ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ

Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования
«Уральский государственный университет им. А.М. Горького»

ИОНЦ «Нанотехнологии и перспективные материалы»

Факультет **химический**

Кафедра **неорганической химии**

Основы нанохимии и нанотехнологии

Программа дисциплины
(Стандарт СД-ОПД)

Екатеринбург
2007

УТВЕРЖДАЮ
Руководитель ИОНЦ
«Перспективные материалы»
_____ Черепанов В.А.
(подпись)

_____
(дата)

Программа дисциплины **Основы нанохимии и нанотехнологии**» составлена в соответствии с требованиями национально-регионального (вузовского) компонента к обязательному минимуму содержания и уровню подготовки:

дипломированного специалиста по специальности «Химия» 020101.65

по циклу спецдисциплин государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования.

Семестр **9**

Общая трудоемкость дисциплины **34** часа, в том числе:
Лекций **24** часа
Семинаров
Практических работ
Самостоятельной работы **10** часов

Контрольные мероприятия:
Рефераты _____
Коллоквиумы _____
Контрольные работы ____
Другие _____

Авторы:

Нейман Аркадий Яковлевич, д.х.н., профессор, кафедра неорганической химии, Уральский государственный университет им. А.М. Горького

Кочетова Надежда Александровна, к.х.н., ассистент, кафедра неорганической химии, Уральский государственный университет им. А.М. Горького

Рекомендовано к печати протоколом заседания
Экспертно-конкурсной комиссии ИОНЦ «Перспективные материалы»
от _____ № _____.
(дата)

Согласовано:
Зав.кафедрой неорганической химии
_____ / Нейман А.Я. /
(подпись) Ф.И.О.
«____»_____ 2007г.
(дата)

© Уральский государственный университет
© Нейман А.Я., 2007
© Кочетова Н.А., 2007

I. Введение

1. *Цель дисциплины*

Сформировать у студентов комплекс фундаментальных представлений, составляющих основу одной из наиболее востребованных в настоящее время дисциплин – нанохимии и нанотехнологии.

2. *Задачи дисциплины*

Показать причины, обусловливающие изменение многих физических и химических свойств вещества в нанометровом диапазоне. Дать студентам комплекс основных понятий и принципов нанохимии. Показать междисциплинарный характер нанохимии и ее прикладной ветви – нанотехнологии. Возбудить интерес студентов к синтезу знаний, полученных в курсах общей, неорганической, коллоидной и аналитической химии, применительно к одному из заключительных курсов специализации.

3. *Место дисциплины в системе высшего профессионального образования* (какие дисциплины используются в качестве основы для данной и для каких используется данная дисциплина)

Основой для изучения данной дисциплины являются общие курсы «Общая химия», «Неорганическая химия», «Физика», «Физическая химия», «Аналитическая химия», «Коллоидная химия», «Химическая технология», спецкурсы «Ионика твердого тела» и «Термодинамика и строение конденсированных сред».

Содержание курса входит в необходимый минимум профессиональных знаний выпускников химического факультета, специализирующихся на кафедре неорганической химии. Полученные знания являются основой успешного выполнения дипломных и магистерских диссертационных работ, а также сдачи государственного экзамена по Неорганической химии.

4. *Требования к уровню освоения содержания курса* (приобретаемые компетенции, знания, умения, навыки)

По окончании курса студенты должны:

– приобрести фундаментальные знания о специфике поведения вещества в нанометровом размерном диапазоне; понять механизм возникновения размерных физических и химических эффектов;

– знать основные виды нанообъектов и наноматериалов, уметь прогнозировать их устойчивость и физико-химические свойства; иметь представления о приборах и устройствах, разрабатываемых на основе наноматериалов;

– понимать основные научно-технические проблемы нанотехнологии и перспективы развития данной фундаментальной области знаний.

5. *Методическая новизна курса* (новые методики, формы работы, авторские приемы в преподавании курса)

В программу курса включены оригинальные авторские представления об электрохимическом механизме формирования термодинамических и кинетических свойств систем с развитой внешней и внутренней поверхностью; комплекс свидетельств образования неавтономных поверхностных фаз супрамолекулярной природы в наносистемах на основе оксидов.

Анализируются представления о механизме хорошо известных поверхностных явлений, объяснение природы которых до сих пор не имеет единой трактовки - природа эвтектик, контактное плавление, суть и механизм поверхностной диффузии.

Рассматриваются дискуссионные вопросы влияния природы и энергетики связи на аномальные реакционные и межфазные транспортные процессы в оксидах и других ионных кристаллах, образования адсорбционных твердых соединений, природы и устойчивости последних.

II. <u>Содержание курса</u>

1. Разделы курса, темы, их краткое содержание

I. *Базовые термины и понятия. Основные классы наноразмерных систем*

Определение понятий: нанонаука, нанотехнология, наночастица, наноструктура. Наноматериалы. Критерии определения наноматериалов: критический размер и функциональные свойства.

Квантовые наноструктуры различной размерности: 0D-, 1D-, 2D-структуры. Квантовые точки, квантовые проволоки и квантовые колодцы.

Основные типы наноразмерных систем. Углеродные наноструктуры (фуллерены и нанотрубки). Компактные наностуктурированные материалы: наноструктурированные кристаллы; разупорядоченные твердотельные структуры (наноструктурированные металлы, сплавы; нанокомпозиты; нанопористые материалы; наноструктурированные многослойные материалы). Порошковые наноматериалы. Нанометриалы на основе органических веществ (органические нанокристаллы; наноматерила на основе блок-

сополимеров; супрамолекулярные структуры). Биологические наноматериалы. Примеры наноструктур в живых организмах. Кость как биологический нанокомпозит.

II. ***Синтез наноматериалов***

История развития методов синтеза наноматериалов; два основных технологических подхода: диспергационный («сверху–вниз»), конденсационный («снизу–вверх»).

Методы синтеза нанопорошков: физические методы (метод электровзрыва, механическое и ультразвуковое диспергирование), химические методы (криохимический синтез, золь-гель методы, бумажный и тканевый синтез, синтез в обратных микроэмульсионных системах). Принципы синтеза сложных наночастиц по типу «ядро в оболочке».

Методы получения наноструктурированных материалов. Компактирование порошков (метод Глейтера, прессование и спекание, электроразрядное спекание). Контролируемая кристаллизация из аморфного состояния. Интенсивная пластическая деформация (равноканальное угловое прессование, деформация кручением в условиях высокого давления). Пленочные технологии (химическое осаждение из газовой фазы (CVD), физическое осаждение из газовой фазы (PVD), элекроосаждение, ионно-лучевая эпитаксия, золь-гель осаждение).

Темплатный синтез наноматериалов и наноструктур. Подходы, основанные на принципе самосборки (гетероэпитаксия, самосборка в монослоях и др.).

III. ***Методы исследования наноразмерных систем***

Микроскопические методы исследования. Просвечивающая электронная микроскопия высокого разрешения. Зондовая сканирующая микроскопия (сканирующая туннельная, атомно-силовая, ближнепольная оптическая). Принцип работы зондовых микроскопов. Дополнительные возможности зондовой микроскопии: атомные манипуляции и литография.

Спектроскопические методы исследования. Спектроскопия комбинационного рассеяния. Мессбауэровская спектроскопия. Метод ядерного магнитного резонанса. Спектроскопия электронного и ионного проектора. Спектроскопия рентгеновского поглощения (EXAFS, XANES). Методы РФС, УФС, Оже-спектроскопия.

Дифракционные методы исследования. Малоугловое рассеяние нейтронов и рентгеновских лучей. Дифракция медленных электронов.

Газово-адсорбционный метод для определения удельной поверхности порошкообразных материалов и оценки размера частиц.

Общие представления о методах изучения физических, химических, биологических свойств наносистем, а также эксплуатационных характеристик наноматериалов и устройств на их основе.

Ограничения и возможности различных методов исследования наноматериалов, принципы их комбинирования.

IV. *Физико-химия наноструктурированных материалов*

Энергетическое состояние поверхности. Валентно-ненасыщенные состояния. Поверхность в зонной модели. Искривление зон. Состояния и уровни Шоккли и Тамма. Термодинамика поверхности. Термодинамические функции поверхности. Поверхностная энергия и поверхностное натяжение. Поверхностная энергия ковалентных, металлических и ионных сред. Экспериментальные методы определения поверхностной энергии твердых тел. Критерии и методы оценки и расчета.

Процессы на поверхности и в приповерхностных слоях; адсорбция и десорбция; реконструкция и релаксация поверхностей.

Основы физической химии наносистем; уравнения и характеристики условий термодинамической стабильности межфазных границ в наносистемах; особенности поверхностных процессов в наноструктурах: размерные эффекты и фазовые переходы; зародышеобразование, кластерообразование и формирование наноструктур; самоорганизация наноразмерных упорядоченных структур.

V. *Основные проблемы нанохимии*

Область изучения нанохимии. Влияние размера частиц на особенности их химических свойств и реакционную способность. Размерные эффекты: тривиальные (изменение термодинамических и кинетических свойств системы с уменьшением размера частиц); истинные (качественные преобразования свойств системы с увеличением дисперсности). Причины возникновения размерных эффектов.

Проблемы устойчивости наночастиц и их ассоциатов; факторы, обуславливающие стабильность. Способы стабилизации наночастиц. Долгоживущие метастабильные состояния. Причины низкой устойчивости веществ в нанокристаллическом состоянии. Сегрегационные явления. Технологии стабилизации формы и размеров нанокристаллитов.

Нанокомпозитные материалы. Классификация нанокомпозитов (по химической природе матрицы, по форме и характеру наполнителей из наночастиц). Биологические нанокомпозитные материалы. Нанокомпозиты «полимер – неорганическая наночастица».

Наночастицы в неорганических матрицах. Общие методы получения нанокомпозитов. Нанокомпозитный эффект в ионной и электронной проводимости.

Адсорбция типа "Твердое/Твердое". Адгезионная теория контактного плавления. Эвтектики, как микрогетерогенные связно-дисперсные наносистемы. Супрамолекулярная концепция эвтектик. Неавтономные межфазные соединения, их роль в формировании транспортных свойств и реакционной способности.

VI. *Физические свойства нанообъектов*

Полупроводниковые наноматериалы. Особенности зонной структуры металлов и полупроводников в нанокристаллическом состоянии. Экситонные переходы в спектрах нанокристаллических полупроводников. Изменение ширины запрещенной зоны. 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.

VII. *Нанотехнологии. Области использования и перспективы развития*

Элементы наноэлектроники и нанофотоники (полупроводниковые транзисторы и лазеры, фотодетекторы, солнечные элементы, наносенсоры и др.) Молекулярные электронные устройства (переключатели и электронные схемы на молекулярном уровне). Устройства сверхплотной записи информации. Наноэлектромеханические устройства (актюаторы, трансдукторы, молекулярные- и наномоторы, нанороботы).

Применение наноструктур в химии и химической технологии. Кинетические особенности протекания химических процессов на поверхности наночастиц. Использование нанокатализаторов. Газодиффузионное разделение газовых смесей с использованием пористых наноматериалов – «молекулярных сит». Конструкционные и инструментальные материалы на основе наноструктур. Устройства контроля окружающей среды.

Наноэнергетика. Топливные элементы и устройства для хранения энергии

Применение нанотехнологий в биологии и медицине. Подходы к получению искусственных наноструктур на основе биомолекул (использование ДНК в качестве темпланта для синтеза). Создание биосовместимых поверхностей контакта, имплантатов и

искусственных органов. Разработка и анализ лекарственных препаратов. Доставка лекарственных препаратов и генов внутрь клеток. Использование нанотехнологий для улучшения стоматологического и хирургического инструментария.

2. Темы лабораторных, семинарских занятий и коллоквиумов (если предусмотрены)

Не предусмотрены.

3. Перечень примерных контрольных вопросов и заданий для самостоятельной работы

1. Дайте определения терминов: наночастица, наносистема, нанокомпозит, нанонаука, нанотехнология.
2. Каким образом можно классифицировать наноразмерные системы?
3. Что такое квантовые наноструктуры с размерностью 0D-, 1D-, 2D-? Возможно ли получение структур с дробной размерностью: $1<D<2$ или $2<D<3$? Приведите примеры.
4. К каким типам наноразмерных систем следует отнести фуллериты, нанопористый кремний и стекла, содержащие небольшое количество диспергированных наноразмерных частиц металла?
5. Можно ли и на основании каких критериев молекулу ДНК рассматривать как нанообъект?
6. Какие типы композиционных наноматериалов вам известны? Почему костную ткань правомерно называть биологическим нанокомпозитом?
7. Какие два основных технологических подхода используется для получения наноразмерных структур? Чем это обусловлено?
8. Какие методы синтеза нанопорошков и консолидированных наноматериалов могут быть отнесены к диспергационным методам? Какие – к методам конденсационным?
9. Для получения каких наноматериалов используется метод интенсивной пластической деформации?
10. Каким образом можно получить нанопорошок, состоящий из частиц примерно одинаковых по размеру?
11. Какие методы синтеза углеродные нанотрубок вам известны?
12. В чем сущность темплатного синтеза нановеществ?
13. Какой прибор позволяет, с одной стороны, исследовать наносистемы, с другой стороны, создавать их, манипулируя отдельными атомами? Опишите принцип его работы.

14. Какую информацию о нановеществе можно получить, используя метод рентгеновской дифракции?
15. Каким образом можно исследовать механические свойства наноматериалов?
16. Какие возможности и какие ограничения имеют спектроскопические методы исследования наноструктурированных объектов?
17. Насколько точную информацию о размерах частиц нанопорошка позволяет получить метод газовой адсорбции? В чем сущность данного метода?
18. Почему для объяснения особых свойств вещества в наноразмерном состоянии мы вспоминаем о свойствах поверхности? Чем поверхность отличаются от объема вещества?
19. Что такое поверхностная энергия? Какие методы определения поверхностных энергий твердых тел вам известны?
20. Истинные и тривиальные размерные эффекты – в чем разница?
21. Известно, что объемный образец сульфида кадмия CdS при нормальных условиях имеет структуру сфалерита, однако при получении его в наноразмерной форме стабилизируется структура типа NaCl. Каким образом можно это объяснить?
22. В каких условиях возможна самоорганизация наноразмерных структур?
23. Каковы особенности зонной структуры металлов и полупроводников в нанокристаллическом состоянии?
24. Как изменяются магнитные свойства вещества при переходе в наноразмерное состояние? Почему?
25. Что такое наноэлектроника и нанофотоника? Какими видятся перспективы дальнейшего развития данных областей знания?
26. Каковы возможности использования наночастиц в каталитических процессах? Приведите конкретные примеры.
27. Наноматериалы какого класса называют «молекулярными ситами»? В каких технических процессах они могут быть использованы?
28. В каких областях медицины нанотехнологии уже используются или могут быть использованы в будущем? Каким образом на основе нанотехнологий улучшают хирургический инструментарий?
29. Можно ли использовать нанотехнологии при создании топливных элементов? Приведите конкретные примеры.
30. Какие области практического применения углеродных нанотрубок вам известны? Какие свойства данных материалов определяют возможность их использования?

4. Примерная тематика рефератов, курсовых работ (если предусмотрены)

Не предусмотрены

5. Примерный перечень вопросов к зачету

1. Основные классы наноразмерных систем (перечислить, охарактеризовать)
2. Нанотрубки и их свойства. Использование нанотрубок в качестве элементной базы микроэлектроники.
3. Углеродные наноструктуры. Фуллерен. История открытия, структура, возможности модифицирования, области применения.
4. Порошковые наноматериалы. Основные методы получения и направления практического использования.
5. Наноматериалы на основе блок-сополимеров. Возможности практического использования.
6. Супрамолекулярные структуры. Структуры с переходными металлами. Дендритные молекулы. Супрамолекулярные дендримеры. Возможности практического использования.
7. Наноструктурированные материалы. Основные методы получения и направления практического использования.
8. Биологические наноматериалы.
9. Пористые наноструктуры. Методы получения и возможности практического использования.
10. Квантовые точки, квантовые проволоки и квантовые колодцы. Основные принципы приготовления квантовых наноструктур.
11. Наноэлектроника как одно из направлений применения нанотехнологий.
12. Роль нанотехнологий в развитии фотоники.
13. Применение наноматериалов в медицине и биологии: хирургический и стоматологический инструментарий, диагностика, искусственные органы и ткани.
14. Применение наноструктур в химии и химической технологии. Катализ на наночастицах.
15. Газодиффузионное разделение газовых смесей с использованием пористых наноматериалов – «молекулярных сит».
16. Примеры конструкционных и инструментальных материалов, изготовленных с использованием нанотехнологий.

17. Нанокомпозитные материалы. Классификация нанокомпозитов (по химической природе матрицы, по форме и характеру наполнителей из наночастиц и др.).
18. Нанокомпозиты. Общие методы получения нанокомпозитов, возможности практического использования.
19. Наноэнергетика. Возможности использования нанотехнологий для создания топливных элементов и устройств для хранения энергии.
20. Наноэлектромеханические системы: наномашины и наноприборы. Принципы изготовления, возможности применения.
21. Нанотехнология. Основные технологические принципы: «сверху–вниз» и «снизу–вверх». Механизмы самоорганизации.
22. Физические методы синтеза нанопорошков (метод электровзрыва, механическое и ультразвуковое диспергирование).
23. Химические методы синтеза нанопорошков.
24. Методы получения структурированных наноматериалов. Сущность метода Глейтера.
25. Методы получения структурированных наноматериалов. Интенсивная пластическая деформация.
26. Методы получения структурированных наноматериалов. Химическое осаждение из газовой фазы, физическое осаждение из газовой фазы, ионно-лучевая имплантация.
27. Электронная микроскопия как метод исследования наноматериалов. Возможности и ограничения метода.
28. Темплатный синтез наноматериалов и наноструктур. Подходы, основанные на принципе самосборки.
29. Пленочные технологии получения наноматериалов (химическое осаждение из газовой фазы (CVD), физическое осаждение из газовой фазы (PVD), элекроосаждение, ионно-лучевая эпитаксия, золь-гель осаждение).
30. Методы получения наноматериалов, которые классифицируются как диспергационные методы («сверху-вниз»).
31. Методы получения наноматериалов, которые классифицируются как конденсационные методы («снизу-вверх»).
32. Сканирующая зондовая микроскопия, как метод исследования наноматериалов. Принцип работы ближнепольного оптического микроскопа.
33. Сканирующая зондовая микроскопия, как метод исследования наноматериалов. Принцип работы атомно-адсорбционного микроскопа.
34. Сканирующая зондовая микроскопия, как метод исследования наноматериалов. Принцип работы сканирующего туннельного микроскопа.

35. Дополнительные возможности метода зондовой микроскопии: атомные манипуляции и нанолитография.
36. Газово-адсорбционный метод определения удельной поверхности порошков.
37. Использование метода малоуглового рассеяния нейтронов и рентгеновских лучей для исследования нанообъектов. Возможности и ограничения метода.
38. Силовой нанотестинг поверхности как метод изучения механических свойств наноструктур.
39. Спектроскопические методы исследования наноматериалов. Спектроскопия комбинационного рассеяния. Мессбауэровская спектроскопия. Метод ядерного магнитного резонанса. Возможности и ограничения методов.
40. Спектроскопические методы исследования наноматериалов. Спектроскопия рентгеновского поглощения (EXAFS, XANES). Методы РФС, УФС, Оже–спектроскопия. Возможности и ограничения данных методов.
41. Особые свойства вещества в нанометровом диапазоне размеров. Размерные эффекты в наносистемах: истинные, тривиальные. Причины их возникновения.
42. Термодинамика поверхности. Термодинамические функции поверхности. Поверхностная энергия и поверхностное натяжение.
43. Особые свойства поверхности. Поверхность в зонной модели. Искривление зон. Состояния и уровни Шоккли и Тамма.
44. Основы физической химии наносистем; уравнения и характеристики условий термодинамической стабильности межфазных границ в наносистемах; особенности поверхностных процессов в наноструктурах.
45. Структурные переходы в наноматериалах. Термодинамическое объяснение возможности стабилизации неравновесных структур для веществ в наноразмерном состоянии.
46. Влияние размера частиц вещества на параметры кристаллической решетки. Возможные объяснения данного явления.
47. Зависимость температуры фазовых переходов от размера частиц вещества.
48. Изменение теплоемкости веществ в зависимости от размера частиц. Объяснение данного явления.
49. Диффузия в наноматериалах.
50. Зависимость величины ионной проводимости от дисперсности материала.
51. Нанокомпозиты. Нанокомпозитный эффект в электропроводности (объяснить на примере ионной проводимости систем состава «ионная соль – нано-оксид»).

52. Эвтектики, как микрогетерогенные связно-дисперсные наносистемы. Супрамолекулярная концепция эвтектик.
53. Адсорбция типа "Твердое/Твердое". Адгезионная теория контактного плавления.
54. Проблемы устойчивости наночастиц и их ассоциатов; факторы, обуславливающие стабильность. Способы стабилизации наночастиц.
55. Причины низкой устойчивости веществ в нанокристаллическом состоянии. Технологии стабилизации формы и размеров нанокристаллитов.
56. Неавтономные межфазные соединения, их роль в формировании транспортных свойств и реакционной способности.
57. Магнитные наноматериалы. Влияние размера частицы на магнитные свойства ферромагнетиков. Основные параметры, зависящие от размерного фактора.
58. Полупроводниковые наноматериалы. Особенности зонной структуры металлов и полупроводников в нанокристаллическом состоянии.

III. Распределение часов курса по темам и видам работ

№ п/п	Наименование разделов и тем	ВСЕГО (часов)	Аудиторные занятия (час)		Самостоятельная работа
			в том числе		
			Лекции	Практические (семинары, лабораторные работы)	
1	Базовые термины и понятия. Основные классы наноразмерных систем	2	2		
2	Синтез наноматериалов	6	4		2
3	Методы исследования наноразмерных систем	6	4		2
4	Физико-химия наноструктурированных материалов	6	4		2
5	Основные проблемы нанохимии	8	4		4
6	Физические свойства нанообъектов	2	2		
7	Нанотехнологии. Области использования и перспективы развития	4	4		
	ИТОГО:	**34**	**24**		**10**

IV. Форма итогового контроля

Зачет по билетам

V. <u>Учебно-методическое обеспечение курса</u>

1. Рекомендуемая литература **(основная)**

1. Сергеев Г.Б. Нанохимия. М.: Изд-во МГУ. 2003. 288 с.
2. Пул Ч., Оуэнс Ф. Нанотехнологии. М.: Техносфера. 2005. 336 с.
3. Гусев А.И. Нанометриалы, наноструктуры, нанотехнологии. М: ФИЗМТЛИТ. 2005. 416 с.
4. Суздалев И.П. Физико-химия нанокластеров, наноструктур и наноматериалов. М.: КомКнига. 2006. 592 с.
5. Бокштейн Б.С., Ярославцев А.Б. Диффузия атомов и ионов в твердых телах. М.: МИСИС. 2005. 362 с.
6. Смирнов В.М. Химия наноструктур. Синтез, строение, свойства: Учебное пособие. СПб: Изд-во СПб ун-та. 1996. 108 с.

2. Рекомендуемая литература **(дополнительная)**

1. Русанов А.И. Термодинамические основы механохимии. – СПб.: Наука, 2006.– 221с
2. Андриевский Р.А., Рагуля А.В. Наноструктурные материалы. – М.: Издательский центр «Академеия», 2005. – 192 с.
3. Нанотехнология в ближайшем десятилетии. Прогноз направления исследований./ Под ред. М.К. Роко, Р.С. Уильямса и П. Аливисатоса. Пер. с англ. – М.: Мир, 2002. – 292 с.
4. Рыбалкина М. Нанотехнологии для всех. Nanotechnology News Network– 2005.– 444 с.

<u>Статьи:</u>

1. Андриевский Р.А. Нанометариалы: концепция и современные проблемы. // Рос. хим. ж. (Ж. Рос. хим. об-ва им. Д. И. Менделеева). 2002. т. XLVI. № 5. с.50-56.
2. Сергеев Г.Б. Размерные эффекты в нанохимии. // Рос. хим. ж. (Ж. Рос. хим. об-ва им. Д. И. Менделеева). 2002. т. XLVI. № 5. с.22-29.
3. Фейнман Р.Ф. Внизу полным-полно места: приглашение в новый мир физики. // Рос. хим. ж. (Ж. Рос. хим. об-ва им. Д. И. Менделеева). 2002. т. XLVI. № 5. с.4-7.
4. Андриевский Р.А. Современные проблемы наноструктрного материаловедения.// Наноструктурное материаловедение. 2005. №1. с. 5-13.
5. Сумм Б.Д., Иванова Н.И. Коллоидно-химические аспекты нанохимии – от Фарадея до Пригожина. // Вестн. моск. ун-та. Сер.2. Химия. 2001. Т.42. №5. с.300-305.