

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

ХИМИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

**Аннотированная рабочая программа дисциплины**

**Избранные главы физической химии**

Модуль 1. Изотермы и взаимодействия при адсорбции  
Модуль 2. Квантово-химический компьютерный расчет параметров молекул  
Модуль 3. Микроскопические методы изучения морфологии и структуры  
нанокомпозитных систем

Направление подготовки

**04.04.01 Химия**

Магистерская программа

**Фундаментальная и прикладная химия веществ и материалов**

Квалификация выпускника

**Магистр**

Форма обучения

очная

Томск 2016

**1. Код и наименование дисциплины** Б.1.В.ДВ.1.5. Избранные главы физической химии.

Курс является модульным, **общая трудоемкость дисциплины** составляет 4 зачетные единицы, 144 часа, из которых 42 часа составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (18 часов – занятия лекционного типа, 24 часа – занятия семинарского типа, 66 часов составляет самостоятельная работа обучающегося, 36 подготовка к экзамену.

**1. Модуль 1**

**1.1. Наименование модуля «Изотермы и взаимодействия при адсорбции»**

**1.2. Цель изучения модуля:** ознакомить студентов с многообразием теоретических представлений при термодинамическом рассмотрении адсорбционных процессов, уравнений изотерм мономолекулярной и полимолекулярной адсорбции, характера взаимодействий в системах адсорбат – адсорбент.

**1.3. Год и семестр обучения:** 1 год, 1 семестр.

**1.4. Общая трудоемкость модуля** составляет 60 часов, из которых 18 часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (8 часов – занятия лекционного типа, 10 часов – занятия семинарского типа), 26 часов составляет самостоятельная работа обучающегося, 16 часов – подготовка к экзамену по данному модулю.

**1.5. Планируемые результаты обучения по модулю, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы**

Формируемые компетенции (код компетенции, уровень (этап) освоения)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (разделу)
<b>СПК-5-1</b> Способность планировать и решать проблемы термодинамики, кинетики и механизма сложных химических реакций, в том числе на границе раздела фаз	З (СПК-5) – I – Знать разнообразие подходов к описанию адсорбционных явлений У (СПК-5) – I – Уметь применять имеющиеся в адсорбционной науке уравнения для математического описания изотерм адсорбции и делать заключения о механизме адсорбционных процессов в анализируемых системах В (СПК-5) – I – Владеть необходимыми знаниями в области исследования и применения адсорбционных процессов на границах раздела газ-твердое тело и раствор- твердое тело, использование их для решения фундаментальных и прикладных задач; критически анализировать возможность использования разных уравнений для описания зависимостей величины адсорбции от равновесного давления.

## 1.6. Содержание модуля и структура учебных видов деятельности

### 1.6.1. Структура учебных видов деятельности

Наименование разделов и тем	Всего (час.)	Контактная работа (час.)		Самостоятельная работа (час.)
		Лекции	Практические занятия	
Введение. Основные понятия, закономерности; классификация явлений сорбции и адсорбции. Основные способы описания равновесия адсорбции: изотермы, изобары, изостеры адсорбции. Виды взаимодействий между адсорбатом и адсорбентом.	8	2	2	4
О чем могут свидетельствовать изотермы адсорбции? Что можно рассчитать из изотерм адсорбции? От каких факторов зависит форма, вид, расположение изотерм адсорбции.	8	1	1	6
Теории, уравнения изотерм мономолекулярной адсорбции	12	2	4	6
Теории, изотермы полимолекулярной адсорбции.	10	2	2	6
Изотермы адсорбции на пористых адсорбентах	6	1	1	4
Подготовка к экзамену по модулю 1	16			16
ИТОГО	60	8	10	42

### 1.6.2. Содержание модуля 1.

1. Введение. Основные понятия, закономерности; классификация явлений сорбции и адсорбции. Основные способы описания равновесия адсорбции: изотермы, изобары, изостеры адсорбции.

2. Изотермы адсорбции. Классификация изотерм адсорбции. Экспериментальные методы получения изотерм адсорбции.

3. О чем могут свидетельствовать изотермы адсорбции?

4. Что можно рассчитать из изотерм адсорбции?

5. От каких факторов зависит форма, вид, расположение изотерм адсорбции.

6. Теории, уравнения изотерм мономолекулярной адсорбции

a. Изотерма Генри

b. Изотерма Лэнгмюра

c. Изотерма Темкина

d. Изотерма Фрейндлиха

e. Изотерма Островского

f. Изотерма Фольмера

g. Изотерма Хилла-де Бура

h. Изотерма Киселева

i. Изотерма Томсона

j. Изотерма Фаулера-Гугенгейма

k. Изотерма Амага

l. Изотерма Гельфанда-Франца-Лебовица

m. Изотерма с вириальными коэффициентами (Битти-Бриджмена)

n. Изотерма Лоренца

o. Изотерма Бломгрена-Бокриса

7. Теории, изотермы полимолекулярной адсорбции

- a. Изотерма БЭТ
  - b. Изотерма Арановича
  - c. Изотерма Андерсона
  - d. Изотерма Хьютинга
  - e. Изотерма Гаркинса-Юра
  - f. Изотерма Френкеля-Хелси-Хилла
8. Изотермы адсорбции на пористых адсорбентах
    - 8.1 Изотермы Дубинина, Радушкевича, Астахова, Стекли
    - 8.2 Изотермы Комарова
  9. Виды взаимодействий между адсорбатом и адсорбентом.
  10. Расчет взаимодействий при физической и химической адсорбции

### **Семинарские занятия**

1. Экспериментальные методы изучения адсорбции на границе раздела газ – твердое тело. Расчет величины адсорбции в объемном и весовом методах.
2. Построение изотерм мономолекулярной адсорбции, описание их различными функциональными зависимостями, предложенными Лэнгмюром, Тёмкиным, Фрейндлихом, Островским и др.
3. Теории полимолекулярной адсорбции. Построение изотерм полимолекулярной адсорбции на твердых телах и проверка их на подчиняемость уравнениям для полимолекулярной адсорбции.
4. Построение изотерм адсорбции на пористых сорбентах. Анализ изотерм. Пористые сорбенты.
5. Особенности адсорбционных явлений в нанодисперсных системах.
6. Доклады студентов о применении различных уравнений изотерм мономолекулярной адсорбции к литературным экспериментальным данным.
7. Доклады студентов о применении различных уравнений изотерм полимолекулярной адсорбции к литературным экспериментальным данным.
8. Доклады студентов о расчете энергии физической адсорбции по литературным данным..
9. Доклады студентов о расчете химических взаимодействий по литературным данным.

#### **1.6.3. Форма промежуточной аттестации**

Экзамен (совместно с модулем 2 и 3)

### **1.7. Ресурсное обеспечение**

#### **1.7.1. Перечень основной литературы**

1. Минакова Т. С. Адсорбционные процессы на поверхности твердых тел : учебное пособие / Т. С. Минакова; Том. гос. ун-т. - Томск: Издательство Томского университета, 2007. – 279 с.
2. Минакова Т.С., И.А. Екимова Фториды и оксиды щелочноземельных металлов и магния. Поверхностные свойства. Томск: Издательский Дом Томского государственного университета, 2014. – 147 с.
3. М. М. Сычев, Т. С. Минакова, Ю. Г. Слизов, О. А. Шилова. Кислотно-основные характеристики поверхности твердых тел и управление свойствами материалов и композитов. Санкт-Петербург: Химиздат, 2016. – 274 с.

#### **1.7.2. Перечень дополнительной литературы**

1. Оура К., Лифшиц В.Г., Саранин А.А. и др. Введение в физику поверхности. М.: Наука, 2006. 490 с.
2. Фенелонов В.Б. Введение в физическую химию формирования супрамолекулярной структуры адсорбентов и катализаторов. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2002. 413 с.

3. Крылов О.В. Гетерогенный катализ. М.: ИКЦ «Академкнига», 2004. 679 с.
4. Карнаухов А.П. Адсорбция. Текстура дисперсных и пористых материалов. Новосибирск: Наука, 1999. 469 с.
5. Химия привитых поверхностных соединений / Под ред. Г.В. Лисичкина. М.: Физматлит, 2003. 589 с.

**1.7.3. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»**

- <http://past.tpu.ru/files/nu/disser/darmanskaya.pdf>
- <http://www.chem.msu.su/rus/jvho/2000-1/89.pdf>
- <http://narfu.ru/university/library/books/2196.pdf>
- <http://www.studfiles.ru/preview/412084/>
- <http://www.chem.msu.su/rus/teaching/tolmachev/tolmachev1.pdf>

**1.8. Автор программы:** Минакова Тамара Сергеевна, канд. хим. наук, профессор кафедры физической и коллоидной химии ХФ ТГУ.

**2. Модуль 2**

**2.1. Наименование модуля «Квантово-химический компьютерный расчет параметров молекул»**

**2.2. Цель изучения модуля** формирование знаний о существующих способах расчета параметров молекул и трудностях, которые при этом возникают.

**2.3. Год и семестр обучения:** 1 год, 1 семестр.

**2.4. Общая трудоемкость модуля** составляет 42 часа, из которых 12 часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (4 часа – занятия лекционного типа, 8 часов – занятия семинарского типа), 20 часов составляет самостоятельная работа обучающегося, 10 часов – подготовка к экзамену по данному модулю.

**2.5. Планируемые результаты обучения по модулю, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы**

Формируемые компетенции (код компетенции, уровень (этап) освоения)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (разделу)
ПК-1 – I. Способность проводить научные исследования по сформулированной тематике, самостоятельно составлять план исследования и получать новые научные и прикладные результаты.	З (ПК-1) – I. Знать возможности применения квантово-химический компьютерный расчет параметров молекул в научных исследованиях для получения новых результатов. У (ПК-1) – I. Уметь применять теоретические знания для решения конкретных задач в своей профессиональной деятельности.

## 2.6. Содержание модуля и структура учебных видов деятельности

### 2.6.1. Структура учебных видов деятельности

Наименование разделов и тем	Всего (час)	Контактная работа (час)		Самостоятельная работа (час)
		Лекции	Практические занятия	
Введение. Расчет структуры и энергии молекул. Молекулярная механика.	4	2		2
Теория молекулярных орбиталей. Оптимизация геометрии. Потенциальные поверхности.	6		2	4
Проблемы параметризации. Программа MMP2: примеры входных заданий и результатов расчета.	6	2	2	2
Полуэмпирические методы. Полуэмпирическая теория молекулярных орбиталей. Программа MOPAC: пример входных заданий и результатов расчетов.	8		2	6
Неэмпирические методы. Программы серии GAUSSIAN.	8		2	6
Подготовка к экзамену по модулю 2	10			10
Итого	42	4	8	30

### 2.6.2. Содержание модуля 2

**Тема 1.** Введение. Расчет структуры и энергии молекул. Молекулярная механика. Проблемы, возникающие при расчетах. Типы функций. Типы силовых полей. Расчет методом молекулярной механики.

**Тема 2.** Теория молекулярных орбиталей. Оптимизация геометрии. Потенциальные поверхности. Орбитали фрагментов. Молекулярные орбитали из орбиталей фрагментов. Диаграммы Уолша. Эффекты заместителей: теория граничных орбиталей.

**Тема 3.** Проблемы параметризации. Программа MMP2: примеры входных заданий и результатов расчета. Связанные атомы. Присоединенные атомы. Расчет координат.

**Тема 4.** Полуэмпирические методы. Полуэмпирическая теория молекулярных орбиталей. Программа MOPAC: пример входных заданий и результатов расчетов. Методы MINDO/3 и MNDO. Результаты расчетов. Расчет низколежащего триплетного электронного состояния и вычисление спиновой матрицы плотности. Возможные осложнения при применении программы: оптимизация геометрии; невозможность достижения самосогласования; симметрия волновой функции; пути реакций; запрещенные реакции.

**Тема 5.** Неэмпирические методы. Программы серии GAUSSIAN. Недостатки. Особенности. Базисный набор. Суперпозиционные ошибки базисного набора. Электронная корреляция.

### 2.6.3. Форма промежуточной аттестации

Экзамен (совместно с модулем 1 и 3).

## 2.7. Ресурсное обеспечение:

### 2.7.1. Перечень основной литературы

1. Бутырская Е. В. Компьютерная химия. Основы теории и работа с программами

Gaussian и GaussView / Е. В. Бутырская. – М. : Изд-во Солон-Пресс, 2011. – 224 с.

2. Каплан И. Г. Межмолекулярные взаимодействия. Физическая интерпретация, компьютерные расчеты и модельные потенциалы / И. Г. Каплан. – М.: Изд-во Бином. Лаборатория знаний, 2012. – 400 с.

3. Полещук О. Х. Методические указания к лабораторным работам по компьютерному моделированию химических реакций / О. Х. Полещук, Д. М. Кижнер ; [под ред. В. Д. Филимонова] ; Том. гос. пед. ун-т. – Томск, 2006. – 160 с. <http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Repository/vtls:000384833>

### **2.7.2. Перечень дополнительной литературы**

1. Барановский В. И. Квантовая механика и квантовая химия : учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / В. И. Барановский. – М.: Издательский центр «Академия», 2008. – 384 с.

2. Цирельсон В. Г. Квантовая химия. Молекулы, молекулярные системы и твердые тела / В. Г. Цирельсон. – М.: Изд-во Бином. Лаборатория знаний, 2012. – 520 с.

3. Кук Д. Квантовая теория молекулярных систем. Единый подход / Д. Кук. – пер. Б. Новосадова. – М.: Изд-во Интеллект, 2012. – 256 с.

4. Цышевский Р. В. Квантово-химические расчеты механизмов химических реакций : учебно-методическое пособие / Р.В. Цышевский, Г.Г. Гарифзянова, Г.М. Храпковский, Изд-во КНИТУ, Казань, 2012. – 87 с.

### **2.7.3. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»**

1. Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – М., 2000. – URL: <http://elibrary.ru/>

2. Химический портал [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.himikatus.ru/index.php>

3. Издательство «Юрайт» [Электронный ресурс] : электрон.-библиотечная система. – Электрон. дан. – М., 2013. – URL: <http://www.biblio-online.ru/>

**8. Автор программы:** Цыро Лариса Васильевна, канд. хим. наук, доцент кафедры физической и коллоидной химии ХФ ТГУ.

## **3. Модуль 3**

### **3.1. Наименование модуля «Микроскопические методы изучения морфологии и структуры нанокompозитных систем»**

**3.2. Цель изучения модуля** заключается в предоставлении студентам информации об электронно-зондовых микроскопических методах и ассоциированной с ними спектроскопии, для изучения нанокompозитных материалов; в приобретении знаний о возможностях микроскопических методов для изучения микроструктуры и фазового состава твердых тел и применение этих знаний для объяснения и прогнозирования физико-химических свойств нанокompозитных материалов и изучения механизмов процессов на границе раздела фаз (тв/газ).

**3.3. Год и семестр обучения:** 1 год, 1 семестр.

**3.4. Общая трудоемкость модуля** составляет, 42 часа, из которых 12 часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (4 часа – занятия лекционного типа, 6 часов – занятия семинарского типа, 2 часа – лабораторные занятия) 20 часов составляет самостоятельная работа обучающегося, 10 часов – подготовка к экзамену по данному модулю.

### 3.5. Планируемые результаты обучения по модулю, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы

Формируемые компетенции (код компетенции, уровень (этап) освоения)	Планируемые результаты обучения по модулю
ОПК-3, I уровень способностью реализовать нормы техники безопасности в лабораторных и технологических условиях.	З (ОПК-3) –I. Знать: Особенности взаимодействия электронов с веществом и принцип работы электронных микроскопов. Основы техники безопасности при экспериментально изучении морфологии и структуру нанокмполитных материалов методами просвечивающей и растровой электронной микроскопии. У (ОПК-3) – I. Уметь: Следовать правилам техники безопасности при проведении экспериментальных исследований структуры и морфологии материалов методами электронной микроскопии.
ПК-1, I уровень способностью проводить научные исследования по сформулированной тематике, самостоятельно составлять план исследования и получать новые научные и прикладные результаты.	З (ПК-1) –I. Знать: Принципы составления плана экспериментальных исследований морфологии и структуры наноструктурных материалов микроскопическими методами. Принципы обработки полученных экспериментальных данных; У (ПК-1) – I. Уметь: Формулировать выводы и делать заключение по интерпретированным экспериментальным данным. Давать рекомендации по дальнейшим исследованиям на основании полученных экспериментальных данных; Представлять результаты исследований в информационном виде.
ПК-2, I уровень владением теорией и навыками практической работы в избранной области химии.	З(ПК-2) – I. Знать: Методы сбора и анализа литературных данных по порученной руководителем тематике научных исследований (работа с периодическими изданиями, монографиями, информационными базами данных, новыми информационными технологиями). Практические подходы к анализу экспериментальных данных. У (ПК-2) – I. Уметь: Формулировать задачи научной работы и эксперимента на основе анализа литературы. Анализировать полученные экспериментальные данные микроскопическими методами исследования с целью доказательства научной гипотезы. В (ПК-2) – I. Владеть: Навыками целенаправленного поиска литературы и умением анализировать научную литературу с целью выбора направления исследования по заданной теме, в том числе с использованием современных технологий; Теоретическими основами и практическими навыками работы на экспериментальных установках и научном оборудовании связанных с микроскопическими методами анализа.
ПК-3, I уровень готовностью использовать современную аппаратуру при проведении научных исследований.	З(ПК-3) –I. Знать: Возможности использования современной аппаратуры для проведения научных исследований с применением микроскопических методов анализа морфологии и структуры нанокристаллических материалов; Принципы работы просвечивающего и растрового электронного микроскопа. Принципы взаимодействия электронов с веществом и условия



	<p>формирования изображения и дифракции в микроскопе. У (ПК-3) – I. Уметь: Выбрать методику для пробоподготовки нанокompозитных материалов для изучения морфологии и структуры. Провести пробоподготовку материалов для исследования поверхности твердых тел с использованием методов электронной микроскопии и связанными спектроскопическими методами.</p>
СПК-5, I уровень способность планировать и решать проблемы термодинамики, кинетики и механизма сложных химических реакций, в том числе на границе раздела фаз.	<p>З(СПК-5) –I. Знать Особенности протекания процессов на границе раздела фаз, на поверхности материалов. Особенности строения поверхности нанокompозитных материалов и влияние структуры на физико-химические, адсорбционные и каталитические свойства. Влияние морфологии на протекание каталитических процессов. У (СПК-5) – I. Уметь Анализировать данные полученные микроскопическими методами анализа применительно к задачам научной работы. Интерпретировать данные, полученные микроскопическими методами, для анализа механизма химической реакции на поверхности адсорбентов и катализаторов.</p>

### 3.6. Содержание модуля и структура учебных видов деятельности

#### 3.6.1. Структура учебных видов деятельности

Наименование разделов и тем	Всего (час.)	Контактная работа (час.)			Самостоятельная работа (час.)
		Лекции	Семинары	Лабораторные работы	
Особенности микроструктуры нанокompозитных веществ. Взаимодействие электронов с веществом.	8	2	2		4
Просвечивающая и растровая электронная микроскопия.	10	2		2	6
Микроанализ структуры и фазового состава по данным РЭМ и ПЭМ.	8		2		6
Элементный анализ поверхности нанокompозитных материалов. Энергодисперсионная рентгеновская спектроскопия, спектроскопия характеристических потерь энергии электронов.	6		2		4
Подготовка к экзамену по модулю 3	10				10
Итого:	42	4	6	2	30

#### 3.6.2. Содержание дисциплины

##### Тема 1. Особенности микроструктуры нанокompозитных веществ.

##### Взаимодействие электронов с веществом.

Дисперсность и термодинамические свойства нанокompозитных материалов. Размерные эффекты в дисперсных системах – зависимость свойств от размера частиц. Роль поверхности в нанокompозитных материалах. Взаимодействие электронов с веществом; рассеяние электронов. Фундаментальные величины, характеризующие взаимодействия электронов с веществом: поперечное сечение рассеяния, средняя длина свободного пробега, уширение пучка электронов, коэффициент поглощения и

проникающая способность. Неупругое рассеяние электронов и аналитическая электронная микроскопия. Классификация микроскопических методов.

### **Тема 2. Растровая и просвечивающая электронная микроскопия**

Знакомство с аппаратурой и основными методами микроскопии. Принципы растровой электронной микроскопии и ее применение. Формирование изображения в растровом электронном микроскопе. Принцип действия и растрового электронного микроскопа с энергодисперсионным анализатором. Просвечивающая электронная микроскопия. Основные узлы электронного микроскопа. Формирование изображения в электронном микроскопе и контраст. Разрешающая способность. Методика постановки и проведения эксперимента. Пробоподготовка.

### **Тема 3. Микроанализ структуры и фазового состава по данным РЭМ и ПЭМ.**

Применение СЭМ для изучения морфологии и дисперсности материала. Возможности ПЭМ к исследованию структуры и микрофазового состава нанокompозитных материалов. Важнейшие кристаллографические понятия. Решетки Браве. Действие над векторами. Обратное пространство. Кристаллические решетки, обратные решетки и формирование микродифракционных картин в просвечивающей электронной микроскопии. Микроэлектронограммы и их интерпретация. Анализ микроструктуры и микрофазового состава нанокompозитных материалов (на примере адсорбентов, катализаторов). Основные этапы расшифровки кольцевых электронограмм. Электронограммы от однофазных материалов. Ориентационные соотношения. Интерпретация тяжелых, наблюдаемых при электронограммах. Двойникование и связанные с ним явления.

### **Тема 4. Химический анализ поверхности нанокompозитных материалов.**

#### **Энергодисперсионная рентгеновская спектроскопия, спектроскопия характеристических потерь энергии электронов.**

Основные понятия и определения: краткое описание спектроскопии потерь электронов (СХПЭЭ) и энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии (ЭДС). Знакомство с аппаратурой и основными методами энергодисперсионного рентгеноспектрального анализа. Исследование массивных и сплошных объектов методом электронно-зондового рентгеноспектрального анализа. Методика анализа с помощью энергодисперсионного рентгеновского спектрометра. Количественный анализ элементного состава поверхности и его особенности. Метод картирования элементного состава поверхности. Последовательное и параллельное детектирование спектра. Пределы обнаружения при анализе методом СХПЭЭ. Анализ спектров потерь энергии электронов.

#### **3.6.3. Форма промежуточной аттестации**

Экзамен (совместно с модулем 1 и 2)

### **3.7. Ресурсное обеспечение**

#### **3.7.1. Перечень основной литературы**

1. Bauer, E. Surface microscopy with low energy electrons. Springer New York, 2014. – 496 p. <http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4939-0935-3>
2. Материаловедение: [учебник для студентов технических направлений] /В.Н. Гадалов, С.В. Сафонов, Д.Н. Романенко [и др.] Москва : Аргамак-Медиа [и др.], 2014, 272 с.
3. Физикохимия поверхности: [учебник-монография] /В. И. Ролдугин. – Долгопрудный: Издательский дом «Интеллект», 2011. – 565 с.

#### **3.7.2. Перечень дополнительной литературы**

1. Фенелонов В.Б. Введение в физическую химию формирования супрамолекулярной структуры адсорбентов и катализаторов. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2002. 413 с.
2. Введение в физику поверхности /К. Оура, В.Г. Лифшиц, А.А. Саранин, А.В. Зотов,

М. Катаяма; [отв. ред. В.И. Сергиенко]; Ин-т автоматике и процессов упр. ДВО РАН. – М.: Наука.ю 2006. – 490 с.

3. Синдо Д., Оикава Т. Аналитическая просвечивающая электронная микроскопия. – М.: Техносфера, 2006. – 256 с.

4. Reimer L., Kohl H. Transmission Electron Microscopy Physics of image formation. Springer Verlag. Springer Series in Optical Sciences, 2008. – 602 p.

5. <http://dx.doi.org/10.1007/978-0-387-40093-8>

6. Боресков Г.К. Гетерогенный катализ. М.: Наука, 1986. 304 с. <http://sun.tsu.ru/limit/2016/000056936/000056936.djvu>

7. Карнаухов А.П. Адсорбция. Текстура дисперсных и пористых материалов. Новосибирск: Наука, 1999. 470 с. <http://sun.tsu.ru/limit/2016/000343275/000343275.pdf>

### **3.7.3. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети Интернет.**

1. ScienceDirect [Electronic resource] / Elsevier B.V. – Electronic data. – Amsterdam, Netherlands, 2016. – URL: <http://www.sciencedirect.com/>

2. Издательство «Лань» [Электронный ресурс] : электрон.-библиотечная система. – Электрон. дан. – СПб., 2010. – URL: <http://e.lanbook.com/>

3. Институт дистанционного образования, 2007. – URL: [http://ido.tsu.ru/iop\\_res2/kvantmeh/](http://ido.tsu.ru/iop_res2/kvantmeh/) (дата обращения: 01.10.2016)

4. Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – М., 2000. – URL: <http://elibrary.ru/>

5. Издательство «Юрайт» [Электронный ресурс] : электрон.-библиотечная система. – Электрон. дан. – М., 2013. – URL: <http://www.biblio-online.ru/>

**8. Автор программы:** Курзина Ирина Александровна, д.-р физ.-мат. наук, профессор кафедры физической и коллоидной химии ХФ ТГУ.