

КАЗАХСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ им. АЛЬ-ФАРАБИ

**Утверждено на заседании
Академического комитета
КазНУ им. аль-Фараби
протокол № 6 от «22» июня 2020 г.
Проректор по учебной работе
_____ Хикметов А.К.**

**ПРОГРАММА
ВСТУПИТЕЛЬНОГО ЭКЗАМЕНА ПО СПЕЦИАЛЬНОСТИ
ДЛЯ ПОСТУПАЮЩИХ В ДОКТОРАНТУРУ PhD ПО СПЕЦИАЛЬНОСТИ
«8D07113 – Наноматериалы и нанотехнологии»**

АЛМАТЫ 2020

Программа составлена в соответствии с Государственным общеобразовательным стандартом по специальности «6D074000 – Наноматериалы и нанотехнологии». Программа составлена д.х.н., доцентом Абдулкаримовой Р.Г., к.х.н., и.о.доцентом Нажипкызы М, д.х.н., профессором Мансуровым З.А.

Программа рассмотрена на заседании кафедры химической физики и материаловедения
Протокол № _____ от _____ 20__ г.
Зав. кафедрой _____ **Тулупов М.И.**

Одобрена на заседании методбюро факультета химии и химической технологии
Протокол №__ от _____ 20__ г.
Председатель методбюро _____ **Мангазбаева Р.А.**

Утверждена на заседании Ученого совета
Протокол №__ от _____ 20__ г.
Председатель Ученого совета,
декан факультета _____ **Тасибеков Х.С.**
Ученый секретарь _____ **Тусупбекова А.С.**

СОДЕРЖАНИЕ

1. Цели и задачи вступительного экзамена по специальности

Поступающие на обучение должны иметь диплом магистра по направлению естественных наук - химии, физики.

Подготовка специалистов в соответствии с самыми высокими академическими стандартами в конкурентной, но стимулирующей образовательной среде, привлекательной для самых лучших обучающихся из Казахстана и других стран в области нанотехнологии.

2. Требования к уровню подготовки лиц, поступающих в докторантуру PhD

Иметь системные знания в области химии, физики, знать основы наноматериалов и нанотехнологии, неорганические и органические, высоко- и низкомолекулярные наноструктурированные соединения, углеродсодержащие наноматериалы и композиции на их основе, демонстрировать детальное понимание методов, применяемых для научных исследований и изысканий.

Форма вступительного экзамена – письменный экзамен. Экзаменуемые записывают свои ответы на вопросы экзаменационного билета на листах ответов, которые проверяется экзаменационной комиссией в зашифрованном виде.

3. Пререквизиты образовательной программы

Горение, детонация, взрыв, Избранные главы аналитической химии, Актуальные вопросы анализа и переработки минерального сырья, Современные проблемы физической химии, Современные технологии переработки органических веществ, Технология получения полимерных неорганических материалов, Современные проблемы химии и технологии полимеров, Фундаментальные основы нанотехнологии.

4. Перечень экзаменационных тем

Дисциплина «Современные проблемы нанотехнологии»

Содержание дисциплины

1 Введение

Нанонаука и её место в научно-техническом прогрессе. Нанонаука и нанотехнологии: понятия, определения, классификация. Исторический аспект развития нанотехнологий и основные пути получения нановещества. Специфика структуры и свойств наноматериалов: поверхностные структуры.

2 Методы исследования наноматериалов

Микроструктурный анализ. Люминесценция. Дифракционный анализ. Спектральные методы анализа. Определение удельной поверхности. Определение размеров наночастиц.

3 Синтез наноматериалов «снизу вверх».

Газофазный синтез CVD – синтез. Метод термического испарения. Молекулярно-лучевая эпитаксия. Методы науглероживания и карбонизации. Каталитический синтез. Синтез наночастиц в пламенах. Гидротермальный синтез.

4 Синтез наноматериалов «сверху вниз». Механохимический синтез. Детонационный синтез и электровзрыв. Ионная имплантация. СВС-синтез. Осаждение из растворов. Золь-гель технологии.

5 Получение компактированных наноструктурных материалов. Метод испарения и конденсации. Метод спекания. Метод магнитного импульсного прессования. Метод кристаллизации из аморфного состояния. Методы пластической деформации.

6 Самоорганизация и самосборка.

Пленки Ленгмюра – Блоджетт. Получение плёночных структур методом Принца. Самосборка конструкционных материалов. Самоорганизация и супрамолекулы. Самосборка под действием капиллярных сил. Самоорганизация биологических наносистем. Схема иерархических построений при самоорганизации. Самоорганизация вещества при его исследовании. Устойчивость и экологичность наноматериалов. Устойчивость наноматериалов. Экологичность наноматериалов.

7 Модели образования и роста наночастиц.

Дислокационная модель (Сирса). ПЖК – механизм (Эллиса – Вагнера). Карбидный механизм. Схема взрыва. Схема влияния дефектов. Образование спиралей. Кватеронная модель. Схема иерархического формирования наноиндивидов. Модель образования наночастиц при механохимическом синтезе.

8 Углеродные наночастицы и их характеристики. Алмазы и алмазоиды. Графен, графан. Способы получения графена. Применение графена. Карбин. Способы получения карбина.

9 Наноматериалы для энергетики

Рассматриваются современное состояние и проблемы создания новых материалов для химических источников тока: твердооксидных топливных элементов (ТОТЭ) и литиевых аккумуляторов. Анализируются ключевые структурные факторы, влияющие на свойства различных неорганических соединений, которые определяют возможность их применения в качестве электродных материалов: сложных перовскитов в ТОТЭ и соединений переходных металлов (сложных оксидов и фосфатов) в литиевых аккумуляторах. Рассматриваются основные анодные и катодные материалы, применяющиеся в литиевых аккумуляторах и признанные перспективными: их преимущества и ограничения, а также возможности преодоления ограничений направленным изменением атомной структуры и микроструктуры композиционных материалов путем наноструктурирования с целью улучшения характеристик источников тока.

10 Математическое моделирование. Математическое моделирование в науке.

Математическая оценка предложенных схем. Гидродинамическая модель образования одностенных нанотрубок. Гидродинамическая модель образования «двустенных» нанотрубок. Моделирование токсического воздействия фуллерена. Визуализация процессов.

11 Криохимия

Основные стадии процесса. Химические реакции в низкотемпературных конденсатах. Ячейки Кнудсена. Криореакторы. Активность, селективность и размерные эффекты. Реакции при сверхнизких температурах. Способы стабилизации наночастиц.

12 Кинетика и катализ

Кинетические особенности химических процессов на поверхности наночастиц. Термодинамические особенности наночастиц. Катализ на наночастицах. Реакции оксидов металлов.

13 Умные полимеры

Полимеры для конструкционных материалов и для функциональных систем. «Умные» полимерные системы, способные выполнять сложные функции. Примеры «умных» систем (полимерные жидкости для нефтедобычи, умные окна, наноструктурированные мембраны для топливных элементов). Биополимеры как наиболее «умные» системы. Биомиметический подход. Дизайн последовательностей для оптимизации свойств «умных» полимеров. Проблемы молекулярной эволюции последовательностей в биополимерах.

Дисциплина «Фундаментальные основы нанотехнологии»

1. Основные понятия и определения науки о наносистемах и нанотехнологии.

История развития нанотехнологий и наноматериалов. Понятие о наноматериалах. Наномир. Объекты и методы нанотехнологий. Основы классификации наноматериалов. Примеры нанообъектов и наносистем, их особенности, свойства и области применения. Фуллерены, фуллериты, графены, нанотрубки, нановолокна, аэрогели – структура, физические свойства, области применения. Принципы и перспективы развития нанотехнологий.

2. Наноматериалы и их классификация.

Неорганические и органические функциональные наноматериалы. Гибридные (органо- неорганические и неоргано-органические) материалы. Биоминерализация и биокерамика. Наноструктурированные 1D, 2D и 3D материалы. Мезопористые материалы. Молекулярные сита. Наноккомпозиты и их синергетические свойства. Конструкционные наноматериалы.

3. Классификация наночастиц и нанообъектов.

Виды наночастиц. Приемы получения и стабилизации наночастиц. Агрегация и дезагрегация наночастиц. Синтез наноматериалов в одно и двумерных нанореакторах.

4. Основные принципы формирования наносистем.

Физические и химические методы. Методы получения нанообъектов «сверху — вниз». Методы получения нанообъектов «снизу — вверх». Механоактивация и механосинтез нанообъектов. Процессы зародышеобразования в газовых и конденсированных средах. Гетерогенное зародышеобразование, эпитаксия и гетероэпитаксия. Методы химической гомогенизации (соосаждение, золь-гель метод, криохимическая технология, пиролиз аэрозолей, сольвотермальная обработка, сверхкритическая сушка).

5. Методы исследования и диагностика нанообъектов и наносистем.

Электронная растровая и просвечивающая микроскопия. Электронная томография. Электронная спектроскопия. Дифракционные методы исследования. Оптические и нелинейно-оптические методы диагностики. Особенности конфокальной микроскопии. Сканирующая зондовая микроскопия. Силовая микроскопия. Спектроскопия атомных силовых взаимодействий. Туннельная микроскопия и спектроскопия. Применение сканирующей зондовой микроскопии в нанотехнологиях.

6. Нанюглерод

Углеродные нанотрубки. Одностенные и многостенные нанотрубки. Свойства углеродных нанотрубок в зависимости от хиральности. Графен – структура, физико-химические свойства. Фуллерены, фуллериты структура, физико-химические свойства, области применения. Углеродные нановолокна.

7. Механизмы образования сферических и трубчатых наночастиц.

Дислокационная модель, пар-жидкость-кристаллический (ПЖК) механизм роста, карбидный механизм, Модели образования и роста наночастиц. Дислокационная модель Сирса. Пар-жидкость-кристаллический (ПЖК)-механизм Вагнера-Элиса. Карбидный механизм, лимитирующие стадии. Кватаронная модель образования частиц. Магнитный механизм образования нанотрубок.

8. Коллоидная химия нанообъектов. Капиллярность и смачивание.

Поверхностная энергия и поверхностное натяжение. Капли на твёрдой и жидкой поверхности. Полное и неполное смачивание. Поверхностные (электростатические и молекулярные) и капиллярные силы. Гистерезис угла смачивания: роль химической неоднородности и шероховатости. Супергидрофобные поверхности. Динамика смачивания и растекания.

9. Биомедицинские нанотехнологии

Биоматериалы. Бионанотехнологии. Принципы использования наночастиц в медицине. Области применения нанотехнологий для развития принципиально новых методов диагностики и лечения болезней человека Биоэнергетика.

10. Применение наноматериалов

Исторический аспект в области использования наноматериалов. Конструкционные наноматериалы. Наносорбенты и их применение. Применение наноразмерных катализаторов. Области применения графена, углеродных нанотрубок и фуллеренов.

11. Развитие нанотехнологий

Принципы и перспективы развития нанотехнологий. Нанобизнес. Наноиндустрия, рынок нанопродуктов. Инвестиции в нанотехнологии. Умные материалы. Военные нанотехнологии.

12. Квантовая механика наносистем. Квантоворазмерные эффекты в нанобъектах. Квазичастицы в твердом теле и в наноструктурированных материалах. Квантовые точки. Нитевидные кристаллы, волокна, нанотрубки, тонкие пленки и гетероструктуры. Квантовые эффекты в наноструктурах в магнитном поле. Электропроводимость нанобъектов. Понятие баллистической проводимости. Одноэлектронное туннелирование и кулоновская блокада. Оптические свойства квантовых точек. Спинтроника нанобъектов.

Дисциплина «Процессы синтеза наноматериалов»

1. Основные технологии получения наноматериалов

Классификация методов получения наноматериалов. Технологии, основанные на химических процессах. Технологии, основанные на физических процессах. Метод порошковой металлургии. Поверхностные технологии. Методы интенсивной пластической деформации. Комплексные методы синтеза. Синтез нанодисперсных материалов. Синтез наноструктурированных композитов.

2. Методы нанослоевого синтеза.

Атомно-молекулярная эпитаксия, молекулярная и химическая сборка, молекулярное наслаивание методом Ленгмюра-Блоджетт. Методы синтеза наноструктурированных материалов: вакуумно-плазменный и химический синтез фуллереноподобных материалов, углеродных нанотрубок, многослойных нанокompозитов. Золь-гель технологии. Синтез полимеров и полимерных композиций.

3. Методы синтеза углеродных нанотрубок.

Дуговой метод получения углеродных нанотрубок. Метод лазерной абляции. Получение УНТ методом CVD. Пиролитический метод синтеза УНТ. Синтез УНТ в пламени. Электрохимический синтез нанотрубок. Образование углеродных нанотрубок в пламенах. Влияние электрического поля на механизмы синтеза углеродных нанотрубок в пламени.

4. Методы синтеза фуллеренов.

Газофазный синтез. Синтез в дуговом разряде. Термическое каталитическое разложение углеводородов. Пиролитический метод. Синтез гетерофуллеренов. Методы получения эндо- и экзо-фуллеренов. Синтез фуллеренов в пламени. Влияние электрического поля на механизмы синтеза фуллеренов. Синтез фуллеренсодержащей сажи.

5. Синтез гидрофобных материалов и покрытий.

Виды и классификация гидрофобных материалов и покрытий. Синтез сажи обладающей супергидрофобными свойствами в пламени. Механизм сажеобразования. Влияние электрического поля и катализаторов на свойства супергидрофобной сажи.

6. Методы получения нанопорошков, нановолокон

Механохимический синтез получения наноматериалов. Самораспространяющийся высокотемпературный синтез (СВС). Газофазный синтез. Плазмохимический синтез.

Образование углеродной фазы в процессе каталитического крекинга углеводородов. Методики карбонизации и зауглероживания образцов. Неуглеродные нанотрубки.

7. Получение наночастиц.

Физические методы синтеза. Получение с помощью молекулярных пучков. Плазменно-химический метод. Метод испарения-конденсации. Метод импульсного радиолиза. Химические методы: восстановление из растворов, золь-гель переход, криотехнология. Синтез в пористых средах, микроэмульсиях и мицеллах. Структура и свойства кластеров. Фрактальные и плотноупакованные кластеры. Типы химических реакций с участием кластеров. Теоретическая модель кластера

8. Основы процесса получения наночастиц в жидких средах

Особенности получения наноматериалов в жидких средах. Зародышеобразование и рост наночастиц. Гомогенное и гетерогенное зародышеобразование. Влияние различных параметров системы на скорость зародышеобразования и кинетику роста нанокристаллов. Критический размер зародыша, зависимость от параметров системы. Кинетика роста наночастиц. Скорость роста, влияние пересыщения, ионного равновесия. Стабилизация наночастиц.

9. Синтез наночастиц методами осаждения

Основные химические реакции, приводящие к синтезу наночастиц в жидких средах и их контролируемому выделению из растворов. Получение наночастиц золота. Синтез наночастиц серебра, платины, палладия и других благородных металлов. Способы стабилизации наночастиц в растворах – электростатическая, адсорбционная, хемосорбционная. Кинетический контроль роста наночастиц. Основные факторы, влияющие на размер наночастиц. Применение методов осаждения для синтеза наночастиц, состоящих из сплава металлов, со структурой ядро-оболочка, многослойных структур. Синтез наночастиц оксидов металлов и нанокомпозитов.

10. Модифицирование поверхности твердых тел.

Особенности поверхностных свойств твердых тел различной химической природы. Влияние химического состояния поверхности на физические и химические свойства твердых тел. Методы модифицирования поверхности: физическое (легирование, ионная имплантация, нанесение тонких пленок и покрытий) и химическое (изменение функционального покрова) модифицирование.

11. Механизмы образования сферических и трубчатых наночастиц.

Дислокационная модель Сирса. Пар-жидкость-кристаллический (ПЖК)-механизм Вагнера-Элиса. Карбидный механизм, лимитирующие стадии. Кватеронная модель образования частиц. Магнитный механизм образования нанотрубок.

12. Материаловедение наносистем

Классификация материалов по техническому назначению, составу и свойствам: конструкционные, функционально-активные, адаптивные материалы, проводники, полупроводники, сверхпроводники, диэлектрики. Свойства наноматериалов: механические, теплофизические, физико-химические, электрофизические, оптические.

13. Фотохимические реакции. Механохимия.

Фотохимическое восстановление. Основы механосинтеза. Деформация со сдвигом. Интенсивная пластическая деформация.

14. Лиганды в процессе синтеза и стабилизация наночастиц.

Стабилизирующие лиганды, материалы-предшественники и лиганды-спейсеры. Взаимодействие в комплексе ядро-лиганд. Влияние природы лигандной оболочки. Безлигандные кластеры. Основные стадии получения безлигандных кластеров (метод сверхзвукового сопла).

15. Компактирование

Компактирование нанокристаллических материалов. Компактирование нанопорошков. Методы компактирования. Процессы рекристаллизации наноматериалов.

Дисциплина «Экспериментальные методы исследования наноматериалов и наноструктур»

1. Общая характеристика и классификация методов. Взаимодействие излучения с веществом. Поглощение, испускание, рассеяние. Спектроскопические и дифракционные методы. Энергетические характеристики различных методов спектроскопии. Чувствительность и разрешающая способность. Характеристическое время метода.

2. Методы колебательной спектроскопии. ИК-спектры и комбинационное рассеяние света

Возможности методов ИК-спектроскопии, их применение в химии. Правила отбора и интенсивность в ИК-поглощении. Частоты и формы нормальных колебаний молекул. Учет симметрии молекулы. Анализ нормальных колебаний молекулы по экспериментальным данным. Сопоставление ИК- и КР-спектров и выводы о симметрии молекул. Техника и методики ИК-спектроскопии и спектроскопии КР.

3. Аппаратура ИК-спектроскопии, прозрачные материалы.

Дополнительные приспособления, приготовление образцов. Особенности техники для далекой ИК-области. Аппаратура спектроскопии КР, преимущества лазерных источников возбуждения. Метод КАРС. Сравнение методов ИК- и КР-спектроскопии, их достоинства и недостатки.

4. Методы электронной спектроскопии. УФ-спектроскопия

Эмиссионная УФ-спектроскопия, как метод исследования двухатомных молекул. Абсорбционная спектроскопия в видимой области. Техника и методика абсорбционной спектроскопии в видимой и УФ-областях. Исследуемые образцы. Чувствительность метода, его достоинства и недостатки.

5. Метод электронного парамагнитного резонанса ЭПР.

Физические основы явлений электронного парамагнитного (спинового) резонанса и ядерного магнитного резонанса (ЭПР и ЯМР). Спины и магнитные моменты ядер и электронов. g -фактор и его значение. Анизотропия g -фактора. Спин-орбитальная связь. Снятие вырождения спиновых состояний в постоянном магнитном поле. Условие ЭПР. Заселенность уровней энергии, насыщение, релаксационные процессы и ширина сигнала. Форма линии. Сверхтонкое расщепление сигнала ЭПР при взаимодействии электрона с одним и несколькими ядрами. Число компонентов мультиплета, распределение интенсивностей. Константы СТС. Блок-схема ЭПР-спектрометра, особенности эксперимента, достоинства и ограничения метода.

6. Метод ЯМР.

Условие ЯМР. Релаксационные процессы. Химический сдвиг и спин-спиновое расщепление в спектрах ЯМР. Константа экранирования ядра. Относительный химический сдвиг, его определение и использование в химии. Спин-спиновое взаимодействие ядер, его природа, число компонентов мультиплетов, распределение интенсивности, правило сумм. Анализ спектров ЯМР первого и не первого порядка. Протонный магнитный резонанс, ЯМР на ^{13}C и других ядрах. Метод двойного резонанса. Техника и методика эксперимента. Блок-схема спектрометра ЯМР, типы спектрометров. Характер образцов. Структурный анализ. Изучение процессов комплексообразования. Изучение быстропротекающих процессов. Сравнение метода ЯМР с другими методами, его достоинства и ограничения. Принципы спектроскопии лазерного магнитного резонанса (ЛМР).

7. Метод газовой хроматографии

Физико-химические основы хроматографических процессов. Классификация методов хроматографии. Параметры хроматографического пика. Варианты газовой хроматографии. Блок-схема хроматографа.

Теория равновесной хроматографии. Теория эквивалентных теоретических тарелок. Диффузионно-массообменная теория. Элюционные характеристики. Селективность и критерии разделения.

Влияние температуры на хроматографический процесс. Использование методов программируемого изменения температуры. Виды детекторов. Методы качественного и количественного хроматографического анализа.

8. Метод масс-спектрометрии.

Масс-спектрометрия в сопоставлении с другими физическими методами исследования. Классификация приборов. Принцип действия масс-спектрометра, основные характеристики. Виды масс-анализаторов: время пролетный; радиочастотный; квадрупольный; ионно-циклотронного резонанса и др. Блок-схема масс-спектрометра с магнитным масс-анализатором. Методы введения проб в масс-спектрометр. Сочетание с газовым хроматографом. Молекулярные пучки. Эффузионные ячейки. Прямой ввод твердых проб.

9. Электронная микроскопия.

Оптическая микроскопия – основные принципы, направления и объекты исследований. Разрешающая способность. Элементы оптико-электронных приборов. Основные принципы действия электронных микроскопов. Просвечивающая электронная микроскопия. Растровая электронная микроскопия. Применение электронной микроскопии в нанотехнологии.

10. Рентгеновская спектроскопия. Физические основы рентгеновского метода анализа.

Рентгеновская дифрактометрия. Типы и характеристики трубок и детекторов рентгеновского излучения. Дифрактометрия (съемка и расчет дифрактограмм). Идентификация вещества (фаз вещества) по межплоскостным расстояниям и измерение параметров ячейки. Рентгенометрические картотеки. Оптические системы, дифракция на кристаллической решетке. Уравнение Вульфа-Брегга. Чувствительность, предел обнаружения, правильность метода. Подготовка проб к анализу и хранение. Выбор условий анализа и методика эксперимента. Приборная техника. Особенности современной аппаратуры для исследования фазового состава и параметров структуры полукристаллических материалов, включая тонкие пленки, покрытия и наноразмерные порошки

5. Список рекомендуемой литературы

Основная литература:

1. З.А.Мансуров. Т.А.Шабанова Синтез и технологии наноструктурированных материалов.- Алматы, «Қазақ университеті», 2008. - 208с
2. Андриевский Р.А., Рагуля А.В. Наноструктурные материалы. Уч. пособие. - М.: Издательский центр «Академия», 2005. – 117 с.
3. Пул Ч., Оуэнс Ф.. Нанотехнологии. М.: Техносфера, 2004.
4. Харрис П. Углеродные нанотрубы и родственные структуры. Новые материалы XXI века. - М.: Техносфера, 2005
5. Кобаяси Н. Введение в нанотехнологию.- М.: БИНОМ, 2007. -134с
6. Мансурова Р.М. Физико-химические основы синтеза углеродсодержащих композиции / Монография – Алматы, « XXI век». - 2001 -180с.
7. Вилков Л.В., Пентин Ю.А. Физические методы в химии. Структурные методы и оптическая спектроскопия- изд."Высшая школа", М., 1987.
8. Колесников Б.Я., Мансуров З.А. Физические методы исследования в химии. - Алматы, 2000.
9. Романовский Б.В. Основы химической кинетики. – М.: Экзамен, 2006. - 415 с.
10. Денисов Е.Т. Химическая кинетика. - М.: Высшая школа, 2000.
11. Практикум по химической физике и плазмохимии. Под ред. Мансурова З.А., Акназарова С.Х. - Алматы: Қазақ университеті, 2006 г.
12. Эмануэль Н.М., Кнорре Д.Г. Курс химических кинетики. М.: Высшая школа, 1984.
13. Мансуров З.А. Жану теориясы. - Алматы, «Қазақ университеті», 2011. – 130б.

14. Зельдович Я.Б., Баренблатт Г.И., Либрович В.Б., Махвиладзе Г.М. Математическая теория горения и взрыва. –М.: Наука.-1980.- 478 с.

Дополнительная литература:

1. Головин Ю.И. Введение в нанотехнологию. – М.: Изд-во «Машиностроение –1», 2003 – 112 с.
2. Алымов М.И., Зеленский В.А. Методы получения и физико-механические свойства объемных нанокристаллических материалов. - М.: МИФИ, 2005. – 52 с.
3. Фуллерены: Учебное пособие / Л.Н. Сидоров, М.А. Юровская, А.Я. Борщевский, И.В. Трушков, И.Н. Иоффе, изд. «Экзамен», 2005, 688с.
4. Mansurov Z.A. Overcarbonized adsorption-catalytic systems // Eurasian Chemico-Technological Journal. 2000, V. 2, № 1.- С. 59-68.
5. Фистуль В.Т. Новые материалы. Состояние, проблемы, перспективы.- М.: МИСиС, 1995.
6. Мальцев А.А. Молекулярная спектроскопия.- МГУ, М., 1980.
7. Экспериментальные методы химической кинетики /Под ред. Н.М. Эмануэля - М., «Высшая школа», 1980.
8. Айвазов Б.В. Основы газовой хроматографии - М., « Высшая школа», 1977.
9. Вилков Л.В., Пентин Ю.А. Физические методы в химии. Резонансные и оптические методы - М., «Высшая школа», 1989