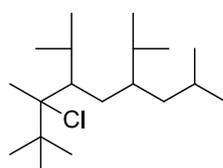
6-chloro-4,6-diisopropyl-2,2,3,8-tetramethylnonane



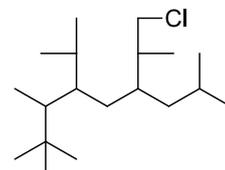
4-chloro-4,6-diisopropyl-2,2,3,8-tetramethylnonane



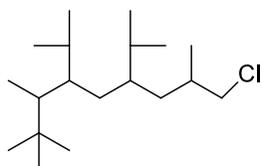
6-(2-chloropropan-2-yl)-4-isopropyl-2,2,3,8-tetramethylnonane



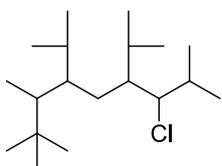
3-chloro-4,6-diisopropyl-2,2,3,8-tetramethylnonane



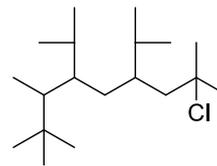
6-(1-chloropropan-2-yl)-4-isopropyl-2,2,3,8-tetramethylnonane



1-chloro-4,6-diisopropyl-2,7,8,8-tetramethylnonane



7-chloro-4,6-diisopropyl-2,2,3,8-tetramethylnonane



8-chloro-4,6-diisopropyl-2,2,3,8-tetramethylnonane

Оценивание:

1. Обсуждение необходимости учета как константы скорости, так и статистического фактора – 4 балла.
2. Определение соотношения констант скорости – 6 баллов.
3. Расчет массовых долей продуктов монохлорирования – по 0,5 балла за каждый органический продукт (7 баллов, если приведены все) и 3 балла за хлороводород.

Итого 20 баллов

Задача 3. (20 баллов)

Условие задачи:

В закрытых колбах приготовили 5 растворов веществ А, В и С с различными концентрациями $[A]_0$, $[B]_0$, $[C]_0$ (см. таблицу). Спустя 1 час выдерживания при постоянной температуре анализ растворов показал, что концентрации исходных веществ А, В и С несколько уменьшились, а также появились новые неизвестные вещества X, Y и Z:

Начальные концентрации, ммоль/л

| | Раствор №1 | Раствор №2 | Раствор №3 | Раствор №4 | Раствор №5 |
|---------|------------|------------|------------|------------|------------|
| $[A]_0$ | 10 | 20 | 20 | 20 | 5 |
| $[B]_0$ | 10 | 10 | 20 | 20 | 20 |
| $[C]_0$ | 10 | 10 | 10 | 20 | 8 |

| | Концентрации спустя 1 час, ммоль/л | | | | |
|-----|------------------------------------|------|-----|------|---|
| [A] | 9.2 | 18.4 | 18 | 18 | ? |
| [B] | 9.7 | 9.5 | 19 | 18.4 | ? |
| [C] | 9.8 | 9.8 | 9.6 | 18.4 | ? |
| [X] | 0.6 | 1.2 | 1.2 | 1.2 | ? |
| [Y] | 0.2 | 0.4 | 0.8 | 0.8 | ? |
| [Z] | 0.2 | 0.2 | 0.4 | 1.6 | ? |

На основе имеющихся данных, предположите, какие реакции происходят в системе. Запишите их стехиометрические уравнения, сохраняя буквенные обозначения веществ. Предскажите, чему будут равны концентрации А, В, С, Х, Y и Z спустя 1 час в растворе №5. Для справки:

- Скорость простой гомогенной химической реакции определяется как число элементарных актов реакции, происходящих в единице объёма системы за единицу времени, и может быть измерена в единицах $[\text{моль} \cdot \text{л}^{-1} \cdot \text{ч}^{-1}]$.
- За счёт протекания реакции концентрация каждого её участника за единицу времени изменяется на величину, равную скорости реакции, помноженной на стехиометрический коэффициент данного участника, взятый со знаком $-$ или $+$, в зависимости от того, расходуется ли это вещество (реагент) или накапливается (продукт).
- Согласно закону действия масс, скорость простой реакции в разбавленном растворе пропорциональна произведению концентраций её реагентов в степенях, равных их стехиометрическим коэффициентам.

Решение:

Очевидно, что вещества X, Y и Z образуются за счёт реакций между А, В и С. Необходимо понять, сколько таких реакций происходит одновременно.

Из данных таблицы видно, что степени превращения веществ А, В и С невелики. Так как, согласно ЗДМ, скорость каждой реакции зависит от концентраций реагентов, можно считать, что за 1 час эти скорости мало меняются и могут быть выражены через начальные концентрации реагентов. Скорости образования веществ X, Y и Z, по существу, равны приведённым в таблице концентрациям, т.к. они выросли с нуля до этих значений за 1 час (т.е. за единицу времени).

Рассмотрим вещество X. Видно, что на скорость его образования влияет только концентрация А: при её удвоении (сравнение растворов 1 – 2) X образуется тоже в 2 раза

больше. Увеличение концентраций В и С (сравнение растворов 2 – 3 и 3 – 4) не влияет на скорость его образования. Следовательно, X образуется только из А. Т.к. скорость реакции пропорциональна концентрации А (первый порядок), стехиометрический коэффициент при А должен быть равен 1.

Таким образом, реакция 1: $A \rightarrow X$.

При $[A]_0 = 10$ ммоль/л её скорость равна $0.6 \text{ ммоль} \cdot \text{л}^{-1} \cdot \text{ч}^{-1}$.

Если бы реакция 1 была единственным путём превращения А, то его расход должен быть равен количеству образовавшегося X. Однако мы видим, что в действительность он больше:

Для раствора №1 $[A]_0 - [A] = 0.8$ ммоль/л (а должно быть 0.6)

Для раствора №2 $[A]_0 - [A] = 1.6$ ммоль/л (а должно быть 1.2)

Следовательно, А дополнительно расходуется на образование других веществ.

Рассмотрим вещество Y. Видно, что скорость его образования удваивается как при удвоении $[A]_0$ (сравнение растворов 1 – 2), так и при удвоении $[B]_0$ (сравнение растворов 2 – 3), а от концентрации С – не зависит (сравнение растворов 3 – 4). Следовательно, Y должно образовываться из А и В, причём пропорциональность скорости концентрациям обоих реагентов (первый порядок по каждому) говорит о том, что стехиометрические коэффициенты при А и В должны быть равны единице. Стехиометрический коэффициент при Y тоже равен 1, т.к. в первом растворе из 0.8 ммоль/л А 0.6 пошло на образование X, а 0.2 – на образование 0.2 ммоль/л Y (соотношение 1:1).

Следовательно, реакция 2: $A + B \rightarrow Y$.

При $[A]_0 = [B]_0 = 10$ ммоль/л её скорость равна $0.2 \text{ ммоль} \cdot \text{л}^{-1} \cdot \text{ч}^{-1}$.

Из данных таблицы мы видим, что для каждого раствора уменьшение концентрации А равно сумме концентраций образовавшихся X и Y. Это подтверждает правильность сделанных выводов и говорит о том, что А расходуется только на образование X и Y. В то же время, расход В больше, чем накопление Y – значит, данный реагент расходуется и на образование Z.

Рассмотрим вещество Z. Скорость его образования не зависит от концентрации А (сравнение растворов 1 – 2), удваивается при удвоении $[B]_0$ (сравнение растворов 2 – 3), а при удвоении $[C]_0$ возрастает в 4 раза. Следовательно, стехиометрический коэффициент при В должен быть 1 (первый порядок), а при С – 2 (второй порядок). Найдём коэффициент при Z. В первом растворе 0.3 ммоль/л В было израсходовано на образование 0.2 ммоль/л Y и 0.2 ммоль/л Z. Поскольку коэффициент при Y равен 1, 0.2 ммоль/л Z должно было образоваться из 0.1 ммоль/л В, т.е. коэффициент при Z равен 2. Это подтверждается также тем фактом, что количество Z равно расходу С во всех растворах.

Следовательно, реакция 3: $B + 2C \rightarrow 2Z$.

При $[B]_0 = [C]_0 = 10$ ммоль/л её скорость равна 0.1 ммоль·л⁻¹·ч⁻¹.

Предскажем теперь состав раствора №5.

Скорость первой реакции (образования X) зависит только от концентрации A, при этом прямо ей пропорциональна. По сравнению с первым экспериментом $[A]_0$ уменьшилась в 2 раза – следовательно, вдвое уменьшится и количество образовавшегося X: $[X] = 0.3$ ммоль/л.

Скорость второй реакции (образования Y) прямо пропорциональна концентрациям A и B. По сравнению с первым раствором $[A]_0$ уменьшилась в 2 раза, а $[B]_0$ – увеличилась в 2 раза. Следовательно, скорость реакции не поменяется: $[Y] = 0.2$ ммоль/л.

Скорость третьей реакции (образования Z) прямо пропорциональна концентрации B и концентрации C в квадрате. Составим отношение скоростей для раствора №5 и раствора №1: $v_5/v_1 = (20 \cdot 8^2)/(10 \cdot 10^2) = 1280/1000 = 1.28$. Во столько раз скорость реакции 3 в пятом растворе будет больше, чем в первом. Следовательно, концентрация Z будет равна $[Z] = 0.2 \cdot 1.28 = 0.256$ ммоль/л

Принимая во внимание стехиометрию реакций, найдём недостающие концентрации A, B и C:

$$[A] = 5 - 0.3 - 0.2 = 4.5 \text{ ммоль/л}$$

$$[B] = 20 - 0.2 - 0.256/2 = 19.672 \text{ ммоль/л}$$

$$[C] = 8 - 0.256 = 7.744 \text{ ммоль/л}$$

Ответы и разбалловка:

| | | |
|--------------------|-------------------------|---------|
| Реакции | | |
| Реакция 1 | $A \rightarrow X$ | 3 балла |
| Реакция 2 | $A + B \rightarrow Y$ | 3 балла |
| Реакция 3 | $B + 2C \rightarrow 2Z$ | 3 балла |
| Состав раствора №5 | | |
| [A] | 4.5 ммоль/л | 1 балл |
| [B] | 19.672 ммоль/л | 2 балла |
| [C] | 7.744 ммоль/л | 2 балла |
| [X] | 0.3 ммоль/л | 2 балла |
| [Y] | 0.2 ммоль/л | 2 балла |
| [Z] | 0.256 ммоль/л | 2 балла |

Сумма: 20 баллов

Задача № 4. «Жизненно важный кальций» (20 баллов)

Одним из жизненно важных элементов является кальций, контроль за содержанием которого в плазме крови является актуальной задачей медицинской диагностики. Среди разработанных методик определения концентрации кальция в плазме крови пациента важнейшими являются спектрофотометрия и фотометрия пламени. В первом случае пробу крови пациента разводят в 100 раз 0.001 М ацетатным буферным раствором, затем по каплям добавляют аммиак до pH 11, прибавляют избыток о-крезолфталеина и определяют величину оптической плотности при длине волны 570 нм в кювете толщиной 1 см. Во втором случае образец крови пациента вносят в пламя аналитической горелки, определяют интегральную интенсивность аналитического сигнала (она пропорциональна содержанию аналита) и анализируют ее изменение при введении добавки стандарта.

При анализе крови пациента были получены следующие результаты:

1. Спектрофотометрический метод.

| | | | | | | | | | | |
|----------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|--------------------|--------------------------------------|
| C, 10 ⁻⁵ моль/л | 1.6 | 1.8 | 2.0 | 2.2 | 2.4 | 2.6 | 2.8 | 3.0 | Исслед. Образец | Он же, разбавленный в 1,2 раза |
| D | 0.15 | 0.22 | 0.37 | 0.52 | 0.67 | 0.82 | 0.92 | 0.97 | 0.84 | 0.53 |

2. Метод пламенной фотометрии

К двум одинаковым образцам пробы объемом по 0,25 мл добавили по 9,75 мл воды. К одной из проб добавили 10,0 мкл раствора CaCl_2 с концентрацией 0,05 моль/л. После компьютерного интегрирования (определения площади) полученных сигналов площади пиков составили $32,1 \cdot 10^6$ и $58,6 \cdot 10^6$ усл. ед. соответственно.

Рассчитайте содержание кальция в плазме крови (в ммоль/л) и определите, не страдает ли пациент гиперкальциемией (референсные значения содержания кальция – 2,10 – 2,55 ммоль/л).

Решение.

Определим, какой метод исследования является оптимальным. Кальций не является единственным катионом, присутствующим в плазме крови, следовательно, возможно образование окрашенных комплексов с о-крезолфталеином и другими ионами (например, ионом магния). В указанной методике не проводится маскирование мешающих ионов, что в итоге может приводить к заметному завышению результатов. По этой причине более надежным представляется метод спектрофотометрии пламени.

Интенсивность аналитического сигнала пропорциональна содержанию аналита. Тогда можно записать:

$$(n(\text{исх.}) + n(\text{добавл.})) / n(\text{исх.}) = 58,6/32,1 = 1,826, \text{ где } n - \text{ количество вещества кальция}$$

$$n(\text{добавл.}) = 0,05 \cdot 10 \cdot 10^{-6} = 5,0 \cdot 10^{-4} \text{ ммоль}$$

$$n(\text{исх.}) = 6,05 \cdot 10^{-4} \text{ ммоль}$$

$$C = 6,05 \cdot 10^{-4} / 0,25 = 2,42 \cdot 10^{-3} \text{ моль/л} = 2,42 \text{ ммоль/л}$$

Полученная величина лежит в пределах референсных значений.

Предложения по оцениванию:

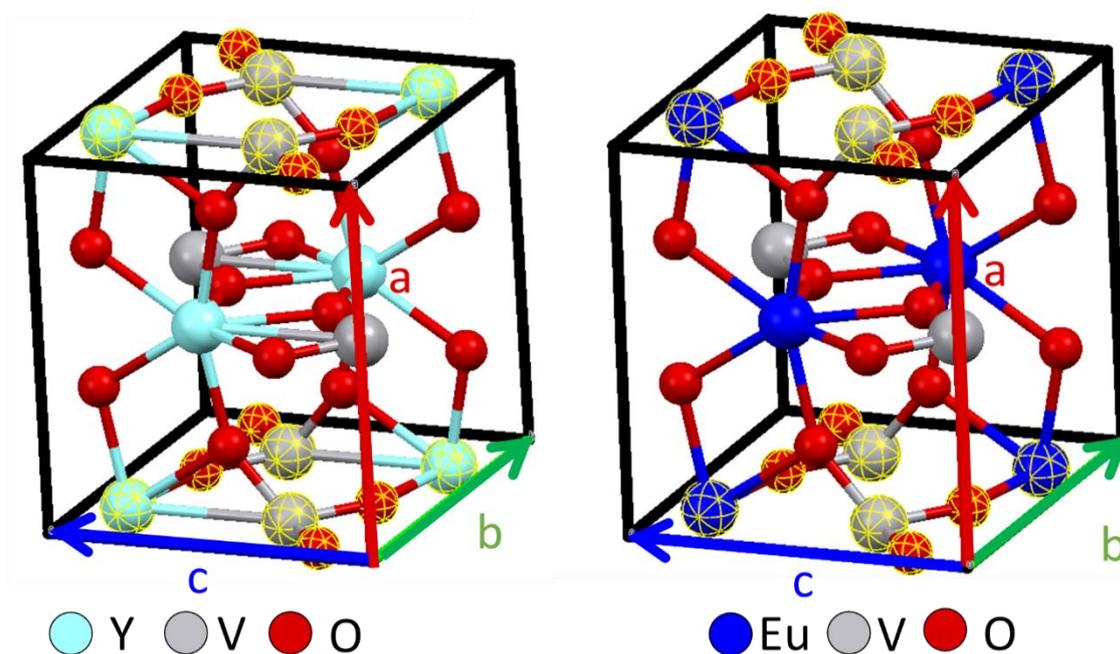
1. Выбор надежного метода исследования – 8 баллов (без обоснования – 4 балла).
2. Расчет концентрации кальция – 10 баллов (если проведен грамотный расчет по данным спектрофотометрии – расчет по данным для линейного участка, выведено уравнение прямой – 5 баллов)
3. Вывод о состоянии здоровья – 2 балла

Итого 20 баллов

Задача 5 (20 баллов)

Из-за схожести ионных радиусов редкоземельных элементов (РЗЭ), многие соединения редкоземельных ионов, к которым относятся иттрий, скандий, лантан и лантаноиды, способны образовывать твёрдые растворы замещения, в которых один вид ионов в кристаллической решётке частично замещён на другие. Несмотря на относительную схожесть химических свойств, различные ионы проявляют уникальные физические свойства, например, люминесценцию и высокие значения магнитной восприимчивости. Поэтому, вводя в состав материалов различные РЗЭ, можно получать функциональные (в том числе наноразмерные) материалы для применения в медицине (люминесцентные метки и МРТ контрастные вещества) и технике (светящиеся покрытия, защитные знаки денег и документов, плазменные и OLED экраны). Так, например, наночастицы ванадата иттрия с добавкой ионов европия могут применяться как люминесцентные термометры в живой клетке, так как форма спектра люминесценции таких частиц зависит от температуры.

Ванадаты иттрия и европия имеют тетрагональную кристаллическую решётку, элементарные ячейки которых представлены ниже. Элементарная ячейка определяется тремя базовыми векторами (параметры элементарной ячейки a , b и c); два из трёх базовых векторов имеют одинаковую длину, а третий отличается от них. Все три вектора перпендикулярны друг другу. Значения параметров элементарной ячейки для ванадата иттрия составляют - $a=b=0.7126$ нм, $c=0.6295$ нм, а для ванадата европия - $a=b=0.7237$ нм, $c=0.6368$ нм. Атомы, помеченные жёлтым, лежат на гранях гексаэдра.



- 4) Определите формулы ванадатов иттрия и европия исходя из их структуры и число формульных единиц, приходящихся на элементарную ячейку. Определите

координационные числа ионов иттрия и европия, учитывая, что ванадий не образует химическую связь с иттрием и европием.

- 5) Определите плотность ванадатов иттрия и европия в г/см³.
- 6) Ванадаты иттрия и европия способны образовывать твёрдые растворы замещения. То есть, ионы европия способны неограниченно замещать ионы иттрия в кристаллической решётке. Для твёрдых растворов замещения выполняется закон Вегарда, одним из следствий из которого является линейная зависимость объёма элементарной ячейки от атомной доли элемента. Рассчитайте объём элементарной ячейки и плотность ванадата иттрия в г/см³, в котором 16 процентов ионов иттрия заменено на ионы европия.
- 7) Предложите методы синтеза ванадатов европия, иттрия, а также указанного твёрдого раствора, взяв в качестве исходных соединений оксиды данных редкоземельных металлов. Приведите уравнения химических реакций.

Решение:

- 4) В элементарной ячейке ванадата иттрия находятся $2+4(\text{на гранях})\cdot 0.5 = 4$ атома иттрия, $2+4(\text{на гранях})\cdot 0.5 = 4$ атома ванадия и $10+8(\text{на гранях})\cdot 0.5 = 16$ атомов кислорода.

Итого, брутто формула $Y_4V_4O_{16}$ Формула ванадата иттрия **YVO₄**. В элементарной ячейке находятся **четыре формульных единицы** ванадата иттрия.

Аналогично для ванадата европия **EuVO₄**. В элементарной ячейке находятся **четыре формульных единицы** ванадата европия.

Координационное число иттрия и европия определяется числом связей с кислородом. Таким образом, координационные числа иттрия и европия составляют **7**.

- 5) Рассчитаем объёмы элементарной ячейки ванадатов иттрия и европия. Объём элементарной ячейки равен произведению параметров элементарной ячейки a, b и c, т.к. фигура, образованная данными векторами, является прямоугольной тетрагональной призмой.

$$V_{\text{я}}(YVO_4) = a \cdot b \cdot c = 0.7126 \text{ нм} \cdot 0.7126 \text{ нм} \cdot 0.6295 \text{ нм} = 0.3196 \text{ нм}^3 = 3.196 \cdot 10^{-22} \text{ см}^3$$

$$V_{\text{я}}(EuVO_4) = a \cdot b \cdot c = 0.7237 \text{ нм} \cdot 0.7126 \text{ нм} \cdot 0.6368 \text{ нм} = 0.3335 \text{ нм}^3 = 3.335 \cdot 10^{-22} \text{ см}^3$$

Рассчитаем массу одной элементарной ячейки

$$m_{\text{я}}(YVO_4) = 4 \cdot M(YVO_4) / N_A = 4 \cdot 204 \text{ г} \cdot \text{моль}^{-1} / 6.022 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1} = 1.355 \cdot 10^{-21} \text{ г}$$

$$m_{\text{я}}(EuVO_4) = 4 \cdot M(EuVO_4) / N_A = 4 \cdot 267 \text{ г} \cdot \text{моль}^{-1} / 6.022 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1} = 1.773 \cdot 10^{-21} \text{ г}$$

Рассчитаем плотность:

$$\rho(YVO_4) = m_{\text{я}}(YVO_4) / V_{\text{я}}(YVO_4) = 1.355 \cdot 10^{-21} \text{ г} / 3.196 \cdot 10^{-22} \text{ см}^3 = \underline{\underline{4.240 \text{ г/см}^3}}$$

$$\rho(\text{EuVO}_4) = m_{\text{эя}}(\text{EuVO}_4)/V_{\text{эя}}(\text{EuVO}_4) = 1.773 \cdot 10^{-21} \text{ г} / 3.335 \cdot 10^{-22} \text{ см}^3 = \underline{\underline{5.316 \text{ г/см}^3}}$$

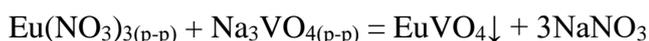
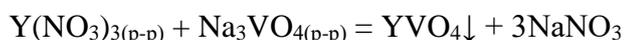
- б) Так как в твёрдых растворах замещения объём элементарной ячейки линейно зависит от атомной доли элемента, то объём элементарной ячейки соединения $\text{Y}_{0.84}\text{Eu}_{0.16}\text{VO}_4$ можно посчитать как:

$$V_{\text{эя}}(\text{Y}_{0.84}\text{Eu}_{0.16}\text{VO}_4) = 0.84 * V_{\text{эя}}(\text{YVO}_4) + 0.16 * V_{\text{эя}}(\text{EuVO}_4) = 0.84 * 0.3196 \text{ нм}^3 + 0.16 * 0.3335 \text{ нм}^3 = 0.3218 \text{ нм}^3 = 3.218 \cdot 10^{-22} \text{ см}^3$$

$$m_{\text{эя}}(\text{Y}_{0.84}\text{Eu}_{0.16}\text{VO}_4) = 4 * (0.84 * M(\text{YVO}_4) + 0.16 * M(\text{EuVO}_4)) / N_A = 4 * (0.84 * 204 \text{ г} \cdot \text{моль}^{-1} + 0.16 * 267 \text{ г} \cdot \text{моль}^{-1}) / 6.022 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1} = 1.422 \cdot 10^{-21} \text{ г}$$

$$\rho(\text{Y}_{0.84}\text{Eu}_{0.16}\text{VO}_4) = m_{\text{эя}}(\text{Y}_{0.84}\text{Eu}_{0.16}\text{VO}_4) / V_{\text{эя}}(\text{Y}_{0.84}\text{Eu}_{0.16}\text{VO}_4) = 1.422 \cdot 10^{-21} \text{ г} / 3.218 \cdot 10^{-22} \text{ см}^3 = \underline{\underline{4.419 \text{ г/см}^3}}$$

- 7) Один из возможных методов синтеза:



Необходимо указать, что нитраты европия(III) и иттрия необходимо взять в строго определенных мольных соотношениях (0.16 : 0.84)

Критерии оценивания:

- 4) Правильно определены формулы ванадатов иттрия и европия – 2*0.5 балла = 1 балл
 Правильно рассчитано число формульных единиц в элементарных ячейках – 2*1 балл = 2 балла
 Правильно определены координационные числа иттрия и европия 2*1 балл = 2 балла
- 5) Правильно рассчитаны объёмы элементарной ячейки ванадатов иттрия и европия 2*2 балла = 4 балла
 Правильно рассчитаны плотности ванадатов иттрия и европия 2*2 балла = 4 балла
- 6) Правильно рассчитан объём элементарной твёрдого раствора 2 балла
 Правильно рассчитана плотность твёрдого раствора 2 балла
- 7) Методы синтеза ванадатов иттрия и европия – по 1 баллу = 2 балла
 Метод синтеза твёрдого раствора с указанием соединения европия(III) и иттрия необходимо взять в строго определенных мольных соотношениях – 1 балл

Итого 20 баллов