



Химия для школьников

Химия

Категория участников: школьники 7-11 классов

Блок теоретических заданий по **химии для школьников 7-11 классов** включает задачи разной сложности. Для повышения вероятности прохождения на очный тур Вам желательно решить задачи не только по химии, но и по физике, математике, биологии, чтобы набрать больше баллов. Все прошедшие на очный тур обязательно решают задачи по всем четырем предметам.

Задания

1. Отделение воды от нефти

На рисунке в файле изображен оксид графена (ОГр). Это двумерный углеродный наноматериал. Часть атомов углерода окислена. В простейшем случае окисление приводит к образованию эпоксидных групп (см. рис.). Формула оксида графена C_xO , где x – переменное число...

2. Деградация красителя

Проблема загрязнения природных водоемов продуктами производственной деятельности человека, например, органическими красителями, представляет серьезный вызов, требующий нетривиальных подходов. В частности, в настоящее время широко изучается фотокаталитический метод...

3. Желтые кристаллы

Школьник нашел ампулу без этикетки с желтыми кристаллами игольчатой формы. Взвесив содержимое в перчаточном боксе в атмосфере аргона, он определил массу навески – 0,102 г. Навеска была разделена на три равные части для определения состава и проведения синтеза...

4. Неорганические люминофоры

Вещество **X** состоит из трех элементов – двух металлов и одного галогена (массовые доли элементов – 22.9%, 35.7%, 41.4%). Оно принадлежит хорошо известному классу неорганических веществ, однако его интересные оптические свойства были открыты совсем недавно...

5. Синтез полупроводника

Вещество **X** очень перспективно для электроники, т.к. проявляет свойства полупроводника, имеет слоистую структуру и может быть получено в виде монослоя подобно графену. Оно состоит из двух элементов – металла и неметалла. Массовая доля металла в **X** составляет 60%, а мольная – 1/3...

6. Оксидные соты

Одним из наиболее перспективных мембранных материалов последнего времени является нанопористый анодный оксид алюминия (рис. в файле). К его основным достоинствам, помимо всего прочего, можно отнести простоту получения и уникальную пористую структуру...

7. Новые материалы для литий-ионных аккумуляторов

В качестве материалов для анода в литий-ионных аккумуляторах требуются вещества, обладающие высокой устойчивостью. Одно из них – вещество **X** – соответствует этому требованию, но обладает низкой электрической и ионной проводимостью...

8. Магнитные наночастицы

Образец руды, содержащий металлы **A** и **B**, сожгли в токе воздуха. Образовавшийся твердый остаток растворили в соляной кислоте, а затем нейтрализовали раствором аммиака. При этом выпал бурый осадок **A₁**, который отфильтровали. Через фильтрат пропустили ток углекислого газа...

9. Там еще есть пустое место!

Темные кристаллы **X** и **Y** состоят из упорядоченно расположенных нанообъектов одинакового элементного состава. При этом в **A**, **B**, **C** – продуктах их реакций с простым веществом **Z** – структура и состав исходных нанообъектов остаются неизменными...

10. Моделирование и синтез каркасных наноструктур

Юный химик Полуэкт захотел изготовить замкнутые каркасные наноструктуры **Z** методом

самосборки. Для этого он решил комбинировать **k**-валентные **k**-угольники из фрагментов **X** с трехвалентным фрагментом **Y**, при этом они по отдельности не образуют связей сами с собой...

Химия для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Задача 1. Отделение воды от нефти

На рисунке 1 изображен оксид графена (ОГр). Это двумерный углеродный наноматериал. Часть атомов углерода окислена. В простейшем случае окисление приводит к образованию эпоксидных групп (см. рис. 1). Формула оксида графена C_xO , где x – переменное число, зависящее от способа окисления.

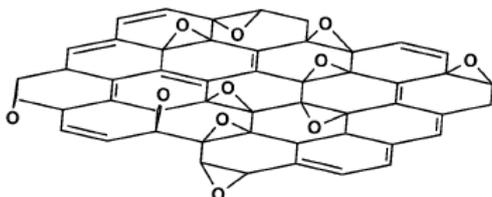


Рис. 1. Простейшая структура оксида графена.

Предполагается, что весь кислород входит в состав эпоксидных групп

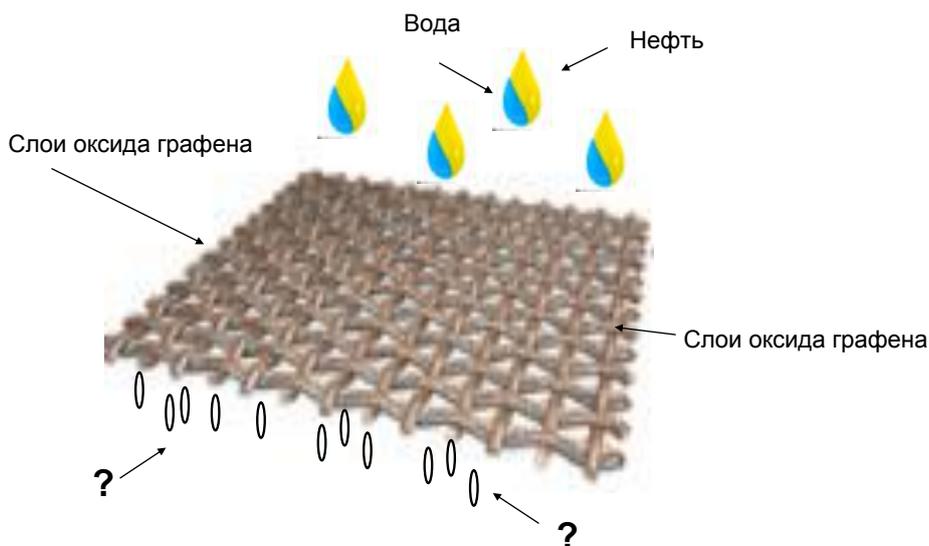


Рис. 2. Устройство для разделения воды и нефти. Металлическая сетка покрыта слоями оксида графена. Какая из жидкостей пройдет сквозь сетку?

Вопросы

1. Если в формуле ОГр $x = 6$, то какая доля (%) атомов С сохраняет sp^2 гибридизацию? **(2 балла)**
2. При восстановлении ОГр происходит увеличение x , а при полном восстановлении образуется графен. Хорошим восстановителем является гидразин.
 - а) Напишите уравнение реакции полного восстановления ОГр гидразином. Учтите, что азот изменяет степень окисления только на 1. **(1 балл)**

- б) Сколько граммов гидразина потребуется для превращения 50 мг ОГр состава C_3O в частично восстановленный ОГр с формулой $C_{13}O$? Для успешного проведения эксперимента требуется 15%-й избыток гидразина. **(2 балла)**

На рисунке 2 изображено устройство для отделения воды от нефти. Это стальная сетка, покрытая восстановленным ОГр.

Вот, как описывают авторы свой способ изготовления устройства:

«ОГр, приготовленный окислением исходного материала,....., растворяют в..... Стальную сетку в получившийся раствор на 24 часа, а затем на воздухе при температуре 40 °С. После этого сетку обрабатывают снизу кислородной плазмой для восстановления..... в сетке. Затем сетку обрабатывают гидразином. После этого поверхность сетки становится супер.....»

3.

- а) Вставьте в текст, выделенный курсивом, пропущенные слова. **(1,5 балла)**
- б) Если смесь воды и нефти подается сверху, что проходит сквозь сетку вниз, вода или нефть? Объясните. **(2,5 балла)**
- в) При изготовлении устройства авторы сначала окисляют *исходный материал*, а затем восстанавливают его гидразином. Почему нельзя сделать проще и сразу нанести *исходный материал* на сетку? **(1 балл)**

Всего – 10 баллов



Химия для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

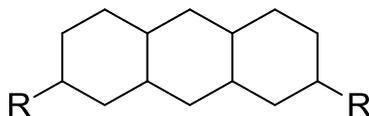
Задача 2. Дегградация красителя

Проблема загрязнения природных водоемов продуктами производственной деятельности человека, например, органическими красителями, представляет серьезный вызов, требующий нетривиальных подходов. В частности, в настоящее время широко изучается фотокаталитический метод дегградации подобных веществ с применением в качестве катализаторов наночастиц некоторых соединений.

Так, дегградация органического красителя **A** при облучении светом в водном растворе резко усиливается в присутствии наночастиц соединения **X**. Наночастицы **X** для целей эксперимента получают при нагревании раствора (в качестве растворителя выступает смесь воды и нескольких предельных спиртов) соединения **Y** – нитрата металла, содержащего 13,82% металла и 10,40% азота.

1. Установите формулы соединений **X** и **Y**, приведя логику своих рассуждений и необходимые расчеты. **(1,5 балла)**

Известно, что один из таутомеров катиона, образующего **A**, ($C_{16}H_{18}N_3S^+$) является высокосимметричным соединением, содержащим 2 типа атомов азота и 4 типа атомов водорода. Структура данного катиона может быть представлена в следующем виде без указания неопределенных связей (**R** – заместитель):



Учтите, что в формировании полициклической системы принимают участие 12 атомов углерода.

2. Установите структуру данного таутомера. **(2 балла)**
3. Какой таутомер **A** отвечает за наличие у данного вещества характерного цвета? **(1 балл)**

Дегградация **A** в водном растворе в присутствии наночастиц соединения **X** и пероксида водорода протекает с образованием частиц, имеющих, по данным одной из разновидностей масс-спектрометрии, ESI-MS следующие соотношения m/z : 270 (**A1**), 256 (**A2**) и 111 (**A3**, $C_6H_{11}N_2$, содержит систему из трех сопряженных двойных связей).

4. Установите структуры **A1-A3**, если они состоят из тех же элементов, что и **A**. **(3 балла)**
5. Предложите две реакции разложения пероксида водорода в присутствии наночастиц **X** с образованием реакционноспособных радикалов. **(2 балла)**
6. Каким основным свойством, кроме высокой каталитической активности, с Вашей точки зрения, должен обладать катализатор разложения органических веществ в сточных водах? **(0,5 балла)**

Известно, что красящие свойства соединения **A** лежат в основе одного из методов лечения некоторых психиатрических заболеваний, в частности биполярных расстройств.

7. Предложите механизм лечебного эффекта соединения **A**. Обусловлен ли он наноразмерными частицами? **(1 балл)**

Всего – 11 баллов



Химия для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

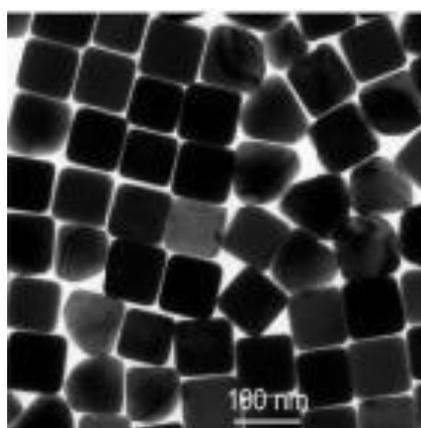
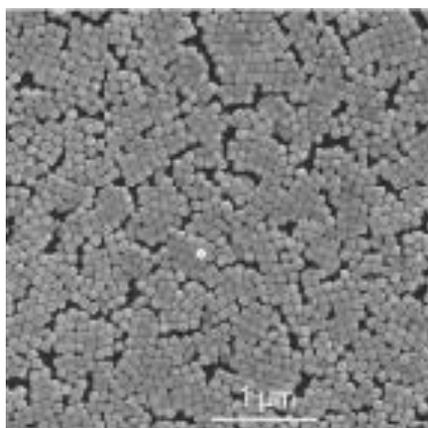
Задача 3. Желтые кристаллы

Школьник нашел ампулу без этикетки с желтыми кристаллами игольчатой формы. Взвесив содержимое в перчаточном боксе в атмосфере аргона, он определил массу навески – 0,102 г. Навеска была разделена на три равные части для определения состава и проведения синтеза.

Окислительно-восстановительные свойства соединения были исследованы юным экспериментатором в трех химических процессах. В первом случае навеска была растворена в 200 мл обезгаженной воды и подщелочена, далее при интенсивном перемешивании в водный раствор было впрыснуто 5 мл 0,1 М раствора боргидрида натрия, обладающего сильными восстановительными свойствами. При этом раствор в течение первой минуты имел желто-коричневую окраску, после чего сформировался коричневый осадок.

Вторая навеска также была растворена в 200 мл воды и подщелочена, далее при интенсивном перемешивании было добавлено 10 мл 0,05 М раствора цитрата натрия. Раствор не изменил окраску. Терпение естествоиспытателя имело пределы, и через 20 минут в раствор было впрыснуто еще 5 мл 0,1 раствора боргидрида натрия, приготовленного в избытке. К удовольствию школьника, был получен цветной раствор, имевший бордовую окраску, а выпадения осадка не наблюдалось. Спектр поглощения раствора содержал единственный широкий максимум ~530 нм.

Юный нанотехнолог догадался, каков состав соединения, и решил его использовать для обработки нанокристаллов серебра (см. рисунок). Для этого последняя навеска вещества была растворена в 50 мл воды, и при перемешивании добавлен 1 мл коллоидного раствора нанокристаллитов серебра, содержавший 0,0648 г кристаллов. Цвет продукта при этом изменился. Собрав осадок центрифугированием, школьник обнаружил, что масса осадка уменьшилась на 0,0127 г. При этом удалось установить, что в твердом продукте соотношение серебра и продукта гальванического восстановления 3 : 1.



1. Определите, какое вещество содержалось в ампуле. **(2 балла)**
2. Опишите химический процесс, протекавший с нанокристаллами серебра при взаимодействии с раствором вещества. **(2 балла)**

3. Предскажите, как изменится форма кристаллитов серебра после взаимодействия с раствором вещества. **(2 балла)**
4. Опишите процессы, протекавшие в экспериментах 1 и 2. Запишите уравнения реакций. Почему окраска растворов была разной? **(4 балла)**

Всего – 10 баллов



Химия для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Задача 4. Неорганические люминофоры

Вещество **X** состоит из трех элементов – двух металлов и одного галогена (массовые доли элементов – 22.9%, 35.7%, 41.4%). Оно принадлежит хорошо известному классу неорганических веществ, однако его интересные оптические свойства были открыты совсем недавно – они проявляются только тогда, когда **X** находится в виде нанокристаллов размером 4-15 нм. Нанокристаллы проявляют яркую люминесценцию в видимом диапазоне, причем длина волны излучения зависит от размера частиц.



Синтез наночастиц **X** осуществляют следующим способом. Навеску карбоната одновалентного металла (вещество **A**) массой 0.815 г растворяют в октадецене, добавляют 2.5 мл олеиновой кислоты и выдерживают смесь при 150 °С в атмосфере азота до окончания реакции. При охлаждении до комнатной температуры выпадает осадок вещества **B** массой 2.07 г.

Затем в трехгорлую колбу помещают 69 мг галогенида свинца (вещество **C**), добавляют 5 мл растворителя (октадецена), по 0.5 мл олеиламина и олеиновой кислоты (стабилизаторы). Смесь нагревают до 140-200 °С (в зависимости от температуры получают частицы разного размера) и вносят в нее 0.4 мл 0.125 М горячего раствора **B** в октадецене. Через 5 секунд раствор быстро охлаждают, образовавшиеся наночастицы **X** отделяют от раствора центрифугированием и затем диспергируют в гексане, получая коллоидный раствор.

1. Определите формулы веществ **A**, **B**, **C**, **X** и напишите уравнения реакций образования **B** и **X**. (6 баллов)
2. Сколько наночастиц получили? Примите, что реакция их образования идет со 100%-м выходом, средний радиус частицы – 5 нм, плотность **X** равна 4.75 г/см³. (2 балла)
3. Для создания люминесцентного материала (изображен на фото) наночастицы **X** равномерно распределили в объеме полимера. Для этого к 1 мл метилметакрилата добавили 10 мг фотоинициатора и 120 мкл раствора наночастиц **X** в гексане (концентрация 20 мг/мл), полученную смесь полимеризовали под действием света. Оцените, сколько наночастиц содержится в одном кубическом сантиметре полимера? Параметры частиц – те же, что и в п. 2. (1 балл)

Всего – 9 баллов



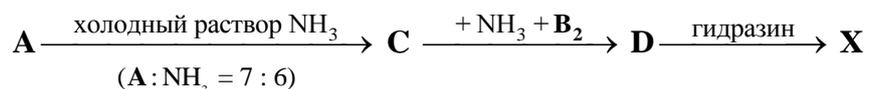
Химия для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Задача 5. Синтез полупроводника

Вещество **X** очень перспективно для электроники, так как проявляет свойства полупроводника, имеет слоистую структуру и может быть получено в виде монослоя подобно графену. Оно состоит из двух элементов – металла и неметалла. Массовая доля металла в **X** составляет 60%, а мольная – 1/3.

Способы синтеза **X** очень разнообразны и позволяют получать **X** в виде тонких пленок, квантовых точек, нанонитей и др. Пленки формируются при химическом осаждении из газовой фазы. В качестве прекурсора обычно используют бинарное соединение **A**, в котором массовая доля металла равна примерно 2/3. Для получения пленок **X** вещество **A** восстанавливают при высокой температуре газами **B₁** или **B₂**, имеющими плотность по водороду 11.7 и 17, соответственно.

Квантовые точки **X** получают с помощью окислительно-восстановительной реакции в растворе. Цепочка превращений, используемых в данном синтезе, имеет вид:



D – соль бескислородной кислоты (молярная масса соли – 260 г/моль), в которой металл входит только в состав аниона. Окислительно-восстановительной является лишь заключительная стадия.

1. Определите формулы веществ **X**, **A**, **B₂**, **C**, **D**. Ответ подтвердите расчетами и аргументами. **(5 баллов)**
2. Определите состав газа **B₁**. **(1 балл)**
3. Напишите уравнения всех пяти реакций. **(5 баллов)**

Всего – 11 баллов



Химия для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Задача 6. Оксидные соты

Одним из наиболее перспективных мембранных материалов последнего времени является нанопористый анодный оксид алюминия (рис. 1). К его основным достоинствам, помимо всего прочего, можно отнести простоту получения и уникальную пористую структуру: прямые цилиндрические поры с гексагональным упорядочением, близким к идеальному.

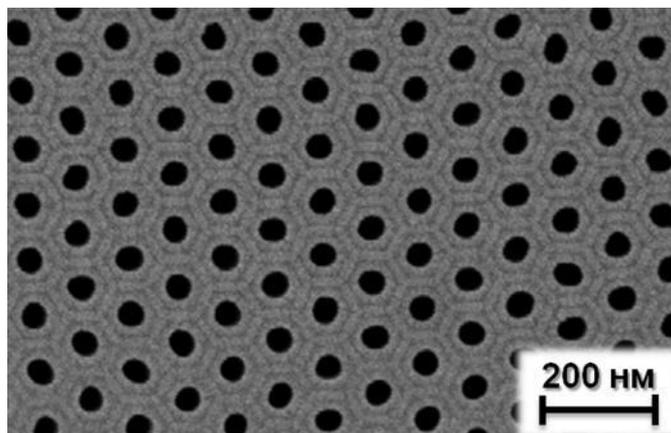


Рис. 1. Нанопористый анодный оксид алюминия

Для синтеза подобной оксидной плёнки толщиной 50 мкм и диаметром 1.2 см методом электрохимического окисления алюминиевой пластинки при 40 В достаточно пропустить заряд 113 Кл. Анализ раствора электролита (0.3 М водный раствор щавелевой кислоты, $V = 250$ мл) показал, что содержание катионов алюминия равно $1.1 \cdot 10^{-4}$ М, а масса полученного образца уменьшается на 3.3% после длительного прокалывания в инертной атмосфере при 1200 °С.

1. Напишите уравнения реакций, о которых идет речь в задаче. **(2 балла)**
2. Найдите плотность (в г/см^3) получаемых оксидных плёнок (не подвергнутых термическому воздействию). Выход по току примите равным 95%. **(5 баллов)**

Считается, что при этом образуется аморфный оксид алюминия, плотность которого равна 3.61 г/см^3 .

3. Исходя из этих данных, оцените пористость синтезированных образцов. Под пористостью принято понимать отношение суммарного объёма пор к объёму образца. **(2 балла)**

Всего – 9 баллов



Химия для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Задача 7. Новые материалы для литий-ионных аккумуляторов

В качестве материалов для анода в литий-ионных аккумуляторах требуются вещества, обладающие высокой устойчивостью. Одно из них – вещество **X** – соответствует этому требованию, но обладает низкой электрической и ионной проводимостью. Для получения сферических наночастиц вещества **X**, поверхность которых содержит атомы серебра, используют гидротермальный золь-гель синтез.

Исходным веществом для получения **X** служит бесцветная жидкость **A**, которая энергично взаимодействует с водой с выделением органического вещества **B** и белого осадка **C**, который при прокаливании образует устойчивый оксид **D**, содержащий 40 % кислорода по массе. Из 4,25 г **A** можно получить 1,00 г **D**. Известно, что вещество **B** может быть получено в одну стадию из 1-хлорбутана. Вещество **A** сначала вводят в реакцию с органическим веществом **E**, содержащим 38,71% C, 9,68% H и кислород. При кипячении **A** в избытке **E** образуется продукт **L**, причем из 1 г **A** можно получить 0,494 г **L**. Взаимодействием **A** с раствором нитрата серебра в **E** получены сферические частицы прекурсора, который при взаимодействии с раствором гидроксида лития в этаноле и последующем прокаливании на воздухе дает продукт **X**, имеющий при разных количествах введенного количества нитрата серебра на одинаковое количество остальных реагентов, следующий состав:

- (1) Li 5,95%; O 40,78%, Ag 2,29%, остальное – неизвестный элемент
- (2) Li 5,81%; O 39,87%, Ag 4,49%, остальное – неизвестный элемент

1. Определите все неизвестные вещества. **(7 баллов)**
2. Напишите уравнения всех реакций. **(3 балла)**
3. Какую роль играет серебро при использовании **X** в качестве материала анода?
(1 балл)

Всего – 11 баллов



Химия для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Задача 8. Магнитные наночастицы

Образец руды, содержащий металлы **A** и **B**, сожгли в токе воздуха. Образовавшийся твердый остаток растворили в соляной кислоте, а затем нейтрализовали раствором аммиака. При этом выпал бурый осадок **A₁**, который отфильтровали. Через фильтрат пропускали ток углекислого газа до прекращения выпадения осадка **B₁**. Осадок отфильтровали и прокалили до постоянной массы, образовалось вещество **B₂**. Вещества **A₁** и **B₂** по отдельности растворили в соляной кислоте, при этом были получены растворы веществ **A₂** и **B₃**. К раствору **A₂** прибавляли избыток щелочи до тех пор, пока выпавший осадок полностью не перешел в бесцветный раствор вещества **A₃**. При добавлении к этому раствору раствора **B₃** наблюдалось выпадение коричневого осадка, который при прокаливании превратился в черный порошок, состоящий из наночастиц вещества **D**.

1. Определите неизвестные вещества, если известно, что в наночастицах **D** содержится 46,47 % **A** и 26,97 % **B** по массе. **(4 балла)**
2. Напишите уравнения всех описанных реакций. **(4 балла)**
3. Какую руду (минерал) могли использовать? **(1 балл)**

Всего – 9 баллов

Химия для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Задача 9. Там еще есть пустое место!

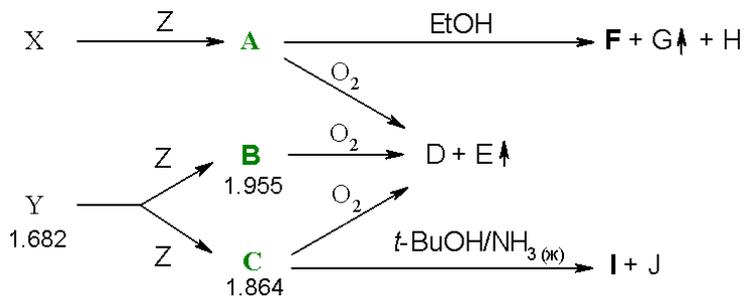
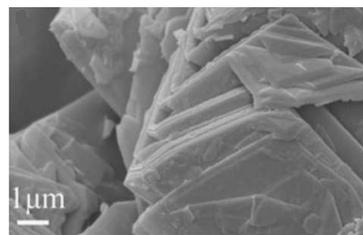
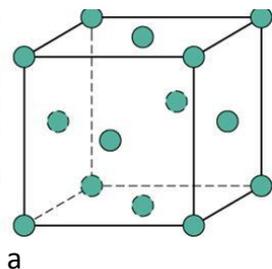
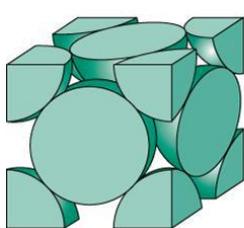


Рис.1. Темные кристаллы **X** и **Y** состоят из упорядоченно расположенных нанобъектов одинакового элементного состава. При этом в **A**, **B**, **C** – продуктах их реакций с простым веществом **Z** – структура и состав исходных нанобъектов остаются неизменными. При действии кислот на **D** выделяется содержащийся в атмосфере газ **E**. На схеме указаны плотности **Y**, **B** и **C** (в г/см³). Относительная плотность $D_G(E) = 22$, соотношение массовых долей элемента **Z** в **A** и **C** составляет 2,96.

Известно, что наночастицы **N** радиусом 0,501 нм в кристаллической структуре веществ **Y**, **B** и **C** образуют плотнейшую упаковку (рис. а). При этом в соединениях **B** и **C** атомы элемента **Z** стехиометрически заполняют пустоты между наночастицами **N**.



1. Рассмотрите элементарную ячейку **Y** (рис. а). Сколько наночастиц **N** приходится на одну такую ячейку? **(0,5 балла)** Соприкасающиеся наночастицы **N** образуют многогранники, в центрах которых находятся пустоты. Назовите эти многогранники. **(1 балл)** Сколько пустот, отвечающих каждому типу многогранников, приходится на элементарную ячейку? Рассчитайте все возможные* значения q для состава NZ_q . **(1,5 балла)**
2. Найдите значения q для веществ **B** и **C** и установите, какие при этом* пустоты заполняются элементом **Z** **(1,5 балла)**, а также определите молярную массу наночастицы **N** **(1 балл)** (ответы подтвердите расчетами). Расшифруйте формулы всех веществ на схеме превращений. К какому классу соединений относятся **A**, **B**, **C**? **(3 балла)** Приведите названия как для кристаллов **X** и **Y**, так и для нанобъектов, из которых они «составлены». **(1 балл)**
3. Что представляет собой вещество **F** (микрофотография приведена на рис. б) и каков механизм его образования, если его элементный состав идентичен **X**? **(0,5 балла)**

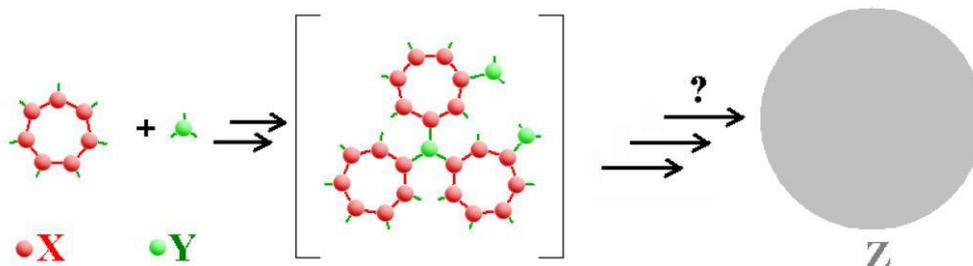
*заполнение элементом **Z** пустот в **Y** считать стехиометрическим: ни один тип пустот не может быть заполнен частично.

Всего – 10 баллов

Химия для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Задача 10. Моделирование и синтез каркасных наноструктур

Юный химик Полуэкт захотел изготовить замкнутые каркасные наноструктуры **Z** методом самосборки. Для этого он решил комбинировать **k**-валентные **k**-угольники из фрагментов **X** с трехвалентным фрагментом **Y**, при этом они по отдельности не образуют связей сами с собой, но легко реагируют друг с другом, как на рисунке (приведен пример для **k = 7**):



1. В каком мольном соотношении необходимо смешивать реагенты X_k и Y , чтобы они могли целиком прореагировать друг с другом с образованием **Z**? **(0,5 балла)** Используя теорему Эйлера для выпуклых многогранников, помогите Полуэктору найти все X_k , для которых возможно получение замкнутой каркасной наноструктуры **Z**. **(2,5 балла)** Опишите эти наноструктуры **Z** (сколько и каких вершин они содержат, в вершинах каких геометрических фигур расположены фрагменты Y , сколько и каких многоугольников содержат такие **Z**). **(2 балла)**
2. Укажите, как необходимо проводить реакцию синтеза **Z**: быстро сливать растворы вместе, или же медленно смешивать их по каплям; маленькие или большие концентрации реагентов при этом использовать. **(1 балл)** Поясните, что получится, если Полуэкт сделает все наоборот. **(1 балл)**
3. Каково может быть применение таких наноструктур **Z**? Какими свойствами они должны для этого обладать? **(1 балл)**
4. Допустим, трехвалентный фрагмент Y способен при нагревании образовывать связи сам с собой. Можно ли посоветовать Полуэктору использовать эту реакцию для сборки каркасных наноструктур, отвечающих таким же многогранникам, как и **Z**? Поясните. **(1 балл)**
5. Приведите пример химических структур, которые могут стоять за X_k и Y , если под буквами могут подразумеваться не только химические элементы, но и любые подходящие фрагменты, а связи $X-X$ и $X-Y$ могут быть представлены, в том числе, цепочками атомов. Объясните, за счет чего при этом будут связываться фрагменты. **(1 балл)**

При решении считайте, что все каркасные наноструктуры **Z** содержат только два типа многоугольников и не содержат «свободных» связей.

Всего – 10 баллов