

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
"Казанский (Приволжский) федеральный университет"  
Химический институт им. А.М. Бутлерова



УТВЕРЖДАЮ  
Проректор по образовательной деятельности КФУ  
Проф. Д.А. Таюрский

» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

*подписано электронно-цифровой подписью*

## Программа дисциплины

Химия поверхностных явлений и адсорбция

Направление подготовки: 04.04.01 - Химия

Профиль подготовки: Нефтехимия и катализ

Квалификация выпускника: магистр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

Год начала обучения по образовательной программе: 2016

## Содержание

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения ОПОП ВО
2. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП ВО
3. Объем дисциплины (модуля) в зачетных единицах с указанием количества часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся
4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий
  - 4.1. Структура и тематический план контактной и самостоятельной работы по дисциплине (модулю)
  - 4.2. Содержание дисциплины (модуля)
5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю)
6. Фонд оценочных средств по дисциплине (модулю)
7. Перечень литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)
8. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)
9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)
10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)
11. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)
12. Средства адаптации преподавания дисциплины (модуля) к потребностям обучающихся инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья
13. Приложение №1. Фонд оценочных средств
14. Приложение №2. Перечень литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)
15. Приложение №3. Перечень информационных технологий, используемых для освоения дисциплины (модуля), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем

Программу дисциплины разработал(а)(и) профессор, д.н. (профессор) Горбачук В.В. (Кафедра физической химии, Химический институт им. А.М. Бутлерова), Valery.Gorbachuk@kpfu.ru

### 1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения ОПОП ВО

Обучающийся, освоивший дисциплину (модуль), должен обладать следующими компетенциями:

Шифр компетенции	Расшифровка приобретаемой компетенции
ОК-1	способностью владеть культурой мышления, умение аргументировано и ясно строить устную и письменную речь
ОК-2	способностью уважительно и бережно относиться к историческому наследию и культурным традициям, толерантность в восприятии социальных и культурных различий
ПК-1	способностью демонстрации общенаучных базовых знаний естественных наук, математики и информатики, понимание основных фактов, концепций, принципов теорий, связанных с прикладной математикой и информатикой
ПК-3	способностью понимать и применять в исследовательской и прикладной деятельности современный математический аппарат
ПК-4	способностью в составе научно-исследовательского и производственного коллектива решать задачи профессиональной деятельности
ПК-5	способностью критически переосмысливать накопленный опыт, изменять при необходимости вид и характер своей профессиональной деятельности
ПК-6	способностью осуществлять целенаправленный поиск информации о новейших научных и технологических достижениях в сети Интернет и из других источников
ПК-7	способностью собирать, обрабатывать и интерпретировать данные современных научных исследований, необходимые для формирования выводов по соответствующим научным, профессиональным, социальным и этическим проблемам

Обучающийся, освоивший дисциплину (модуль):

Должен знать:

химическую термодинамику поверхностных явлений и адсорбции, теоретические основы современных представлений о структуре поверхностей и экспериментальных методов их изучения

Должен уметь:

ориентироваться в проблемах химической термодинамики поверхностных явлений и адсорбции, теоретических основах современных представлений о структуре поверхностей и экспериментальных методов их изучения

Должен владеть:

основными подходами и экспериментальными методами исследования современной химии поверхностных явлений и адсорбции, позволяющими измерять основные физические и физико-химические параметры веществ и материалов, обусловленных особой структурой их поверхности и пористостью

Должен демонстрировать способность и готовность:

решать задачи по прогнозированию свойств веществ и материалов, обусловленных особой структурой их поверхности

### 2. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП ВО

Данная дисциплина (модуль) включена в раздел "Б1.В.ДВ.6 Дисциплины (модули)" основной профессиональной образовательной программы 04.04.01 "Химия (Нефтехимия и катализ)" и относится к дисциплинам по выбору. Осваивается на 2 курсе в 3 семестре.

### 3. Объем дисциплины (модуля) в зачетных единицах с указанием количества часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетных(ые) единиц(ы) на 108 часа(ов).

Контактная работа - 26 часа(ов), в том числе лекции - 0 часа(ов), практические занятия - 14 часа(ов), лабораторные работы - 12 часа(ов), контроль самостоятельной работы - 0 часа(ов).

Самостоятельная работа - 46 часа(ов).

Контроль (зачёт / экзамен) - 36 часа(ов).

Форма промежуточного контроля дисциплины: экзамен в 3 семестре.

### 4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

#### 4.1 Структура и тематический план контактной и самостоятельной работы по дисциплине (модулю)

N	Разделы дисциплины / модуля	Семестр	Виды и часы контактной работы, их трудоемкость (в часах)			Самостоятельная работа
			Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	
1.	Тема 1. Современные представления о строении (текстуре) и морфологии пористых тел	3	0	2	0	
2.	Тема 2. Текстуры характеристики поверхности	3	0	0	0	4
3.	Тема 3. Высоковакуумная техника изучения поверхностей на атомном уровне	3	0	2	0	
4.	Тема 4. Особенности поверхностей металлов	3	0	0	0	4
5.	Тема 5. Основы термодинамики поверхностей	3	0	2	0	
6.	Тема 6. Адсорбция физическая и хемосорбция	3	0	2	0	
7.	Тема 7. Нуклеация и рост тонких пленок на поверхности твердых тел	3	0	2	0	
8.	Тема 8. Экспериментальные методы исследования химического состава поверхностей и роста тонких пленок	3	0	2	0	
9.	Тема 9. Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия	3	0	0	0	2
10.	Тема 10. Экспериментальные методы исследования структуры поверхностей	3	0	0	0	2
11.	Тема 11. Методы колебательной спектроскопии для изучения поверхностей	3	0	0	0	2
12.	Тема 12. Определение структурных характеристик поверхности методом инфракрасной спектроскопии	3	0	0	2	2

N	Разделы дисциплины / модуля	Семестр	Виды и часы контактной работы, их трудоемкость (в часах)			Самостоятельная работа
			Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	
13.	Тема 13. Анализ экспериментальных данных по определению структурных характеристик поверхности методом инфракрасной спектроскопии	3	0	0	2	
14.	Тема 14. Термодинамика адсорбции	3	0	0	0	2
15.	Тема 15. Адсорбция на энергетически неоднородной или фрактальной поверхности	3	0	0	0	2
16.	Тема 16. Особенности адсорбции в микропорах, на поверхности и в объеме мезопор	3	0	0	0	2
17.	Тема 17. Методы экспериментального исследования физической и химической адсорбции	3	0	0	0	2
18.	Тема 18. Основные свойства пористых тел	3	0	0	0	2
19.	Тема 19. Типовые механизмы формирования и изменений текстуры поверхности в различных условиях	3	0	0	0	4
20.	Тема 20. Закономерности коллоидной химии и физики кластеров	3	0	0	0	2
21.	Тема 21. Применение адсорбентов и других пористых материалов для задач очистки и разделения веществ	3	0	0	0	2
22.	Тема 22. Экспериментальные измерения изотерм адсорбции и десорбции азота при 77К	3	0	0	4	
23.	Тема 23. Экспериментальные измерения распределения пор по размерам методом ртутной порометрии	3	0	0	0	4
24.	Тема 24. Методология анализа экспериментальных данных азотной и ртутной порометрии	3	0	0	4	
25.	Тема 25. Анализ полученных экспериментальных результатов	3	0	0	0	4
26.	Тема 26. Решение задач разной сложности по тематике курса	3	0	2	0	4
	Итого		0	14	12	46

#### 4.2 Содержание дисциплины (модуля)

##### Тема 1. Современные представления о строении (текстуре) и морфологии пористых тел

Определения понятий текстуры и морфологии поверхностей. Основные виды материалов, применение которых зависит от количественных характеристик строения их поверхностей. Способы модификации текстуры и морфологии поверхностей. Приготовление материалов с заданными характеристиками их поверхностей. Физические методы изучения поверхностей.

##### Тема 2. Текстурные характеристики поверхности

Текстурные характеристики поверхности, методы их определения и интерпретации

результатов измерений. Основные параметры текстуры поверхности: форма пор и волокон, распределение пор по размерам, фрактальная неоднородность, шероховатость, размеры кристаллитов, в том числе частиц металлов на поверхности.

### **Тема 3. Высоковакуумная техника изучения поверхностей на атомном уровне**

Применение электронной микроскопии и сканирующей зондовой микроскопии (атомно-силовой микроскопии) для изучения поверхностей на атомном уровне. Требования к поверхности и уровню вакуума для каждого метода в зависимости от требуемого разрешения. Типы поверхностей, которые можно изучать методами электронной микроскопии и сканирующей зондовой микроскопии.

### **Тема 4. Особенности поверхностей металлов**

Особенности поверхностей металлов, кристаллов с атомной решеткой, полярных полупроводников, ионных кристаллов. Зависимость текстуры металлов от способа и характера обработки. Смешанная текстура. Распределение расположения кристаллитов в металле относительно кристаллографических направлений. Распределение кристаллографических направлений кристаллитов металла относительно направлений его механической обработки. Оценка количественных характеристик текстуры металлов с помощью рентгеновской дифрактографии.

### **Тема 5. Основы термодинамики поверхностей**

Поверхностные явления и адсорбция. Молекулярные взаимодействия и особые свойства поверхности раздела фаз. Явление смачивания. Краевой угол, работа адгезии. Значение смачивания в биологических и производственных процессах. Флотация. Основы теории капиллярности. Капиллярное давление, закон Лапласа. Зависимость давления насыщенного пара от кривизны поверхности. Явления изотермической перегонки, капиллярной конденсации и собирательной рекристаллизации.

### **Тема 6. Адсорбция физическая и хемосорбция**

Понятие адсорбции. Классификация видов адсорбции по типу границы раздела фаз. Адсорбционные слои и их влияние на свойства дисперсных систем. Физическая адсорбция и хемосорбция. Основные типы твердых поверхностей и сорбатов, для которых характерна хемосорбция. Технологические применения хемосорбции. Гетерогенный катализ на твердых поверхностях. Ионообменная адсорбция. Ионообменники. Роль обменной адсорбции в технологических процессах приготовления твердых материалов с заданным химическим составом и морфологией поверхности.

### **Тема 7. Нуклеация и рост тонких пленок на поверхности твердых тел**

Общие представления о ростовых процессах. Первичный акт нуклеации с образованием трехмерного зародыша. Зарождение, рост и слияние островков из пересыщенного двумерного пара на поверхности твердого тела. Двумерный и трехмерный рост. Адсорбция, поверхностная диффузия и десорбция. Монослойные и многослойные пленки. Фазовые переходы первого рода в тонких пленках.

### **Тема 8. Экспериментальные методы исследования химического состава поверхностей и роста тонких пленок**

Экспериментальные методы исследования поверхностей, основанные на явлении испускания твердыми телами вторичных электронов при их бомбардировке пучком первичных электронов. Электронная оже-спектроскопия и спектроскопия характеристических потерь энергии электронов (СХПЭЭ). Зависимость коэффициентов вторичной электронной эмиссии и упругого отражения от энергии первичных электронов. Зависимость коэффициента упругого отражения электронов  $R$  от энергии первичных электронов. Спектроскопия упругого отражения электронов малой энергии, спектроскопия потенциала исчезновения, спектроскопия полного тока, интегральная вторично-электронная спектроскопия, низкоэнергетическая вторично-эмиссионная спектроскопия, резонансное упругое рассеяние медленных электронов у порогов неупругих каналов.

### **Тема 9. Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия**

Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия поверхности - метод исследования элементного состава, эмпирической формулы, химического и электронного состояния атомов, присутствующих в материале. Определение энергии химической связи. Определение

энергии электронов, испускаемых твердым телом в результате подвергания его монохроматическому рентгеновскому излучению. Обнаружения закисей кремния на поверхности кремния. Типы анодов, применяемые для получения первичного рентгеновского пучка. Глубина проникновения вторичных электронов в исследуемое вещество. Анализ химический состав тонкого (в несколько атомных слоев) приповерхностного слоя. Исследование профилей распределения примесей по глубине. Ионное распыление поверхностных слоев. Разрешение по глубине рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии. Разрешение методов по площади. Исследование радиационно-нестойких материалов. Вероятность заряда поверхности исследуемых диэлектриков. В-третьих, по данным рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии можно получать информацию о химической связи. Типичное энергетическое разрешение пиков спектров рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии.

#### **Тема 10. Экспериментальные методы исследования структуры поверхностей**

Экспериментальные методы исследования структуры поверхностей. Рентгеновская спектроскопия поглощения. Метод, основанный на изучении тонкой структуры спектров поглощения рентгеновских лучей. Структурный анализ. Сравнении рентгеновского спектра поглощения моноатомного газа, со спектром поглощения конденсированной среды. Разностный спектр с информацией о химической структуре вещества. Флуктуации спектра поглощения с тонкой структурой в виде волнистости спектра вблизи скачка поглощения выбранного атома исследуемого вещества. Химический сдвиг энергетического порога возбуждения скачка поглощения. Информация об атомном строении локального атомного кластера в окрестности нескольких координационных сфер около возбуждаемого атома, включая позиции атомов, длины связей, валентные углы и параметры тепловых колебаний (фактор Дебая-Уоллера). Возможность определения валентности атомов, распределения на них электронной плотности и зонной структуру вещества. Коэффициент поглощения рентгеновских лучей. Дифракционный рентгеноструктурный анализ. Изучение объектов сложного химического состава: примеси в сплавах, катализаторы. Исследование структуры веществ на поверхности катализаторов.

#### **Тема 11. Методы колебательной спектроскопии для изучения поверхностей**

Методы колебательной спектроскопии для изучения поверхностей.

[www.catalysis.ru/resources/books/paukshtis/paukshtis.doc](http://www.catalysis.ru/resources/books/paukshtis/paukshtis.doc). Инфракрасная спектроскопия и микроспектроскопия. Варианты метода, основанные на поглощении, отражении, малоугловом отражении. Метод нарушенного полного внутреннего отражения (НПВО). Схема измерения спектра порошка методом НПВО. Метод диффузного отражения. Схема хода лучей для методики диффузного отражения. Повышенная чувствительность метода к слабым полосам поглощения. Оптическая схема приставки диффузного отражения. Измерение спектров адсорбированных молекул. Схемы кювет используемых для измерения спектров адсорбированных молекул. Схема проточной ИК кюветы для измерения спектров адсорбированных молекул. Кюветы для измерения спектров методом диффузного отражения. Измерения концентрации молекул и поверхностных комплексов по данным ИК спектроскопии.

#### **Тема 12. Определение структурных характеристик поверхности методом инфракрасной спектроскопии**

Идентификация поверхностных центров поверхности катализаторов. Возможные структуры, которые реализуются на большинстве катализаторов, приготовленных с использованием оксидов металлов. Два типа существенно разных по свойствам поверхностей с участием платины: поверхность носителя и поверхность платины. Льюисовские кислотные центры, обусловленные координационно-ненасыщенными катионами металла в разном координационном окружении атомов кислорода. Возможные типы поверхностных структур и центров. Возможные схемы строения льюисовских кислотных центров на поверхности оксидов. Структуры, образуемые примесными анионами, которые остаются после синтеза (сульфатные, нитратные фосфатные группы) или образующиеся при контакте с атмосферой (карбонатно-карбоксилатные структуры). Обнаружение примесных анионов на поверхности оксидов. Метод спектральных зондов. Изменение спектров адсорбированных молекул зондов, Требования к молекулам, используемых в качестве зондов. Зонды, используемые при тестировании поверхности. Полосы поглощения, которые позволяют идентифицировать

природу адсорбционных центров. Измерения силы и концентрации для каждого типа адсорбционных центров.

### **Тема 13. Анализ экспериментальных данных по определению структурных характеристик поверхности методом инфракрасной спектроскопии**

Адсорбционное уравнение Гиббса. Поверхностно-активные и поверхностно-инактивные вещества. Уравнение изотермы мономолекулярной адсорбции Ленгмюра. Адсорбция газов на твердой поверхности. Многослойная адсорбция. Теория БЭТ. Условия применимости уравнений БЭТ и Ленгмюра для описания адсорбции газов на твердых поверхностях. Определение удельной поверхности адсорбентов. Особенности адсорбции из растворов. Адсорбция электролитов на твердом адсорбенте.

### **Тема 14. Термодинамика адсорбции**

Адсорбционное уравнение Гиббса. Поверхностно-активные и поверхностно-инактивные вещества. Уравнение изотермы мономолекулярной адсорбции Ленгмюра. Адсорбция газов на твердой поверхности. Многослойная адсорбция. Теория БЭТ. Условия применимости уравнений БЭТ и Ленгмюра для описания адсорбции газов на твердых поверхностях. Определение удельной поверхности адсорбентов. Особенности адсорбции из растворов. Адсорбция электролитов на твердом адсорбенте.

### **Тема 15. Адсорбция на энергетически неоднородной или фрактальной поверхности**

Адсорбция на энергетически неоднородной или фрактальной поверхности. Системы с фрактальной размерностью. Зависимость площади поверхности образца от размера адсорбируемых молекул. Поверхности с трехмерной структурой. Диапазон фрактальных размерностей для поверхностей сорбентов различных типов. Нанокристаллические системы. Влияние гидростатического давления, вызванного действием поверхностного натяжения, на кристаллическую структуру наночастиц. Определение фрактальной размерности аэрозольных частиц. Способ описания адсорбции на неоднородной поверхности.

### **Тема 16. Особенности адсорбции в микропорах, на поверхности и в объеме мезопор**

Классификация пор по размерам. Особенности адсорбции в микропорах, диапазон относительных давлений пара сорбата, при которых происходит заполнение микропор, относительная величина теплоты адсорбции. Адсорбция в мезопорах: полимолекулярная адсорбция, объемное заполнение по механизму капиллярной конденсации. Классификация адсорбентов по размерам пор. Примеры микропористых и мезопористых адсорбентов и их технологическое применение.

### **Тема 17. Методы экспериментального исследования физической и химической адсорбции**

Методы экспериментального исследования физической и химической адсорбции. Азотная порометрия. Определение кислотных характеристик образцов сорбентов методом температурно-программируемой десорбции NH<sub>3</sub>. Устройство прибора для исследования температурно-программируемой десорбции NH<sub>3</sub>. Включение и подготовка прибора к работе. Подготовка образца. Установка электрических настроек прибора. Настройка параметров анализа и запуск программы анализа. Алгоритм подготовки к анализу. Алгоритм выполнения анализа.

### **Тема 18. Основные свойства пористых тел**

Основные свойства пористых тел: гетерогенных катализаторов, адсорбентов, керамики разного назначения. Удельная поверхность, удельный объем, пор средний диаметр пор, распределение пор по размерам. Гистерезис адсорбции-десорбции. Корреляция между формой петли гистерезиса и текстурными характеристиками адсорбента: формой и объемом пор, распределением объема пор по диаметрам. Эмпирическая классификация петель гистерезиса ИЮПАК.

### **Тема 19. Типовые механизмы формирования и изменений текстуры поверхности в различных условиях**

Типовые механизмы формирования и изменений текстуры поверхности оксидных носителей и адсорбентов в различных условиях. Механизмы формирования текстуры в процессах сушки гидрогелей и влажных осадков, а далее - полный цикл стадий формирования текстуры оксидных носителей и адсорбентов, получаемых золь-гель методом и сосаждением через коагели. Отличительные особенности формирования текстуры кристаллизующихся систем и



систем, получаемых методами соосаждения. Влияние pH раствора при осаждении геля на текстурные характеристики приготовленного сорбента. Кипячение золя. Начало формирования удельной поверхности на стадии золя. Старение малоцентрированных гелей и синерезис с самопроизвольным уплотнением геля с выделением части дисперсионной среды. Влияние этого процесса на верхний предел изменений пористости. Стадия высокотемпературного спекания. Образование жидкоподобной пластичной фазы в местах контактов частиц при высокотемпературном спекании. Влияние сушки на предельный объем пор. Изменение вязкости приповерхностного слоя геля по мере уплотнения с увеличением до перехода в состояние упругого пористого тела при образовании плотной случайной упаковки глобул. Образование слоистых гранул. Образование амфорообразных или полых гранул. Влияние на текстурные характеристики совмещения стадий осаждения, равновесной растворимости осадков в водных средах, фазовых трансформаций, обусловленных кристаллизацией, ориентированной агрегации окристаллизованных первичных частиц. Схема получения осажденных катализаторов.

#### **Тема 20. Закономерности коллоидной химии и физики кластеров**

Закономерности коллоидной химии и физики кластеров. Понятие о кластерах. Кластеры металлов. Гомометаллические кластеры. Методы получения кластерных частиц. Конденсация пара металла. Способы испарения металла (плазменное, термическое в ячейке Кнудсена, электроннолучевое). Способы конденсации пара металла (сверхзвуковое истечение пара металла в вакуум, испарение в разреженной атмосфере инертного газа, криогенная конденсация пара металла на подложку, гомогенная нуклеация металлического пара.). Общее условие формирования ультрадисперсных частиц конденсацией пара металла: высокая скорость нуклеации при возможно меньшей скорости роста размеров частиц. Взрывные методы получения кластерных частиц. Метод электрического взрыва проводников для тугоплавких металлов. Химические методы получения кластерных частиц, основанные на термическом и фотохимическом разложении соединений металлов с летучими лигандами (карбонилы металлов, солей орг. кислот и др.). Зависимость свойств кластерных частиц и материалов на их основе от размеров частиц. Кластерные материалы. Основные матрицы для кластерных материалов. Связь уникальных физических характеристик кластерных материалов (квазиодномерной металлической проводимости, полупроводниковых, сверхпроводящих, магнитных свойств, особенностей взаимодействия с излучением, каталитической активности) с наличием взаимодействий металл - металл, определяющих тип структуры материалов. Методы заполнения каналов в жестких цеолитовых матрицах металлическими кластерами. Применение цеолитов с кластерами железа в качестве катализаторов синтезов по Фишеру-Тропшу и селективного окисления метана в метанол. Каталитические свойства металлонаполненных полимеров. Условия формирования металлических кластеров в полимерных матрицах (полиэтилене, полипропилене, полифениленоксиде и др.) методом высокоскоростного термораспада растворов соединений металлов в расплавах полимеров. Методы закрепления кластерных соединений на поверхности носителей. Однофазные металлополимеры.

#### **Тема 21. Применение адсорбентов и других пористых материалов для задач очистки и разделения веществ**

применение адсорбентов и других пористых материалов для задач очистки и разделения веществ, хранения энергии или адсорбированных компонентов, демпфирования колебаний концентрации, давления и т.д. Применение твердых сорбентов для осушки. Влияние температуры осушаемого газа. Очистка продуктов сжигания при помощи синтетических цеолитов. Метод непрерывного разделения бинарных смесей, аналогичный методу экстрактивной дистилляции, с использованием движущегося твердого сорбента с нанесенной неподвижной фазой. Кондиционирование воздуха с использованием твердых сорбентов. Применение твердых сорбентов в процессе противоточного разделения.

#### **Тема 22. Экспериментальные измерения изотерм адсорбции и десорбции азота при 77К**

Совмещенный абсорбционный и экстракционный методы разделения с использованием полимерных сорбентов, основанный на различии в растворимости компонентов разделяемой смеси.

#### **Тема 23. Экспериментальные измерения распределения пор по размерам методом ртутной порометрии**

Экспериментальные измерения распределения пор по размерам методом ртутной порометрии.

Модели мениска, имеющего форму сферического сегмента. Измерение давления, необходимого для вдавливания несмачивающей жидкости в поры адсорбента.

Дилатометрическая регистрация объемов жидкости, последовательно вводимых в поры образца в процессе непрерывного роста давления.

#### **Тема 24. Методология анализа экспериментальных данных азотной и ртутной порометрии**

Условия равновесия в соответствии с уравнением Лапласа-Юнга.

#### **Тема 25. Анализ полученных экспериментальных результатов**

устный опрос, примерные вопросы:

Анализ полученных экспериментальных результатов (расчет удельной поверхности, объема микропор, распределения объема разных типов пор по характерным размерам).

#### **Тема 26. Решение задач разной сложности по тематике курса**

Предложите способ приготовления сорбента с заданными текстурными характеристиками и химическим составом. Предложите экспериментальный метод измерения текстурных характеристик поверхности для заданного материала. Опишите возможные особенности текстуры поверхности заданного металла по кристаллографическим данным о его кристаллах и информации о способе его механической обработки. Опишите практические применения хемосорбции. Предложите способ приготовления тонких пленок заданного химического состава на поверхности заданного материала. Предложите экспериментальный метод определения химического состава и изучения роста тонких пленок заданного состава.

Предложите метод определения структурных характеристик поверхности материала заданного состава. Проанализируйте ИК-спектры поверхности данного материала, полученные в различных режимах. Опишите характер зависимости параметров адсорбции от размеров молекул сорбата на сорбенте с заданной фрактальностью. Определите тип данной изотермы адсорбции/десорбции по принятой классификации. Предложите способ приготовления заданных металлокластеров на поверхности адсорбента данного типа.

Определите распределение пор по размерам, удельную поверхность и средний радиус пор объемную долю пор на основе данных изотерм сорбции/десорбции азота и кривых объем-давление ртутной порометрии.

### **5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю)**

Самостоятельная работа обучающихся выполняется по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия. Самостоятельная работа подразделяется на самостоятельную работу на аудиторных занятиях и на внеаудиторную самостоятельную работу. Самостоятельная работа обучающихся включает как полностью самостоятельное освоение отдельных тем (разделов) дисциплины, так и проработку тем (разделов), осваиваемых во время аудиторной работы. Во время самостоятельной работы обучающиеся читают и конспектируют учебную, научную и справочную литературу, выполняют задания, направленные на закрепление знаний и отработку умений и навыков, готовятся к текущему и промежуточному контролю по дисциплине.

Организация самостоятельной работы обучающихся регламентируется нормативными документами, учебно-методической литературой и электронными образовательными ресурсами, включая:

Порядок организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам высшего образования - программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры (утвержден приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 5 апреля 2017 года №301)

Письмо Министерства образования Российской Федерации №14-55-996ин/15 от 27 ноября 2002 г. "Об активизации самостоятельной работы студентов высших учебных заведений"

Устав федерального государственного автономного образовательного учреждения "Казанский (Приволжский) федеральный университет"

Правила внутреннего распорядка федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Казанский (Приволжский) федеральный университет"

Локальные нормативные акты Казанского (Приволжского) федерального университета

### **6. Фонд оценочных средств по дисциплине (модулю)**

Фонд оценочных средств по дисциплине (модулю) включает оценочные материалы, направленные на проверку освоения компетенций, в том числе знаний, умений и навыков. Фонд оценочных средств включает оценочные средства текущего контроля и оценочные средства промежуточной аттестации.

В фонде оценочных средств содержится следующая информация:

- соответствие компетенций планируемым результатам обучения по дисциплине (модулю);
  - критерии оценивания сформированности компетенций;
  - механизм формирования оценки по дисциплине (модулю);
  - описание порядка применения и процедуры оценивания для каждого оценочного средства;
  - критерии оценивания для каждого оценочного средства;
  - содержание оценочных средств, включая требования, предъявляемые к действиям обучающихся, демонстрируемым результатам, задания различных типов.
- Фонд оценочных средств по дисциплине находится в Приложении 1 к программе дисциплины (модулю).

### **7. Перечень литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)**

Освоение дисциплины (модуля) предполагает изучение основной и дополнительной учебной литературы. Литература может быть доступна обучающимся в одном из двух вариантов (либо в обоих из них):

- в электронном виде - через электронные библиотечные системы на основании заключенных КФУ договоров с правообладателями;

- в печатном виде - в Научной библиотеке им. Н.И. Лобачевского. Обучающиеся получают учебную литературу на абонементе по читательским билетам в соответствии с правилами пользования Научной библиотекой.

Электронные издания доступны дистанционно из любой точки при введении обучающимся своего логина и пароля от личного кабинета в системе "Электронный университет". При использовании печатных изданий библиотечный фонд должен быть укомплектован ими из расчета не менее 0,5 экземпляра (для обучающихся по ФГОС 3++ - не менее 0,25 экземпляра) каждого из изданий основной литературы и не менее 0,25 экземпляра дополнительной литературы на каждого обучающегося из числа лиц, одновременно осваивающих данную дисциплину.

Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля), находится в Приложении 2 к рабочей программе дисциплины. Он подлежит обновлению при изменении условий договоров КФУ с правообладателями электронных изданий и при изменении комплектования фондов Научной библиотеки КФУ.

### **8. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)**

Курс коллоидной химии - [http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=4027](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=4027)

КФУ Презентации лекций - <http://cheminst.ksu.ru/vvg>

Неоднородные сорбенты - <http://znanium.com/bookread.php?book=442464>

Неорганическая химия - [http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_cid=25&pl1\\_id=4032](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=4032)

Физическая химия дисперсных систем - <http://www.studmedlib.ru/book/ISBN9785970424285.html>

### **9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)**

Разбор типичных задач химии поверхностных явлений и адсорбции, встречающихся на практике: в научной работе, медицине, быту, строительстве, сельском хозяйстве, пище-вой, химической и нефтехимической, горнорудной и нефтедобывающей промышленно-сти.

Лабораторные работы по изучению поверхностных явлений и адсорбции на современном научном оборудовании с применением компьютерной обработки результатов

### **10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)**

Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем, представлен в Приложении 3 к рабочей программе дисциплины (модуля).

### **11. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)**

Материально-техническое обеспечение образовательного процесса по дисциплине (модулю) включает в себя следующие компоненты:

Помещения для самостоятельной работы обучающихся, укомплектованные специализированной мебелью (столы и стулья) и оснащенные компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду КФУ.

Учебные аудитории для контактной работы с преподавателем, укомплектованные специализированной мебелью (столы и стулья).

Компьютер и принтер для распечатки раздаточных материалов.

Мультимедийная аудитория.

Специализированная лаборатория.

## **12. Средства адаптации преподавания дисциплины к потребностям обучающихся инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья**

При необходимости в образовательном процессе применяются следующие методы и технологии, облегчающие восприятие информации обучающимися инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья:

- создание текстовой версии любого нетекстового контента для его возможного преобразования в альтернативные формы, удобные для различных пользователей;
- создание контента, который можно представить в различных видах без потери данных или структуры, предусмотреть возможность масштабирования текста и изображений без потери качества, предусмотреть доступность управления контентом с клавиатуры;
- создание возможностей для обучающихся воспринимать одну и ту же информацию из разных источников - например, так, чтобы лица с нарушениями слуха получали информацию визуально, с нарушениями зрения - аудиально;
- применение программных средств, обеспечивающих возможность освоения навыков и умений, формируемых дисциплиной, за счёт альтернативных способов, в том числе виртуальных лабораторий и симуляционных технологий;
- применение дистанционных образовательных технологий для передачи информации, организации различных форм интерактивной контактной работы обучающегося с преподавателем, в том числе вебинаров, которые могут быть использованы для проведения виртуальных лекций с возможностью взаимодействия всех участников дистанционного обучения, проведения семинаров, выступления с докладами и защиты выполненных работ, проведения тренингов, организации коллективной работы;
- применение дистанционных образовательных технологий для организации форм текущего и промежуточного контроля;
- увеличение продолжительности сдачи обучающимся инвалидом или лицом с ограниченными возможностями здоровья форм промежуточной аттестации по отношению к установленной продолжительности их сдачи:
- продолжительности сдачи зачёта или экзамена, проводимого в письменной форме, - не более чем на 90 минут;
- продолжительности подготовки обучающегося к ответу на зачёте или экзамене, проводимом в устной форме, - не более чем на 20 минут;
- продолжительности выступления обучающегося при защите курсовой работы - не более чем на 15 минут.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО и учебным планом по направлению 04.04.01 "Химия" и магистерской программе "Нефтехимия и катализ".

Приложение 2  
к рабочей программе дисциплины (модуля)  
Б1.В.ДВ.6 Химия поверхностных явлений и адсорбция

**Перечень литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)**

Направление подготовки: 04.04.01 - Химия

Профиль подготовки: Нефтехимия и катализ

Квалификация выпускника: магистр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

Год начала обучения по образовательной программе: 2016

**Основная литература:**

1. Комаров В. С. Адсорбенты и носители катализаторов. Научные основы регулирования пористой структуры: Монография / В.С. Комаров, С.В. Бесараб. - М.: НИЦ ИНФРА-М, 2014. - 203 с.: <http://znanium.com/go.php?id=448449>
2. Щукин, Евгений Дмитриевич. Коллоидная химия: учебник для бакалавров: для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальностям 'Химия' и направлению 'Химия' / Е.Д. Щукин, А.В. Перцов, Е.А. Амелина. 7-е изд., испр. и доп. Москва: Юрайт, 2013. 443 с.

**Дополнительная литература:**

1. Физико-химические методы исследования гетерогенных катализаторов: руководство к лабораторному практикуму / авт.-сост. А.А. Ламберов, С.Р. Егорова, А.Н. Катаев и др. - Казань: Казан. Ун-т, 2013. - 80с.
2. Коллоидная химия. Физическая химия дисперсных систем: учебник / Ершов Ю.А.. 2013. - 352 с. <http://www.studmedlib.ru/book/ISBN9785970424285.html>
3. Лукьянов, А. Н. Неоднородные сорбенты [Электронный ресурс] : монография / А. Н. Лукьянов, О. Н. Кононова. - Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2012. - 190 с. <http://znanium.com/bookread.php?book=442464>

Приложение 3  
к рабочей программе дисциплины (модуля)  
Б1.В.ДВ.6 Химия поверхностных явлений и адсорбция

**Перечень информационных технологий, используемых для освоения дисциплины (модуля), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем**

Направление подготовки: 04.04.01 - Химия

Профиль подготовки: Нефтехимия и катализ

Квалификация выпускника: магистр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

Год начала обучения по образовательной программе: 2016

Освоение дисциплины (модуля) предполагает использование следующего программного обеспечения и информационно-справочных систем:

Операционная система Microsoft Windows 7 Профессиональная или Windows XP (Volume License)

Пакет офисного программного обеспечения Microsoft Office 365 или Microsoft Office Professional plus 2010

Браузер Mozilla Firefox

Браузер Google Chrome

Adobe Reader XI или Adobe Acrobat Reader DC

Kaspersky Endpoint Security для Windows

Учебно-методическая литература для данной дисциплины имеется в наличии в электронно-библиотечной системе "ZNANIUM.COM", доступ к которой предоставлен обучающимся. ЭБС "ZNANIUM.COM" содержит произведения крупнейших российских учёных, руководителей государственных органов, преподавателей ведущих вузов страны, высококвалифицированных специалистов в различных сферах бизнеса. Фонд библиотеки сформирован с учетом всех изменений образовательных стандартов и включает учебники, учебные пособия, учебно-методические комплексы, монографии, авторефераты, диссертации, энциклопедии, словари и справочники, законодательно-нормативные документы, специальные периодические издания и издания, выпускаемые издательствами вузов. В настоящее время ЭБС ZNANIUM.COM соответствует всем требованиям федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования (ФГОС ВО) нового поколения.

Учебно-методическая литература для данной дисциплины имеется в наличии в электронно-библиотечной системе Издательства "Лань", доступ к которой предоставлен обучающимся. ЭБС Издательства "Лань" включает в себя электронные версии книг издательства "Лань" и других ведущих издательств учебной литературы, а также электронные версии периодических изданий по естественным, техническим и гуманитарным наукам. ЭБС Издательства "Лань" обеспечивает доступ к научной, учебной литературе и научным периодическим изданиям по максимальному количеству профильных направлений с соблюдением всех авторских и смежных прав.