

ПРОГРАММА

кандидатского экзамена по специальности *02.00.04 - Физическая химия,*
отрасли наук *Химические науки,*
аспиранта *Сергеевой Татьяны Юрьевны,*
выполняющего научно-исследовательскую работу по теме:
*«Синтез гибридных органо-неорганических нанокompозитов с использованием
производных резорцинарена и металлических наночастиц»*

I. Строение вещества

1. *Основы классической теории химического строения.* Основные положения классической теории химического строения. Структурная формула и граф молекулы. Изомерия. Конформации молекул. Связь строения и свойств молекул.

2. *Физические основы учения о строении молекул.* Механическая модель молекулы. Потенциалы парных взаимодействий. Методы молекулярной механики и молекулярной динамики при анализе строения молекул.

Общие принципы квантово-механического описания молекулярных систем. Стационарное уравнение Шрёдингера для свободной молекулы. Адиабатическое приближение. Электронное волновое уравнение.

Потенциальные кривые и поверхности потенциальной энергии. Их общая структура и различные типы. Равновесные конфигурации молекул. Структурная изомерия. Оптические изомеры.

Колебания молекул. Нормальные колебания, амплитуды и частоты колебаний, частоты основных колебательных переходов. Колебания с большой амплитудой.

Вращение молекул. Различные типы молекулярных волчков. Вращательные уровни энергии.

Электронное строение атомов и молекул. Одноэлектронное приближение. Атомные и молекулярные орбитали. Электронные конфигурации и термы атомов. Правило Хунда. Электронная плотность. Распределение электронной плотности в двухатомных молекулах. Корреляционные орбитальные диаграммы. Теорема Купманса. Пределы применимости одноэлектронного приближения.

Интерпретация строения молекул на основе орбитальных моделей и исследования распределения электронной плотности. Локализованные молекулярные орбитали. Гибридизация.

Электронная корреляция в атомах и молекулах. Её проявления в свойствах молекул. Метод конфигурационного взаимодействия.

Представления о зарядах на атомах и порядках связей. Различные методы выделения атомов в молекулах. Корреляции дескрипторов электронного строения и свойств молекул. Индексы реакционной способности. Теория граничных орбиталей.

3. *Симметрия молекулярных систем.* Точечные группы симметрии молекул. Понятие о представлениях групп и характерах представлений. Общие свойства симметрии волновых функций и потенциальных поверхностей молекул. Классификация квантовых состояний атомов и молекул по симметрии. Симметрия атомных и молекулярных орбиталей, σ - и π -орбитали. π -Электронное приближение.

Влияние симметрии равновесной конфигурации ядер на свойства молекул и их динамическое поведение. Орбитальные корреляционные диаграммы. Сохранение орбитальной симметрии при химических реакциях.

4. *Электрические и магнитные свойства.* Дипольный момент и поляризуемость молекул. Магнитный момент и магнитная восприимчивость. Эффекты Штарка и Зеемана. Магнитно-резонансные методы исследования строения молекул. Химический сдвиг.

Оптические спектры молекул. Вероятности переходов и правила отбора при переходах между различными квантовыми состояниями молекул. Связь спектров молекул с их строением. Определение структурных характеристик молекул из спектроскопических данных.

5. *Межмолекулярные взаимодействия.* Основные составляющие межмолекулярных взаимодействий. Молекулярные комплексы. Ван-дер-ваальсовы молекулы. Кластеры атомов и молекул. Водородная связь. Супермолекулы и супрамолекулярная химия.

6. *Основные результаты и закономерности в строении молекул.* Строение молекул простых и координационных неорганических соединений. Полиядерные комплексные соединения. Строение основных типов органических и элементоорганических соединений. Соединения включения. Полимеры и биополимеры.

7. *Строение конденсированных фаз.* Структурная классификация конденсированных фаз. Идеальные кристаллы. Кристаллическая решетка и кристаллическая структура. Реальные кристаллы. Типы дефектов в реальных кристаллах. Кристаллы с неполной упорядоченностью. Доменные структуры.

Симметрия кристаллов. Кристаллографические точечные группы симметрии, типы решеток, сингонии. Понятие о пространственных группах кристаллов. Индексы кристаллографических граней.

Атомные, ионные, молекулярные и другие типы кристаллов. Цепочечные, каркасные и слоистые структуры.

Строение твердых растворов. Упорядоченные твердые растворы. Аморфные вещества. Особенности строения полимерных фаз.

Металлы и полупроводники. Зонная структура энергетического спектра кристаллов. Поверхность Ферми. Различные типы проводимости. Колебания в кристаллах. Фононы.

Жидкости. Мгновенная и колебательно усреднённая структура жидкости. Ассоциаты и кластеры в жидкостях. Флуктуации и корреляционные функции. Структура простых жидкостей. Растворы неэлектролитов. Структура воды и водных растворов. Структура жидких электролитов.

Мицеллообразование и строение мицелл.

Мезофазы. Пластические кристаллы. Жидкие кристаллы (нематики, смектики, холестерики и др.).

8. *Поверхность конденсированных фаз.* Особенности строения поверхности кристаллов и жидкостей, структура границы раздела конденсированных фаз. Молекулы и кластеры на поверхности. Структура адсорбционных слоев.

II. Химическая термодинамика

Основные понятия и законы термодинамики

1. Основные понятия термодинамики: изолированные и открытые системы, равновесные и неравновесные системы, термодинамические переменные, температура, интенсивные и экстенсивные переменные. Уравнения состояния. Теорема о соответственных состояниях. Вириальные уравнения состояния.

2. *Первый закон термодинамики.* Теплота, работа, внутренняя энергия, энтальпия, теплоемкость. Закон Гесса. Стандартные состояния и стандартные теплоты химических реакций. Зависимость теплового эффекта реакции от температуры. Формула Кирхгоффа. Таблицы стандартных термодинамических величин и их использование в термодинамических расчетах.

3. *Второй закон термодинамики.* Энтропия и её изменения в обратимых и необратимых процессах. Теорема Карно – Клаузиуса. Различные шкалы температур.

Фундаментальные уравнения Гиббса. Характеристические функции. Энергия Гиббса, энергия Гельмгольца. Уравнения Максвелла. Условия равновесия и критерии самопроизвольного протекания процессов.

Уравнение Гиббса – Гельмгольца. Работа и теплота химического процесса. Химические потенциалы.

4. *Химическое равновесие.* Закон действующих масс. Различные виды констант равновесия и связь между ними. Изотерма Вант-Гоффа. Уравнения изобары и изохоры химической реакции. Расчеты констант равновесия химических реакций с использованием таблиц стандартных значений термодинамических функций. Приведенная энергия Гиббса и её использование для расчетов химических равновесий. Равновесие в поле внешних сил. Полные потенциалы.

Элементы статистической термодинамики

Микро- и макросостояния химических систем. Фазовые Г- и μ -пространства. Эргодическая гипотеза. Термодинамическая вероятность и её связь с энтропией. Распределение Максвелла – Больцмана.

Статистические средние значения макроскопических величин. Ансамбли Гиббса. Микроканоническое и каноническое распределения. Расчет числа состояний в квазиклассическом приближении.

Каноническая функция распределения Гиббса. Сумма по состояниям как статистическая характеристическая функция. Статистические выражения для основных термодинамических функций. Молекулярная сумма по состояниям и сумма по состояниям макроскопической системы. Поступательная, вращательная, электронная и колебательная суммы по состояниям. Статистический расчет энтропии. Постулат Планка и абсолютная энтропия.

Приближение «жесткий ротатор – гармонический осциллятор». Составляющие внутренней энергии, теплоёмкости и энтропии, обусловленные поступательным, вращательным и колебательным движением.

Расчет констант равновесия химических реакций в идеальных газах методом статистической термодинамики. Статистическая термодинамика реальных систем. Потенциалы межмолекулярного взаимодействия и конфигурационный интеграл для реального газа.

Распределения Бозе – Эйнштейна и Ферми – Дирака. Вырожденный идеальный газ. Электроны в металлах. Уровень Ферми. Статистическая теория Эйнштейна идеального кристалла, теория Дебая. Точечные дефекты кристаллических решеток. Равновесные и неравновесные дефекты. Вычисление сумм по состояниям для кристаллов с различными точечными дефектами. Нестехиометрические соединения и их термодинамическое описание.

Элементы термодинамики необратимых процессов

Основные положения термодинамики неравновесных процессов. Локальное равновесие. Флуктуации. Функция диссипации. Потоки и силы. Скорость производства энтропии. Зависимость скорости производства энтропии от обобщенных потоков и сил. Соотношения взаимности Онсагера. Стационарное состояние системы и теорема Пригожина.

Термодиффузия и её описание в неравновесной термодинамике. Уравнение Чепмена – Энского.

Растворы. Фазовые равновесия

Различные типы растворов. Способы выражения состава растворов. Идеальные растворы, общее условие идеальности растворов. Давление насыщенного пара жидких растворов, закон Рауля. Неидеальные растворы и их свойства. Метод активностей. Коэффициенты активности и их определение.

Стандартные состояния при определении химических потенциалов компонент растворов. Симметричная и несимметричная системы отсчета.

Коллигативные свойства растворов. Изменение температуры замерзания растворов, криоскопия. Зонная плавка. Осмотические явления. Парциальные мольные величины, их определение для бинарных систем. Уравнение Гиббса – Дюгема.

Функция смешения для идеальных и неидеальных растворов. Предельно разбавленные растворы, атермальные и регулярные растворы, их свойства.

Гетерогенные системы. Понятия компонента, фазы, степени свободы. Правило фаз Гиббса.

Однокомпонентные системы. Диаграммы состояния воды, серы, фосфора и углерода. Фазовые переходы первого рода. Уравнение Клапейрона – Клаузиуса.

Двухкомпонентные системы. Различные диаграммы состояния двухкомпонентных систем. Равновесие жидкость – пар в двухкомпонентных системах. Законы Гиббса – Коновалова. Азеотропные смеси.

Фазовые переходы второго рода. Уравнения Эренфеста.

Трехкомпонентные системы. Треугольник Гиббса. Диаграммы плавкости трехкомпонентных систем.

Адсорбция и поверхностные явления

Адсорбция. Адсорбент, адсорбат. Виды адсорбции. Структура поверхности и пористость адсорбента. Локализованная и делокализованная адсорбция. Мономолекулярная и полимолекулярная адсорбция. Динамический характер адсорбционного равновесия.

Изотермы и изобары адсорбции. Уравнение Генри. Константа адсорбционного равновесия. Уравнение Ленгмюра. Адсорбция из растворов. Уравнение Брунауэра – Эмета – Теллера (БЭТ) для полимолекулярной адсорбции. Определение площади поверхности адсорбента.

Хроматография, различные её типы (газовая, жидкостная, противоточная и др.).

Поверхность раздела фаз. Свободная поверхностная энергия, поверхностное натяжение, избыточные термодинамические функции поверхностного слоя. Изменение поверхностного натяжения на границе жидкость – пар в зависимости от температуры. Связь свободной поверхностной энергии с теплотой сублимации (правило Стефана), модулем упругости и другими свойствами вещества.

Эффект Ребиндера: изменение прочности и пластичности твердых тел вследствие снижения их поверхностной энергии.

Капиллярные явления. Зависимость давления пара от кривизны поверхности жидкости. Капиллярная конденсация. Зависимость растворимости от кривизны поверхности растворяющихся частиц (закон Гиббса – Оствальда – Фрейндлиха).

Электрохимические процессы

Растворы электролитов. Ион-дипольное взаимодействие, как основной процесс, определяющий устойчивость растворов электролитов. Коэффициенты активности в растворах электролитов. Средняя активность и средний коэффициент активности, их связь с активностью отдельных ионов. Основные положения теории Дебая – Хюккеля. Потенциал ионной атмосферы.

Условия электрохимического равновесия на границе раздела фаз и в электрохимической цепи. Термодинамика гальванического элемента. Электродвижущая

сила, её выражение через энергию Гиббса реакции в элементе. Уравнения Нернста и Гиббса – Гельмгольца для равновесной электрохимической цепи. Понятие электродного потенциала. Определение коэффициентов активности на основе измерений ЭДС гальванического элемента.

Электропроводность растворов электролитов; удельная и эквивалентная электропроводность. Числа переноса, подвижность ионов и закон Кольрауша. Электрофоретический и релаксационные эффекты.

III. Кинетика химических реакций

Химическая кинетика

1. *Основные понятия химической кинетики.* Простые и сложные реакции, молекулярность и скорость простой реакции. Основной постулат химической кинетики. Способы определения скорости реакции. Кинетические кривые. Кинетические уравнения. Константа скорости и порядок реакции. Реакции переменного порядка.

2. *Феноменологическая кинетика* сложных химических реакций. Принцип независимости элементарных стадий. Кинетические уравнения для обратимых, параллельных и последовательных реакций. Квазистационарное приближение. Метод Боденштейна – Тёмкина. Кинетика гомогенных каталитических и ферментативных реакций. Уравнение Михаэлиса – Ментен.

Цепные реакции. Кинетика неразветвленных и разветвленных цепных реакций. Кинетические особенности разветвленных цепных реакций. Предельные явления в разветвленных цепных реакциях. Полуостров воспламенения, период индукции. Тепловой взрыв.

Реакции в потоке. Реакции идеального вытеснения и идеального смешения. Колебательные реакции.

3. *Макрокинетика.* Роль диффузии в кинетике гетерогенных реакций. Кинетика гетерогенных каталитических реакций. Различные режимы протекания реакций (кинетическая и внешняя кинетическая области, области внешней и внутренней диффузии).

4. Зависимость скорости реакции от температуры. Уравнение Аррениуса. Энергия активации и способы её определения.

5. *Элементарные акты химических реакций* и физический смысл энергии активации. Термический и нетермические пути активации молекул. Обмен энергией (поступательной, вращательной и колебательной) при столкновениях молекул. Время релаксации в молекулярных системах.

Теория активных столкновений. Сечение химических реакций. Формула Траутца – Льюиса. Расчет предэкспоненциального множителя по молекулярным постоянным. Стерический фактор.

Теория переходного состояния (активированного комплекса). Поверхность потенциальной энергии. Путь и координата реакции. Статистический расчет константы скорости. Энергия и энтропия активации. Использование молекулярных постоянных при расчете константы скорости.

6. *Различные типы химических реакций.* Мономолекулярные реакции в газах, схема Линдемана – Христиансена. Теория РРKM. Бимолекулярные и тримолекулярные реакции, зависимость предэкспоненциального множителя от температуры.

Реакции в растворах, влияние растворителя и заряда реагирующих частиц. Клеточный эффект и сольватация.

Фотохимические и радиационнохимические реакции. Элементарные фотохимические процессы. Эксимеры и эксиплексы. Изменение физических и химических свойств молекул при электронном возбуждении. Квантовый выход. Закон Эйнштейна – Штарка.

7. Электрохимические реакции. Двойной электрический слой. Модельные представления о структуре двойного электрического слоя. Теория Гуи – Чапмена – Грэма.

Электрокапллярные явления, уравнение Липпмана.

Скорость и стадии электродного процесса. Поляризация электродов. Полярография. Ток обмена и перенапряжение. Зависимость скорости стадии разряда от строения двойного слоя.

Химические источники тока, их виды. Электрохимическая коррозия. Методы защиты от коррозии.

Катализ

8. *Классификация каталитических реакций* и катализаторов. Теория промежуточных соединений в катализе, принцип энергетического соответствия.

9. *Гомогенный катализ.* Кислотно-основной катализ. Кинетика и механизм реакций специфического кислотного катализа. Функции кислотности Гаммета. Кинетика и механизм реакций общего кислотного катализа. Уравнение Брэнстеда. Корреляционные уравнения для энергий активации и теплот реакций. Специфический и общий основной катализ. Нуклеофильный и электрофильный катализ.

Катализ металлокомплексными соединениями. Гомогенные реакции гидрирования, их кинетика и механизмы.

10. *Ферментативный катализ.* Адсорбционные и каталитические центры ферментов. Активность и субстратная селективность ферментов. Коферменты. Механизмы ферментативного катализа.

11. *Гетерогенный катализ.* Определение скорости гетерогенной каталитической реакции. Удельная и атомная активность. Селективность катализаторов. Роль адсорбции в кинетике гетерогенных каталитических реакций. Неоднородность поверхности

катализаторов, нанесенные катализаторы. Энергия активации гетерогенных каталитических реакций.

Современные теории функционирования гетерогенных катализаторов.

Основные промышленные каталитические процессы.

IV. Своя дополнительная программа по теме НИР

1. *Введение в наноматериалы.* Основные понятия. Критерии определения наноматериалов: критический размер и функциональные свойства. Основные типы наноразмерных систем. Принципиальные методы получения наноразмерных структур.
2. *Металлические наночастицы и кластерные системы наноразмера.* Модели образования металлических наночастиц. Физические методы и химические методы получения металлических наночастиц. Макромолекулы как стабилизаторы ультрадисперсного состояния. Основные методы получения и структура наноразмерных частиц в полимерах. Кластерные системы на основе оксидов и сульфидов металлов.
3. *Самоорганизация как один из путей получения наноразмерных структур.* Введение в супрамолекулярную химию. Основные понятия супрамолекулярной химии. Движущие силы образования супрамолекулярных самоорганизующихся систем. Использование процессов самоорганизации амфифильных соединений для получения наноразмерных структур.
4. *Гибридные материалы на основе супрамолекулярных структур и наночастиц благородных металлов.* Использование амфифильных соединений в качестве стабилизаторов наночастиц. Преимущества использования супрамолекулярных структур для стабилизации наночастиц благородных металлов. Электронные и оптические свойства наночастиц благородных металлов. Применение наночастиц благородных металлов в качестве колориметрических и флуориметрических сенсоров. Наночастицы металлов в катализе (гетерогенный катализ, фотокатализ, электрокатализ).
5. *Полимерные наноконтейнеры.* Основные подходы получения наноконтейнеров: самосборка, темплатный синтез, эмульсионная и дисперсионная полимеризация, получение через дендримеры. Чувствительность к внешним воздействиям. Использование наноконтейнеров в адресной доставке, создании флуоресцентных маркеров, в качестве нанореакторов и стабилизаторов интермедиатов.
6. *Частицы Януса.* Виды частиц Януса. Биологические частицы Януса. Одномолекулярные частицы Януса: дендримеры и дендримероподобные полимеры. Неорганические частицы Януса. Основные методы получения частиц Януса. Самоорганизация частиц Януса. Физические свойства и применение частиц Януса.

Рекомендуемая литература (к разделам I-III)

1. Адамсон А. Физическая химия поверхностей. М.: Мир. 1979. – 568 с.
2. Бажин Н.М. и др. Термодинамика для химиков: Учебник для вузов / М.: Химия, 2001. - 408 с.
3. Байрамов В.М. Основы электрохимии: Уч. пособие. - М.: Изд. центр "Академия", 2005. - 240 с.
4. Бейдер Р. Атомы в молекулах: Квантовая теория. - М.: Мир, 2001. - 532 с.
5. Бердетт Дж. Химическая связь / Пер. с англ. - М.: БИНОМ. Лаб. знаний, 2008. - 245 с.
6. Боресков Г.К. Гетерогенный катализ. М.: Наука, 1986. – 303 с.
7. Воронин, А.И. и др. Динамика молекулярных реакций.. - М.: Наука, 1990. - 420 с.
8. Горшков, В.И. Основы физической химии: учеб./ В.И. Горшков, И.А. Кузнецов. – 4-е изд. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2011. – 407 с.
9. Грибов, Л.А. Элементы квантовой теории строения и свойств молекул: учебное пособие / Л.А. Грибов. – Долгопрудный: Интеллект, 2010. – 310 с.
10. Дамаскин Б.Б., Петрий О.А., Цирлина Г.А. Электрохимия. - Москва, Химия, 2001. 623 с.
11. Деффейс, К. Удивительные наноструктуры / К. Деффейс, С. Деффейс; под. ред. Л.Н. Патрикеева. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2011. – 206 с.: ил.
12. Кругляков, П.М. Физическая и коллоидная химия / П.М. Кругляков, Т.Н. Хаскова. – 2-е изд., испр. – М.: Высш. шк., 2007. – 319 с.: ил.
13. Крылов О.В. Гетерогенный катализ: Учебное пособие. М: Академкнига, 2004. – 679 с.
14. Минкин В.И., Симкин Б.Я., Миняев Р.М. Квантовая химия органических соединений. Механизмы реакций. М.: Химия. 1986. – 246 с.
15. Минкин В.И., Симкин Б.Я., Миняев Р.М. Теория строения молекул (Электронные оболочки). М.: Высш. Школа, 1979. – 467 с.
16. Миомандр Ф. и др. Электрохимия. - М.: Техносфера, 2008. - 360 с.
17. Мюнстер А. и др. Химическая термодинамика / Пер. с нем. Агеев Е.П. - М.: УРСС, 2002. - 295 с.
18. Накамура А., Цуцуи М. Принципы и применение гомогенного катализа. М.: Химия, 1983. – 231 с.
19. Панченков Г.М., Лебедев В.П. Химическая кинетика и катализ. М.: Химия, 1985. – 590 с.
20. Пентин Ю.А. Физические методы исследования в химии / Ю.А. Пентин, Л.В. Вилков. –М.: АСТ, 2003. – 683 с.
21. Пригожин И., Кондепуди Д. Современная термодинамика. От тепловых двигателей до диссипативных структур. М.: Мир, 2002. – 461 с.
22. Ролдугин, В.И. Физикохимия поверхности: Учебник-монография / В.И. Ролдугин. – Долгопрудный: Издательский дом «Интеллект», 2008. – 568 с.
23. Романовский Б.В. Основы химической кинетики: учебник. – М.: Издательство

«Экзамен», 2006. -415 с.

24. РСтромберг А.Г., Семченко Д.П. Физическая химия: М.: Высш. шк., 1988. – 496 с.

25. Скопенко В.В. и др. Координационная химия: Учеб.пособие. - М.: ИКЦ «Акадекнига», 2007. – 487 с.

26. Суздалев, И.П. Нанотехнология: физико-химия нанокластеров, наноструктур и наноматериалов / И.П. Суздалев. – Изд. 2-е, испр. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2009. – 200 с.

27. Сумм Б.Д. Основы коллоидной химии: Учебное пособие. - М.: Академия, 2006. - 238 с.

28. Темкин О.Н. Гомогенный металлокомплексный катализ. Кинетические аспекты / О.Н.Темкин. – М.: ИКЦ «Акадекнига», 2008. – 918 с.

29. Тоуб, М. Механизмы неорганических реакций: пер.с англ. / М. Тоуб, Дж. Берджесс; под ред. А.А. Дроздова. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012. – 678 с.: ил.

30. Уманский, С.Я. Теория элементарных химических реакций / С.Я. Уманский. – Долгопрудный: Издательский Дом «Интеллект», 2009. – 408 с.

31. Умрихин В.А. Физическая химия: Учебное пособие. - М.: КДУ, 2009. - 232 с.

32. Физическая и коллоидная химия: Учебник / ред. А.П. Беляев. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2010. – 700 с.: ил., табл.

33. Хенрици-Оливэ Г., Оливэ С. Координация и катализ. М.: Мир, 1980. – 421 с.

34. Хмельницкий, Р.А. Физическая и коллоидная химия: Учебн. для с.-х. спец. вузов / Р.А. Хмельницкий. - 2-е изд., стер., перепечатка с первого издания 1988 года. – М.: ООО «Издательский Дом Альянс», 2009. – 400 с.: ил.

35. Цирельсон, В.Г. Квантовая химия. Молекулы, молекулярные системы и твёрдые тела: Учеб. пособие для вузов / В.Г. Цирельсон. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2010. – 496 с.: цв. ил. – (Учебник для высшей школы).

36. Чоркендорф, И. Современный катализ и химическая кинетика / И. Чонкердорф, Х.Наймантсведрайт. – Долгопрудный: Издательский Дом «Интеллект», 2010. – 504 с.

37. Щеголев, И.Ф. Элементы статистической механики, термодинамики и кинетики: учебное пособие / И.Ф. Щеголев. – 2-е изд., испр. – Долгопрудный: Интеллект, 2010. – 208 с.

38. Эмануэль Н. М., Кнорре Д. Г. Курс химической кинетики. М.: Высшая школа. 1984. – 463 с.

39. Эткинс П. Физическая химия. В 2-х т. - М.: Мир, 1980.

40. Ягодовский В.Д. Статистическая термодинамика в физической химии. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2005. – 495 с.

Рекомендуемая литература (к разделу IV)

1. Рамбиди Н.Г. Берёзкин А.В. Физические и химические основы нанотехнологий. - М. Физматлит, 2009. - 456 с.
2. Суздаев И. П. Нанотехнология: физико-химия нанокластеров, наноструктур и наноматериалов. – М. : КомКнига , 2006. – 592 с.
3. Лен Ж.-М. Супрамолекулярная химия. Концепции и перспективы /Пер. с англ. под ред. В. В. Власова, А. А. Варнека. — Новосибирск: Наука, 1998. -334 с.
4. Li J. Engineering noble metal nanomaterials for environmental applications / J. Li, T. Zhao, T. Chen, Y. Liu, Ch.N. Ong and J. Xie // *Nanoscale*, 2015, 7, 7502–7519.
5. Meier W. Polymer nanocapsules / W. Meier // *Chem. Soc. Rev.*, 2000, 29, 295–303.
6. Walther A. Janus particles: synthesis, self-Assembly, physical properties, and applications / W. Meier, A. Müller // *Chem. Rev.* 2013, 113, 5194–5261.