

Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова  
Факультет наук о материалах

**УТВЕРЖДАЮ**  
Зам. декана ФНМ по учебной  
работе  
\_\_\_\_\_/А.В. Кнотько /  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 2016 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**Наименование дисциплины:**

**Нанохимия**

---

**Уровень высшего образования:**

**магистратура**

---

**Направление подготовки:**

**04.04.02 Химия, физика и механика материалов**

---

**Направленность (профиль)/специализация ОПОП:**

**Фундаментальное материаловедение**

---

**Форма обучения:**

**очная**

---

Рабочая программа рассмотрена и одобрена  
Методической комиссией факультета наук о материалах  
(протокол №\_\_\_\_\_, дата)

Москва 2016

Рабочая программа дисциплины разработана в соответствии с самостоятельно установленным МГУ образовательным стандартом (ОС МГУ) для реализуемых основных профессиональных образовательных программ высшего образования по направлению подготовки «Химия, физика и механика материалов» (программы бакалавриата, магистратуры, реализуемых последовательно по схеме интегрированной подготовки) в редакции приказа МГУ от \_\_\_\_\_20\_\_ г.

1. Место дисциплины в структуре ОПОП ВО: Вариативная часть, профессиональная подготовка, дисциплина магистерской программы по выбору студентов, курс предназначен для студентов магистратуры факультета наук о материалах **2-го года обучения (3-й семестр)**, курс является обязательным

---

2. Входные требования для освоения дисциплины, предварительные условия (если есть):

Дисциплины и модули профессиональной подготовки бакалавриата  
Современные проблемы материаловедения  
Перспективные неорганические материалы со специальными функциями

3. Результаты обучения по дисциплине:

*Знать:* важнейшие особенности наноматериалов, включая их структуру, свойства, методы синтеза и исследования, а также примеры использования для создания наноэлектромеханических систем, разнообразных устройств нано- и молекулярной электроники, а также магнитных носителей информации

*Уметь:* использовать особенности строения физические свойства веществ в нанокристаллическом состоянии для выбора методов получения и исследования наноматериалов, а также применения функциональных наноматериалов в современных областях науки и технологии

*Владеть:* современными методами в области неорганической, органической и физической химии, физико-химическими методами исследования при создании наноматериалов для технических устройств, а также некоторых биологических систем

4. Объем дисциплины составляет 2 з.е. (72 ак.ч.)

5. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий:

5.1. Структура дисциплины по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий (в строгом соответствии с учебным планом)

Вид работы	Семестр				Всего
	3				
<b>Общая трудоёмкость, акад. Часов</b>	72				72
<b>Аудиторная работа:</b>	24				24
Лекции, акад. Часов	24				24
Семинары, акад. Часов					
Лабораторные работы, акад. часов					
<b>Самостоятельная работа, акад. Часов</b>	48				48
<b>Вид итогового контроля (зачёт, экзамен)</b>	Экз.				

5.2. Содержание разделов (тем) дисциплины

### **Часть 1. Наночастицы, наноструктуры и наноматериалы (1 лекция).**

История исследований в области “нано”. Причины и последствия нанобума: новейшие методы исследования, развитие приборного парка, финансирование исследований (в т.ч. “Критические технологии”). Примеры потенциального применения наноматериалов и нанотехнологий – что может ожидать нас в ближайшее будущее.

Критерии определения наноматериалов: критический размер и функциональные свойства. Размерный эффект. Корреляционный радиус. Классификация наноматериалов: 0D-, 1D-, 2D-

структуры. Квантовые точки, квантовые проволоки и квантовые колодцы.

## **Часть 2. Нульмерные наноструктуры (1 лекция).**

Нанокристаллы и нанокластеры. Стадии роста зерен кристаллов, возможности контроля роста на разных стадиях, способы контролируемого получения нанокристаллов, границы зерен в нанокристаллах, получение монокристаллических материалов в нанокристаллическом состоянии, фазовые переходы в нанокристаллическом состоянии, деформационные и пластические свойства наноматериалов.

## **Часть 3. Одно- и двумерные наноструктуры (1 лекция).**

Нанотрубки и нанонити. Углеродные нанотрубки, строение, методы получения и разделения. Механизмы роста нанотрубок. Одностенные и многостенные нанотрубки. Механические свойства углеродных нанотрубок. Электрофизические свойства углеродных нанотрубок. Нанотрубки на основе сульфида молибдена. Нанонити на основе металлов и сплавов. Методы их получения и механизмы роста. Нанонити, состоящие из двух и более металлов. Способы соединения нанонитей в более сложные структуры.

Тонкие пленки. Самособирающиеся монослои, нанолитография на монослоях, наноматериалы для мембран, темплатный синтез наноструктурированных пленок на основе диоксида кремния, электрохимические подходы к получения нанокристаллических покрытий, распад слоистых структур на отдельные слои в неводных растворителях в присутствии ПАВ, сборка многослойных структур.

## **Часть 4. Синтез наноструктур и наноматериалов на их основе (2 лекции).**

История развития методов синтеза нанокристаллических материалов. Механохимические методы. Методы конденсации из газовой фазы – CVD, плазменная дуга, контролируемое горение. Химические методы синтеза – золь-гель метод, жидкофазный синтез. Синтез в коллоидных мицеллах. Нанореакторы на основе триоктилфосфиноксида (ТОРО). Темплатный синтез наноматериалов и наноструктур. Подходы, основанные на принципе самосборки. Принципы синтеза сложных наноструктур. Наноструктуры «ядро в оболочке», нанопроPELLеры CdSe. Иерархические наноструктуры.

## **Часть 5. Методы исследования наноструктур и наноматериалов (2 лекции).**

Спектральные методы – спектры поглощения и люминесценции. Спектроскопия комбинационного рассеяния. Магнитные методы. SQUID магнетометрия. Метод ЯМР. Мессбауэровская спектроскопия. Методы атомно-силовой и сканирующей туннельной микроскопии. Просвечивающая электронная микроскопия высокого разрешения. Малоугловое рассеяние нейтронов и рентгеновских лучей.

## **Часть 6. Функциональные свойства наноструктур и наноматериалов (2 лекции).**

Полупроводниковые наноматериалы. Особенности зонной структуры металлов и полупроводников в нанокристаллическом состоянии. Экситонные переходы в спектрах нанокристаллических полупроводников. Изменение ширины запрещенной зоны. Оценка размеров наночастиц из спектральных данных. Квантовые выходы люминесценции для ряда нанокристаллических полупроводниковых наноструктур. Модель «частица в потенциальном ящике» для наноструктур «ядро в оболочке».

Магнитные наноматериалы. Влияние размера частицы на магнитные свойства ферромагнетиков. Основные параметры, зависящие от размерного фактора. Изменение коэрцитивной силы с уменьшением размера магнитной частицы. Переход в суперпарамагнитное состояние. Температура блокировки. Оценка размера наночастицы из данных по магнитной восприимчивости. Магнитные свойства анизотропных наночастиц.

Механические свойства. Повышение прочности нанокристаллических металлов. Дефектность вещества в нанокристаллическом состоянии. Повышение пластичности керамических материалов в нанокристаллическом состоянии. Нанодиспергирование методом сильного

деформационного воздействия.

### **Часть 7. Важнейшие области применения наноструктур и наноматериалов (ч.1). (1 лекция).**

Наносенсоры. Нано- и молекулярная электроника. Фотоника. Устройства на квантовых точках – лазеры, светодиоды. Электронные механические системы (MEMS). Нейронные сети. Наномедицина. Устройства для хранения информации. Каталитические систем

Нанокompозитные материалы. Причины низкой устойчивости веществ в нанокристаллическом состоянии. Способы защиты наночастиц от агрегации и внешних воздействий. Нанокompозиты полимер-неорганическая наночастица. Наночастицы в неорганических матрицах. Биологические нанокompозитные материалы. Биомиметические подходы.

### **Часть 8. Важнейшие области применения наноструктур и наноматериалов (ч.2). (1 лекция).**

Биологические наноматериалы. Примеры биологических наноструктур, встречающихся в живых организмах. Кость как биологический нанокompозит. Молекулярные моторы. Подходы к получению искусственных наноструктур на основе биомолекул. Комплементарность и самосборка. ДНК как темплат для получения искусственных наноструктур. Неорганические наноматериалы и биосовместимость. Использование неорганических наноматериалов для диагностики, лечения и доставка лекарственных препаратов. Биотехнологии и наномедицина.

### **Часть 9. Производство наноматериалов (1 лекция).**

Рынок наноматериалов. “Нано”бизнес. Инновационные технологии, венчурные фонды. Индустрия наносистем и материалы.

**6. Фонд оценочных средств (ФОС, оценочные и методические материалы) для оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю).**

**6.1. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения текущего контроля успеваемости, критерии и шкалы оценивания (в отсутствие утвержденных соответствующих локальных нормативных актов на факультете)**

#### **Примеры контрольных работ**

##### **Контрольная работа №1**

1. Что произойдет, если наностержень золота, боковая поверхность которого наполовину покрыта тонкой пленкой платины, погрузить в водный раствор перекиси водорода?
2. Что случится при медленном добавлении ацетона к толуольному раствору полидисперсных наночастиц золота, покрытых алкантиолом? Объясните механизм происходящих процессов?
3. Как и почему молекулы алкантиолов самоорганизуются на гранях кубоктаэдрических наночастиц золота? Сравните этот процесс с поведением молекулы алкантиола на гранях (100) и (111) монокристалла золота.
4. Как можно использовать молекулы ДНК для нанесения квадратной сетки наночастиц золота на поверхности золота.
5. Предложите простейший способ разделения смеси нанокристаллов золота и железа.

##### **Контрольная работа №2**

1. Какие новые формы углерода были открыты вслед за фуллереном  $C_{60}$ ?
2. Как ведет себя ОСУНТ с прикрепленной к одному из ее концов наночастицей платины, если эту нанотрубку поместить в водный раствор пероксида водорода?
3. Как реагирует смесь  $HF/F_2$  с молекулами  $C_{60}$ ? Предложите возможные направления использования полученного продукта.
4. Одностенные углеродные нанотрубки имеют поразительное свойство – при изгибе они гнутся, но не рвутся. Предложите как можно применить этот феномен.

5. Каков порядок связей углерод-углерод в углеродной нанотрубке, одиночном листе графена и в молекуле  $C_{60}$ ?

### Контрольная работа №3

1. Внутреннюю полость одностенных углеродных нанотрубок (ОСУНТ) можно заполнить молекулами фуллерена  $C_{60}$ . С помощью ПЭМ высокого разрешения удалось определить, что молекулы фуллерена располагаются внутри нанотрубки как «горошины в стручке» – они плотно соприкасаются друг с другом и выстраиваются в линию. Как вы думаете, что произойдет, если такую структуру медленно нагреть до температуры около  $300^{\circ}C$ ?
2. Опишите способ заполнения ОСУНТ молекулами  $C_{60}$  с заданным расстоянием между молекулами. Какая практическая цель при этом может быть достигнута?
3. Можно ли интеркалировать молекулы  $C_{60}$  между слоями графита? Опишите структуру получаемого при этом материала и его возможное применение.
4. Предложите метод синтеза мезопористого углерода с периодическим расположением пор. Какое применение может найти такой материал?
5. Предложите химический метод, позволяющий «открыть» замкнутые концы свежеприготовленных ОСУНТ. Опишите способ формирования карбоксильных групп на этих открытых концах. Как на основе таких ОСУНТ создать самый миниатюрный в мире рН-метр?

### Контрольная работа №4

1. Объясните, что произойдет с гексановым раствором нанокристаллов золота, покрытых декантиолом, если его аккуратно вылить на поверхность воды. Как изменятся оптические свойства наночастиц золота, если поверхностный слой медленно сжать?
2. Действительно ли нанокристаллы CdSe являются полупроводниками? Как бы Вы могли ответить на этот интересный вопрос, поставив соответствующий эксперимент?
3. Что может произойти, если в течение малого промежутка времени подвергать нанокристаллы CdSe, действию кислородной плазмы, может ли это улучшить практическую значимость нанокристаллов?
4. Как получить кремниевую реплику опала из кремнезема? Почему такой материал матрицы может представлять интерес при создании оптических коммуникаций, солнечных и обычных батарей.
5. Опалы из кремнезема известны тем, что способны отражать свет различных цветов в зависимости от размера составляющих их сфер. Но эта способность зависит также от угла падения света на опал. Чем это можно объяснить?
6. Можно ли наблюдать визуально (видеть глазом) дефекты упаковки [111] опала из диоксида кремния? Почему нас беспокоит появление такого рода дефектов в опалах из диоксида кремния?
7. Используя практику и принципы нанохимии как бы Вы подошли к вопросу о разработке системы хранения данных высокой плотности, на основе нанокристаллов оксида железа?

### Контрольная работа №5

1. Грейгит-это минерал, сульфид железа с химической формулой  $Fe_3S_4$ , который был обнаружен в виде биоминерализованной цепочки нанокристаллов в магнитотактической бактерии. Можете ли Вы описать как бактерия создает цепь из нанокристаллов? Эти бактерии знают, в каком направлении север! Как это возможно на Земле?
2. Можете ли Вы предложить способ самоупорядочения кольцеобразных структур микронного размера из нанокристаллов оксида железа? Как Вы думаете, будет ли данная структура обладать какими-либо специфическими свойствами, которые обусловят ее использование?
3. Как бы Вы синтезировали нанокристаллы оксида железа в структуру типа «шахматная доска»? Как Вы думаете, что произойдет с данной структурой, если нагреть нанокристаллы

в потоке водорода? Чем будут отличаться магнитные свойства такой системы от магнитных свойств плотнейшей упаковки микросфер из того же материала того же размера?

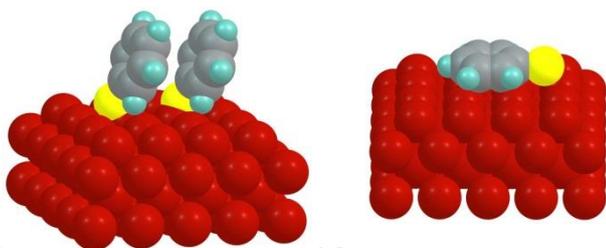
4. Как изготовить пленку, состоящую из чередующихся слоев нанокристаллов магнетита и гематита? Каковы свойства и возможные области применения такой пленки?

### Контрольная работа №6

1. Как сформировать кремниевые микросферы на ядрах из нанокристаллов CdSe? Учитывая, что эту операцию можно выполнять с нанокристаллами CdSe различного диаметра и получать кремниевые микросферы с различными функциональными поверхностными группами. Попытайтесь определить возможные направления использования таких систем в бионанотехнологии?
2. Почему так трудно однозначно доказать, наносят ли вред здоровью человека нанокристаллы?
3. Можете ли Вы предложить химический способ ослабления или даже полного устранения эффекта цитотоксичности нанокристаллов CdSe?
4. Можете ли Вы предложить такую наноструктуру, которая будет безопасной для биомедицинских применений?
5. Как создать нанокристаллы CdSe, растворимые в жидкостях?
6. Что, по Вашему мнению, в первую очередь определяет бионанотоксичность дисперсного продукта: размер, форма или поверхность частиц?

### Контрольная работа №7

1. Предложите структуру и способ формирования транзистора с размером канала менее 5 нм. Как можно масштабировать Вашу технологию для производства микросхем с плотностью транзисторов более  $10^{10}$  шт/см<sup>2</sup>.
2. Предложите оптическую схему и принцип репликации шаблона с помощью рентгеновской литографии. Какие материалы необходимо использовать в Вашем процессе в качестве оптических элементов? Материала резиста?
3. Предложите молекулярную структуру простейшего молекулярного транзистора. Как создать контакты к такой молекуле? Какова электронная структура таких контактов.
4. В настоящее время наиболее мощный квантовый компьютер представляет собой ионную ловушку с 7-ю ионами Ca<sup>+</sup>, изобразите схему «обратной связи» на основе ЭПР совмещенной реализации данного квантового компьютера (электромагнитное возбуждение и детектирование без учета перевода орбитальных переходов самих ионов в магнитной ловушке), считая процессы реорганизации моментальными, оцените время двух тактов информационного обмена.
5. В ходе процесса самоорганизации молекулярных структур ароматической природы и известного строения, Вами получены два образца (см. рисунок: а - высокая концентрация, и b – низкая концентрация). Предложите спектроскопический подход для быстрого определения типа организации получившихся структур.
6. **a** **b**



### Контрольная работа №8

1. Помимо периодически организованного мезопористого оксида кремния существует «периодическая таблица» других мезопористых металлоксидных материалов. Какой из них вызывает наибольший интерес? Как его синтезировать? Покажите, какими уникальными свойствами и интересными функциями он будет обладать. Как это можно применить?

2. Как вы думаете, какими преимуществами обладают упорядоченные структуры по сравнению с аperiodическими помимо чисто эстетических?
3. При условии, что в идеальном случае гексагональной упорядоченной структуры мезопористого  $\text{SiO}_2$  диаметр пор составляет 3 нм и толщина стенок каналов 1 нм, вычислите удельную площадь поверхности руководствуясь чисто геометрическими предположениями. Как это будет соотноситься с площадью поверхности ГЦК структуры 300 нм опала, полученного в виде соприкасающихся микросфер из диоксида кремния? Что изменится, если сферы будут сделаны из вышеупомянутого мезопористого оксида кремния?
4. Что произойдет, если гексановый раствор наночастиц золота диаметром 3 нм, покрытых декантиолом, смешать с гексановым раствором частиц золота диаметром 5 нм, покрытых гексантиолом. Объясните механизм наблюдаемых изменений.
5. Пусть в Вашем распоряжении имеются гексановые растворы монодисперсных наночастиц золота диаметром 1, 2, 3, 4 и 5 нм с алкантиоловой оболочкой. Что произойдет при кристаллизации бинарных смесей наночастиц различного размера в результате самоорганизации, вызванной упариванием?

### Контрольная работа №9

1. Что происходит с поверхностью чистого кремния на воздухе? Почему этот эффект широко используется в при формировании МЭМС?
2. Дайте простое с химической точки зрения объяснение тому факту, что грани монокристаллических кремниевых подложек с индексами Миллера (111) и (100) вступают в реакцию в водном растворе HF с различными скоростями, что делает возможным анизотропное травление кремния и является основой создания микроэлектромеханических систем (МЭМС).
3. Поясните принципы работы и преимущества электростатического и электромагнитного принципов активации. Какой из типов активации окажется предпочтительным при уменьшении размеров актюатора до субмикронных. Почему?
4. Сможет ли микроактюатор с характерными размерами 1 мкм передвинуть частицу диаметром 100 мкм.

6.2. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения промежуточной аттестации по дисциплине (модулю), критерии и шкалы оценивания (в отсутствие утвержденных соответствующих локальных нормативных актов на факультете)

Оценка выставляется по результатам написания контрольных работ

### 7. Ресурсное обеспечение:

#### 7.1. Перечень основной и дополнительной литературы

Основная литература:

1. А.А. Елисеев, А.В. Лукашин. Функциональные наноматериалы. Под. ред. Ю.Д.Третьякова. М.Физматлит, 2010.
2. Р.А. Андриевский, А.В. Рагуля. Наноструктурные материалы. М.: Академия, 2005.
3. Ч.Пул, Ф. Оуэнс. Нанотехнологии. М.: Техносфера, 2004.
4. Г.Б. Сергеев. Нанохимия. М.: Издательство МГУ, 2003.

Дополнительная литература

1. П.Харрис. Углеродные нанотрубы и родственные структуры. Новые материалы XXI века. М.: Техносфера, 2005.

2. С.П.Губин, Химия кластеров, М.: Наука, 1987, 262 с.
3. М.А. Рыбалкина. Нанотехнологии для всех. М.: Nanotechnology News Network, 2005.
4. Гусев А.И., Ремпель А.А. Нанокристаллические материалы. М.: Физматлит. 2000. 224 С.
5. Суздаев И.П., Суздаев П.И. Нанокластеры и нанокластерные системы. // Успехи Химии. 2001. Т.70. №.3. С.203-240.
6. Помогайло А.Д., Розенберг А.С., Уфлянд И.Е. Наночастицы металлов в полимерах. М.: Химия. 2000. 672 С.
7. Адамсон А. Физическая химия поверхностей. М.: Мир. 1979. 568 С.

6.2. Перечень лицензионного программного обеспечения, в том числе отечественного производства (подлежит обновлению при необходимости)

Не требуется

6.3. Описание материально-технического обеспечения.

аудитория с доской, компьютерный проектор

8. Соответствие результатов обучения по данному элементу ОПОП результатам освоения ОПОП указано в Общей характеристике ОПОП.

7. Разработчик (разработчики) программы.

д.х.н. , чл.-корр.РАН А.В. Лукашин, к.х.н. А.А. Елисеев