



## Химия для школьников

Комплекс предметов

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 заключительный тур желательно решить задачи не только по химии, но и по математике, биологии, физике, чтобы набрать больше баллов. Дополнительные баллы будут начислены за прохождение двух тестов: ["Нанотест - приглашение на Олимпиаду"](#) и ["Тест ЗНТШ"](#).

### Задания

#### 1. Синтез графитоподобного вещества

Слабая кислота **X** известна большинству благодаря своим солям, многие из которых токсичны. Менее известно, что это вещество в больших количествах производится и потребляется химической промышленностью. При взаимодействии **X** с хлором образуется бесцветный газ **Y**...

#### 2. Наночастицы против бактерий

Фермент лизоцим разрушает клеточные стенки бактерий путем гидролиза пептидогликана. Его антибактериальную активность увеличивают наночастицы **X**, образующие с ним наногибридную систему. Для получения **X** используют раствор соли **Y**, в который добавляют аскорбиновую кислоту...

#### 3. Изомерные комплексы золота

Для синтеза каталитически активных наночастиц золота часто используют  $\text{H}[\text{AuCl}_4]$ , однако присутствие примесных анионов хлора в полученных катализаторах приводит к их низкой стабильности вследствие агрегации. Чтобы избежать подобного загрязнения наночастиц...

#### 4. Адсорбция на мембране

Известно, что нанофильтрационные процессы сопровождаются не только диффузией ионов через мембрану, но и их специфической адсорбцией на поверхности мембранного материала, которая зависит от поверхностного заряда, возникающего вследствие протонирования и депротонирования...

## 5. Нанокатализатор

Гетерогенный катализатор исследовали на предмет активности в модельной реакции дегидрирования этана. Катализатор представляет собой сложный оксид, содержащий два металла в высших степенях окисления +5 и +6 (M1 и M2, соответственно)...

## 6. Перспективный состав

Молодому химику, увлекающемуся вопросами альтернативной энергетики, принесли на анализ 10,0 г желтого вещества. Нагревание вещества не приводит к видимым изменениям до температуры около 800°C, вещество плавится без разложения при 900°C...

## 7. Как очистить воду от солей?

Для этого можно использовать специальные мембраны, которые пропускают воду, но задерживают соли. Речь идет о солях щелочных и щелочноземельных металлов, главным образом, хлоридах. Одно из таких устройств изображено на рисунке в файле задачи...

*Решение обновлено 05.02.21*

## 8. Надежные ферменты

Основой многих нанобиосистем (например, молекулярных моторов и насосов, высокоточных тест-систем) являются ферменты – белки, в некоторых случаях также содержащие компоненты небелковой природы. Часто перед исследователями встает вопрос создания конструкций...

## 9. Одномерные нанореакторы

На рисунке 1 представлена схема получения некоторых нанобъектов **В – I**, исходя из **А** - одностенной закрытой углеродной нанотрубки (зУНТ) при участии бакибола  $C_{60}$ , коронена **Г** и ацетилена. ПЭМ-изображения полученных нанобъектов **С, F, I**...

## 10. 2D материал

2D-материал **В** впервые был получен из вещества **С** травлением в 50%-й плавиковой

кислоте. **С** состоит из 3-х элементов: **М**, **А** и **Х**, их массовые доли в **С** равны 73.85%, 13.85% и 12.30%, соответственно. **Х** образует бинарные соединения с **М** (вещество **Д**) и с **А** (вещество **Е**)...



## Химия для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

### Задача 1. Синтез графитоподобного вещества

Слабая кислота **X** известна большинству благодаря своим солям, многие из которых токсичны. Менее известно, что это вещество в больших количествах производится и потребляется химической промышленностью. При взаимодействии **X** с хлором образуется бесцветный газ **Y** (*реакция 1*), хорошо растворимый в воде. В присутствии кислоты газ **Y** тримеризуется, превращаясь в твердое негорючее вещество **Z**, которое разлагается гидроксидом калия с образованием двух солей (*реакция 2*). При действии на **Z** амидом натрия при 200°C образуется смесь нанокристаллического белого порошка **M** и бесцветных кристаллов **R**, окрашивающих пламя в желтый цвет. Белый порошок **M** имеет структуру графита, при сжигании образует газовую смесь с плотностью по гелию 9,4 (*реакция 3*). При пропускании этой смеси через раствор щелочи (*реакция 4*) выходящий газ оказывается немного легче воздуха.

1. Установите формулы веществ **X**, **Y**, **Z**, **M**, **R**. Для веществ **Z** и **M** приведите структурные формулы. **(5 баллов)**
2. Напишите уравнения реакций (1) – (4). **(4 балла)**
3. Какое применение находит нанопорошок **M**? **(1 балл)**

**Всего – 10 баллов**



## Химия для школьников 7 – 11 класса (заочный тур) Задача 2. Наночастицы против бактерий

Фермент лизоцим разрушает клеточные стенки бактерий путем гидролиза пептидогликана. Его антибактериальную активность увеличивают наночастицы **X**, образующие с ним наногибридную систему. Для получения **X** используют раствор соли **Y**, в который добавляют аскорбиновую кислоту. При сгорании на воздухе наночастицы **X** превращаются в белый порошок **Z**, который при сплавлении с карбонатом калия, превращается в **Y**. Известно, что из 1,17 г **X** таким способом можно получить 3,04 г **Y**, при этом в последней реакции выделяется 332 мл газа (н.у.).

1. Установите формулы веществ **X**, **Y**, **Z** и напишите уравнения всех описанных реакций. Ответ подтвердите расчетом. **(6 баллов)**
2. Какую роль играет аскорбиновая кислота в этом синтезе? Чем ее можно заменить? **(3 балла)**
3. Спектр поглощения наночастиц **X** (**A** – поглощение) приведен на рисунке ниже. Какую окраску они имеют? **(1 балл)**

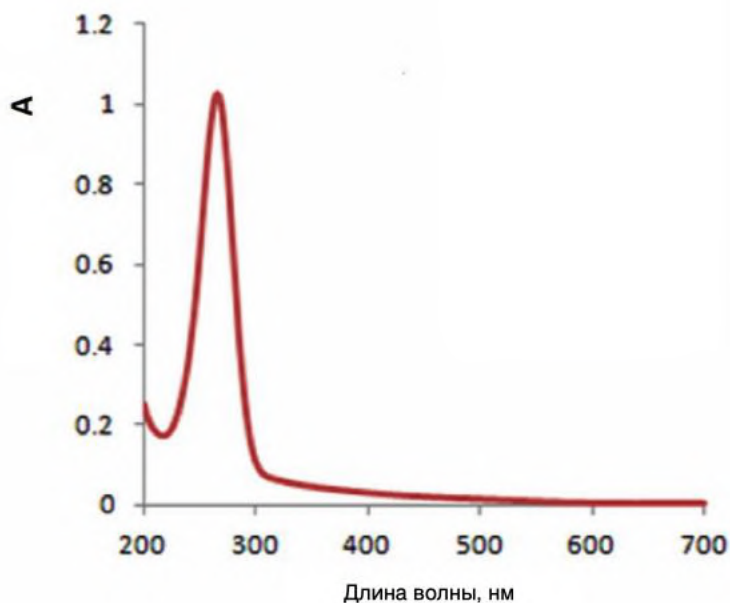


Рис. Спектр поглощения наночастиц **X**

Всего – 10 баллов



**Химия для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)**  
**Задача 3. Изомерные комплексы золота**

Для синтеза каталитически активных наночастиц золота часто используют  $\text{H[AuCl}_4]$ , однако присутствие примесных анионов хлора в полученных катализаторах приводит к их низкой стабильности вследствие агрегации. Чтобы избежать подобного загрязнения наночастиц, методику синтеза дополняют одной промежуточной стадией: исходный водный раствор  $\text{H[AuCl}_4]$  смешивают с водным раствором нитрата аммония, после чего к полученной смеси по каплям добавляют водный раствор аммиака. В результате образуется комплексное соединение **X**, не содержащее хлорид-анионов и довольно хорошо растворимое в воде. Термическое разложение высушенного соединения **X**, проведённое в токе водорода, позволяет получить наночастицы золота, потеря массы при этом составляет 49,4%.

1. Определите состав соединения **X** (подтвердите расчётом). Запишите уравнения реакций его получения из  $\text{H[AuCl}_4]$  и термического разложения в токе водорода. **(5 баллов)**
2. Предложите возможные структуры соединения **X**. **(2 балла)**
3. Предложите химический способ, с помощью которого можно различить эти изомеры. Запишите уравнения реакций. **(3 балла)**

**Всего – 10 баллов**



**Химия для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)**  
**Задача 4. Адсорбция на мембране**

Известно, что нанофильтрационные процессы сопровождаются не только диффузией ионов через мембрану, но и их специфической адсорбцией на поверхности мембранного материала, которая зависит от поверхностного заряда, возникающего вследствие протонирования и депротонирования функциональных групп.

1. Определите полную площадь поверхности мембраны из анодного оксида алюминия, имеющей сквозные цилиндрические поры диаметром 26 нм. Масса мембраны 0,5 г, её толщина 100 мкм, а поры занимают 10% всего объёма материала. Плотность пористого оксида алюминия 3,2 г/см<sup>3</sup>. **(6 баллов)**
2. Какие ионы – катионы K<sup>+</sup> или анионы Cl<sup>-</sup> – будут преимущественно адсорбироваться на стенках пор при диффузии раствора KCl через мембрану с поверхностной плотностью заряда 0,2 Кл/м<sup>2</sup>? Ответ поясните. **(1 балл)**
3. Какое максимальное количество этих ионов сможет адсорбировать мембрана, имеющая все перечисленные выше параметры? **(3 балла)**

**Всего – 10 баллов**



## Химия для школьников 7 – 11 класса (заочный тур) Задача 5. Нанокатализатор

Гетерогенный катализатор исследовали на предмет активности в модельной реакции дегидрирования этана.

Катализатор представляет собой сложный оксид, содержащий два металла в высших степенях окисления +5 и +6 (M1 и M2, соответственно). Оба металла находят применение в промышленности. M1 известен своим тугоплавким карбидом, применяемых в конструкции ТВЭЛ, его также используют в ряде стран для изготовления разноцветных монет. M2 интересен тем, что из него изготавливаются компоненты ламп накаливания.

Синтез сложного оксида можно осуществить обжигом продуктов гидролиза, образующихся при сливании одинаковых объемов растворов компонентов, а именно солянокислого раствора  $H[M1Cl_6]$  (содержание металла M1 в растворе – 4.645 г в 100 мл раствора) и раствора  $(NH_4)_6(M2)_7O_{24}$  с концентрацией соли 124.69 г/л. Для получения чистого продукта сформировавшийся после сливания растворов белый осадок следует выдержать при температуре 80 °С для усиления гидролиза и далее отфильтровать.

При изучении процесса окисления этана выяснилось, что эффективность катализатора с размером частиц 100 нм выше, чем для катализатора с размером частиц 2 мкм. Результаты кинетических измерений представлены в таблице.

Таблица. Данные каталитического эксперимента

Время, с	0	10	20	40	60
Парциальное давление этана в реакторе, $10^{-5}$ атм	2.0	1.6	1.3	0.80	0.55

1. Определите химический состав катализатора. Запишите уравнения, описывающие метод его синтеза. **(6 баллов)**
2. Определите порядок реакции каталитического дегидрирования этана. **(2 балла)**
3. В каких еще промышленных процессах может быть эффективен данный катализатор? Приведите не менее двух примеров с уравнениями реакций. **(2 балла)**

**Всего – 10 баллов**





## Химия для школьников 7 – 11 класса (заочный тур) Задача 6. Перспективный состав

Молодому химику, увлекающемуся вопросами альтернативной энергетики, принесли на анализ 10,0 г желтого вещества. Нагревание вещества не приводит к видимым изменениям до температуры около 800°C, вещество плавится без разложения при 900°C.

«Это вещество может составить конкуренцию свинец-содержащим перовскитам в солнечной энергетике», - подумал химик и исследовал оптический спектр вещества. Край поглощения вещества находится около 625–630 нм.

Вещество растворили в избытке азотной кислоты при умеренном нагревании. При этом выделилось 5,28 г жидкости бурого цвета, прекрасно экстрагируемой в неполярную фазу, и сформировался светлый осадок, окрашивающий лакмусовую индикаторную бумагу в красный цвет. После отделения и высушивания осадка при 300 °С получено 2,38 г желтого кристаллического продукта постоянного состава. Масс-спектрометрический анализ осадка показал, что он содержит элемент, встречающийся в природе, преимущественно, в виде сульфидов, простейший из которых используется человеком еще с древних времен для чернения посуды и в косметике.

Ученый решил попробовать синтезировать нанокристаллы этого вещества самостоятельно. Для этого он использовал белое вещество с ионным типом связи, водный раствор сильной кислоты, обладающей восстановительными свойствами, и желтоватое гигроскопичное вещество, которое может быть получено взаимодействием двух простых веществ. Полученный коллоидный раствор имеет желтый цвет, однако фотолюминесценция нанокристаллов наблюдается в голубой области.

Исследование фотокаталитических свойств нанокристаллов вещества показало их высокую каталитическую активность в реакции восстановления диоксида углерода.

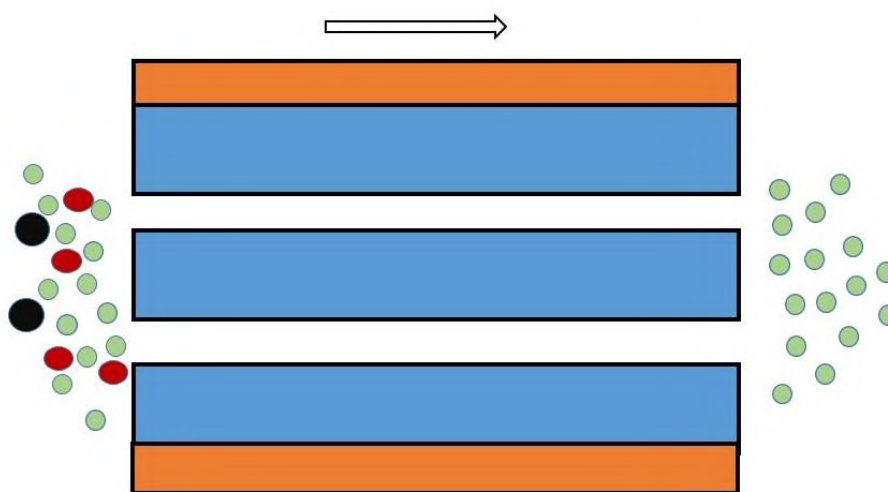
1. Определите химический состав соединения, которое принесли ученому на анализ. Запишите уравнение реакции его взаимодействия с азотной кислотой. **(7 баллов)**
2. Запишите основные реакции, используемые в методике синтеза нанокристаллов данного вещества. **(3 балла)**

**Всего – 10 баллов**



**Химия для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)**  
**Задача 7. Как очистить воду от солей?**

Для этого можно использовать специальные мембраны, которые пропускают воду, но задерживают соли. Речь идет о солях щелочных и щелочноземельных металлов, главным образом, хлоридах. Одно из таких устройств изображено на рисунке 1. В структуре углеродного наноматериала – оксида графита – есть тонкие капилляры (поры – параллелепипеды). Оксид графита – это продукт окисления графита смесью сильных окислителей (приблизительная формула  $\text{CO}_{0,34}\text{H}_{0,02}$ , соотношение углерод/кислород может меняться от трех до двух). Оксид графита сохраняет слоистую структуру, присущую графиту, но часть атомов на графитовых плоскостях окислена.



*Рис. 1. Мембрана из оксида графита. Синим цветом обозначена сама мембрана с двумя капиллярами. Коричневый цвет – крепление мембраны. Зеленые кружки – молекулы воды. Цветные кружки – соли. Стрелка указывает направление движения сквозь мембрану.*

1. В виде каких частиц соли присутствуют в воде? **(1 балл)**
2. Почему мембрану нужно делать из оксида графита, а такая же мембрана, изготовленная из неокисленного графита не работает? **(2 балла)**
3. Какого диаметра (приблизительно!) должны быть капилляры в мембране для того, чтобы очищать воду от солей? **(2 балла)**
4. Установлено, что при больших диаметрах капилляров соли проходят через мембрану, и фильтрации не происходит. Рисунок 2 показывает, как уменьшается концентрация соли в растворе после прохождения сквозь мембрану при уменьшении ширины (толщины) пор. Пользуясь рисунком, предложите формулу описывающую зависимость концентрации в отфильтрованном растворе от ширины поры. **(3 балла)**
5. Предложите механизм, объясняющий, почему количество ионов калия, прошедших через мембрану, с уменьшением диаметра падает, как показано на рисунке 2. **(2 балла)**

*Рис. 2. Зависимость концентрации иона  $K^+$  в отфильтрованном растворе от толщины пор в мембране. Величины по осям даны в условных единицах. Красная пунктирная линия – концентрация в исходном растворе.*

**Всего – 10 баллов**



## Химия для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

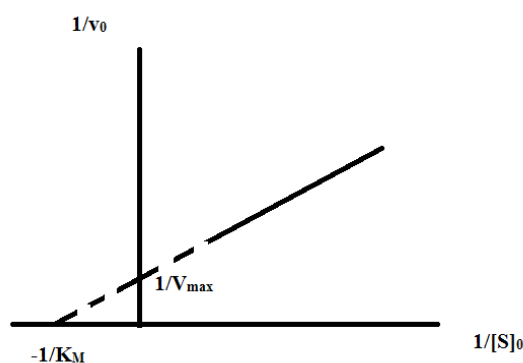
### Задача 8. Надежные ферменты

Основой многих нанобиосистем (например, молекулярных моторов и насосов, высокоточных тест-систем) являются ферменты – белки, в некоторых случаях также содержащие компоненты небелковой природы. Часто перед исследователями встает вопрос создания конструкций, в которых биокатализаторы связаны с наночастицами органической или неорганической природы, и здесь на помощь приходит иммобилизация ферментов на носителях.

Для эффективного связывания с белком носитель обычно приходится активировать или вводить так называемый бифункциональный сшивающий агент.

1. Запишите схемы иммобилизации фермента на носителе, содержащем гидроксильные группы, с использованием:
  - a) глутарового диальдегида; **(1 балл)**
  - b) бромциана в присутствии триэтиламина. **(1 балл)**
2. Обоснуйте выбор групп(ы) белка, задействованных(ой) в иммобилизации. **(1 балл)**
3. Укажите побочные реакции, которые могут снижать эффективность иммобилизации. **(1 балл)**
4. Объясните роль триэтиламина при использовании бромцианового метода. **(1 балл)**

Иммобилизация существенно влияет на каталитические характеристики ферментов, в первую очередь, на каталитическую активность и стабильность. В случае использования носителя макроскопических размеров реакция может протекать в двух режимах: кинетическом (представлен на рисунке ниже в двойных обратных координатах) или диффузионном, при котором скорость всего процесса определяется диффузией субстрата к ферменту в приповерхностном слое. В каждом конкретном случае есть определенная начальная концентрация субстрата  $[S]_{0,trans}$ , при которой происходит смена режимов.



*Рис. Зависимость скорости ферментативной реакции от концентрации субстрата в двойных обратных координатах.*

5. Приведите в двойных обратных координатах график, иллюстрирующий катализ иммобилизованным ферментом в кинетическом и диффузионном режимах. Укажите, в каком интервале какой режим наблюдается, и отметьте  $[S]_{0,trans}$ . **(2 балла)**

6. В эксперименте установлено, что при 25 °С катализ иммобилизованным ферментом осуществляется в режиме диффузионных ограничений. Возможен ли переход в кинетический режим при повышении температуры проведения реакции, если диффузия зависит от температуры существенно меньше, чем скорость реакции? **(2 балла)**
7. Возможен ли режим диффузионного контроля при использовании наноразмерных носителей? **(1 балл)**

**Всего – 10 баллов**



**Химия для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)**  
**Задача 9. Одномерные нанореакторы**

На рисунке 1 представлена схема получения некоторых нанобъектов **B – I**, исходя из **A** – одностенной закрытой углеродной нанотрубки (зУНТ) при участии бакибола  $C_{60}$ , коронена **G** и ацетилена. ПЭМ-изображения полученных нанобъектов **C, F, I**, а также промежуточных продуктов реакции превращения **C** в **D** ( $D_1^*$  и  $D_2^*$ ), показаны на рисунке 2.

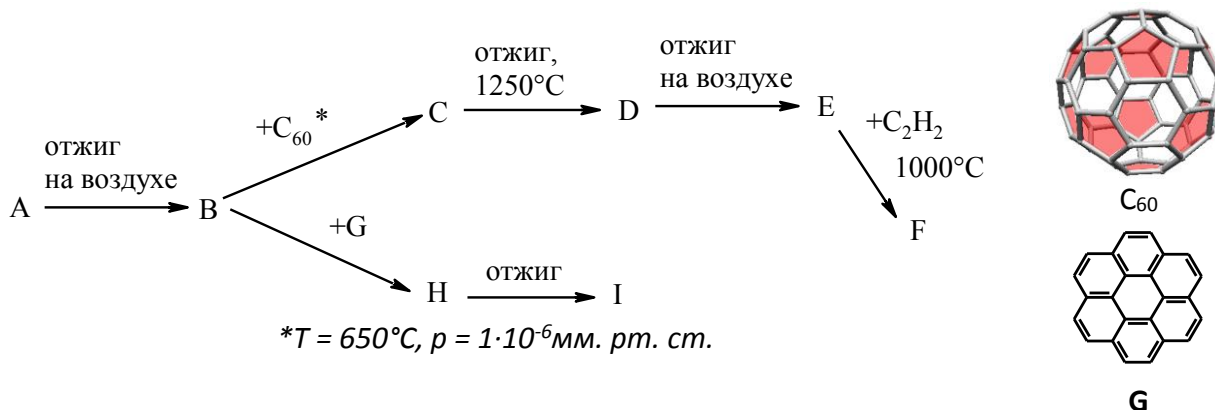


Рис. 1.

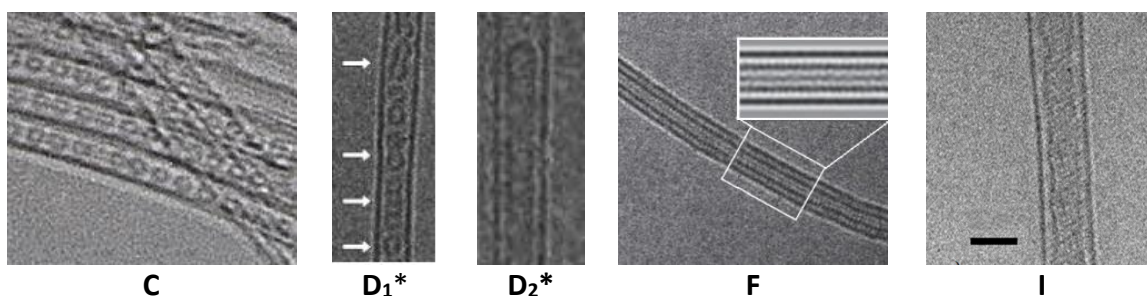


Рис. 2. Изображения просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ) для **C, D<sub>1</sub><sup>\*</sup>** и **D<sub>2</sub>, F, I**.

1. Что представляют собой нанобъекты **C, D, F, I**? Опишите основные особенности их структуры. Поясните роль исходной зУНТ **A** в реакциях, происходящих в процессе образования этих нанобъектов. **(2.5 балла)**
2. Почему для получения объектов **C** и **H** необходим отжиг **A** на воздухе? **(0.5 балла)**
3. Какой фактор – энтальпийный или энтропийный – отвечает за превращение **C** в **D**? Почему для протекания реакции требуется нагрев? Поясните свой ответ, основываясь на происходящих при этом изменениях структуры. **(1.5 балла)**
4. Объект **C** имеет поворотную ось пятого порядка. Основываясь на параметрах структуры графита (рис. 4а) и механизме образования **B** и **C**, определите индексы хиральности<sup>1</sup> и диаметр внутренней нанотрубки в **C**, а также минимальный диаметр и индексы хиральности нанотрубки **A** из которой **C** может быть получен. **(3.5 балла)**
5. На основе данных о рассеянии электронов на образце **C** (рис. 3а) был определен период структуры – 0,95 нм. Определите, связаны ли ковалентными связями друг с другом молекулы фуллерена внутри образца. **(1 балл)**

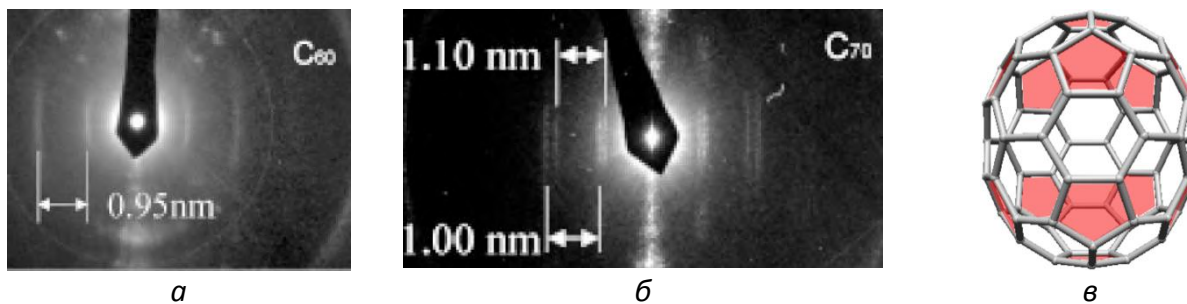


Рис. 3.

6. Объясните, почему для структуры  $C'$ , полученной в условиях синтеза  $C$  при замене бакибола на фуллерен  $C_{70}$  (рис. 3в), экспериментально определяется два периода (рис. 3б)? **(1 балл)**

<sup>1</sup> Диаметр УНТ выражается через ее индексы хиральности ( $n$ ,  $m$ ) (см. рис. 4б) как:

$$D = \sqrt{3}a\sqrt{n^2 + nm + m^2} / \pi$$

где  $a$  – расстояние между ближайшими соседними атомами углерода на графеновой плоскости (см. рис. 4а).

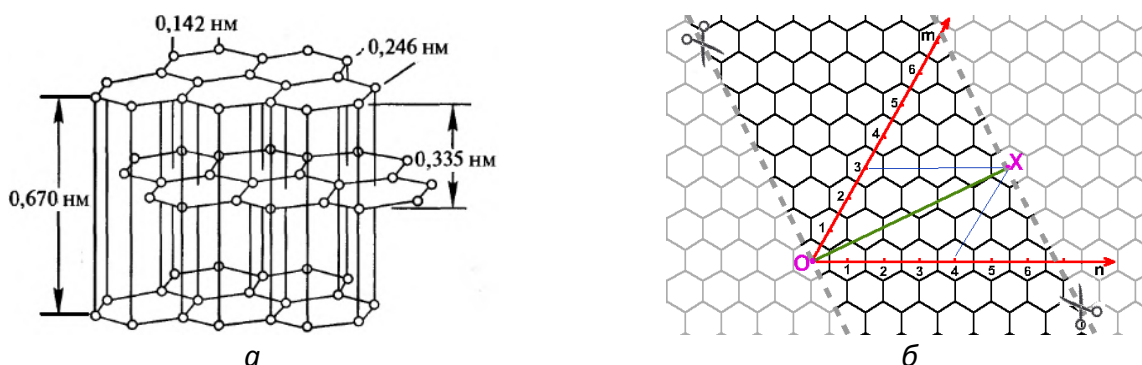


Рис. 4. а) Параметры структуры графита

б) Развертка УНТ задается с помощью пары чисел ( $n$ ,  $m$ ), называемых индексами хиральности. Для получения УНТ полосу из графенового листа необходимо вырезать по линиям отреза, перпендикулярным  $OX$ , свернуть и «склеить» ее края в трубку. На рисунке приведен пример развертки УНТ (4,3).

**Всего – 10 баллов**



**Химия для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)**  
**Задача 10. 2D материал**

2D-материал **В** впервые был получен из вещества **С** травлением в 50%-й плавиковой кислоте. **С** состоит из 3-х элементов: **М**, **А** и **Х**, их массовые доли в **С** равны 73.85%, 13.85% и 12.30%, соответственно. **Х** образует бинарные соединения с **М** (вещество **Д**) и с **А** (вещество **Е**), причём его массовые доли в этих соединениях равны 20.0% и 25.0%, соответственно. **Д** обладает высокой твёрдостью, жаростойкостью и химической инертностью. **Е**, напротив, вступает в реакции с разбавленными кислотами и с водой. При взаимодействии **Е** с водой образуются осадок **Ф** и газ **Г** (*реакция 1*), который также образуется при реакции **Е** с водородом (*реакция 2*). Осадок **Ф** растворяется как в кислотах (*реакция 3*), так и в щелочах (*реакция 4*). Для получения химически чистого **Д** используют реакцию газа **Г** и хлорида элемента **М** (*реакция 5*). Вещество **С** получают спеканием порошков **М**, **А** и **Д** (*реакция 6*).

1. Определите все неизвестные вещества, запишите уравнения всех указанных реакций. **(7 баллов)**
2. Почему для синтеза химически чистого **Д** используют описанную выше реакцию, а не взаимодействие простых веществ **М** и **Х**? **(1 балл)**

При травлении **С** слой элемента **А** удаляется, остаются слои, состоящие из элементов **М** и **Х**, на поверхности которых находятся так называемые терминальные группы. Толщина слоя таких материалов зависит от состава вещества, которое подвергается травлению, а расстояние между слоями и состав терминальных групп зависят от используемых для травления реагентов.

3. Нарисуйте структуры соединений **В** и **С**. **(1 балл)**
4. Считая, что терминальными группами при травлении **С** в плавиковой кислоте являются только фториды, укажите состав получаемого вещества **В**, если масса образца увеличилась на 5.64% после травления. **(0.5 балла)**
5. Предположите, какие ещё терминальные группы могут образовываться на поверхности слоев вещества **В**. **(0.5 балла)**

**Всего – 10 баллов**