

МИНОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

ХИМИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

**Аннотированная рабочая программа дисциплины**  
**Методы исследования адсорбентов и катализаторов**

Специальность  
**04.05.01 Фундаментальная и прикладная химия**

Квалификация (степень) выпускника  
**Специалист**

Форма обучения  
**очная**

Томск – 2016

### 1. Код и наименование дисциплины

Б1.В.ДВ.1.5.4. Методы исследования адсорбентов и катализаторов.

### 2. Цель изучения дисциплины

Дисциплина является практической частью осуществляемых на кафедре дисциплин «Адсорбционные процессы» и «Гетерогенный катализ». Целями освоения дисциплины «Методы исследования адсорбентов и катализаторов» является ознакомление студентов, специализирующихся на кафедре физической и коллоидной химии, с методами исследования текстурных, адсорбционных и каталитических свойств адсорбентов и катализаторов, а также получение студентами практических навыков проведения подобных исследований. Программа дисциплины включает лабораторные работы по определению поверхностных свойств адсорбентов и катализаторов, носящие научно-исследовательский характер.

### 3. Год/годы и семестр/семестры обучения

Программа рассчитана на изучение дисциплины «Методы исследования адсорбентов и катализаторов» на 4-ом курсе в течение одного (8-го) семестра.

### 4. Общая трудоемкость дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5 зачетных единиц, 180 часов, из которых 104 часа составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (лабораторные занятия), 76 часов составляет самостоятельная работа обучающегося, в том числе 36 часов – подготовка к экзамену. Для студентов проводятся групповые и индивидуальные консультации.

### 5. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы

Формируемые компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине
<b>СК-4, II уровень:</b> - способность применять основные закономерности физической химии при решении конкретных задач химии и химической технологии, в том числе, синтеза и изучения функциональных свойств адсорбентов, катализаторов и других твердых тел, при использовании современных методов исследования, с целью их научного и практического применения при решении профессиональных задач.	<b>З (СК-4) – II Знать</b> - основные теории и уравнения (Ленгмюра, БЭТ, Томсона-Кельвина и др.), лежащие в основе методов определения удельной поверхности и пористости твердых тел; особенности адсорбции из газовой фазы и растворов, строение двойного электрического слоя; - методы определения кислотно-основных свойств поверхности адсорбентов и катализаторов, связь кислотно-основных параметров поверхности с поверхностными и объёмными характеристиками твердых тел; - знать понятия каталитической активности и селективности, характеризующие их параметры; влияние процессов переноса и температуры на определяемые экспериментально параметры каталитических свойств; - основные методы определения каталитических свойств, в том числе используемые режимы и типы реакторов, их возможности и ограничения; общие подходы к проведению каталитических испытаний, позволяющие организовать тестирование катализаторов на высоком методологическом уровне, а также сократить

	<p>время и расходы на выполнение исследований.</p> <p><b>У (СК-4) – II Уметь</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- работать на классических и современных приборах и установках по тематике дисциплины;</li> <li>- выбирать оптимальные методы и условия проведения экспериментов для исследования текстурных, адсорбционных и каталитических свойств материалов;</li> <li>- определять и рассчитывать на основе полученных экспериментальных данных параметры, характеризующие поверхностные и каталитические свойства материалов (удельную поверхность, общий объем пор, распределение пор по размерам, конверсию, каталитическую активность, селективность, порядок реакции по компоненту, эффективную энергию активации и др.);</li> <li>- проводить анализ полученных результатов, в том числе правильно сравнивать параметры, характеризующие поверхностные и каталитические свойства материалов, находить их взаимосвязь со структурой, фазовым составом и другими поверхностными и объёмными характеристиками исследуемых объектов.</li> </ul> <p><b>В (СК-4) – II Владеть</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- необходимыми знаниями и навыками в области исследования поверхностных свойств твердых тел, обсуждения полученных результатов с целью нахождения взаимосвязи между кислотностью поверхности и сорбционными, каталитическими, люминесцентными, оптическими, электрофизическими, механическими свойствами и другими свойствами твердых тел;</li> <li>- владеть необходимыми знаниями и навыками в области исследования каталитических свойств гетерогенных катализаторов с использованием реакторов (каталитических установок) различного типа, включая подготовку к проведению необходимых экспериментов, сбор и обработку полученных экспериментальных данных, обсуждения полученных результатов.</li> </ul>
--	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

## 6. Содержание дисциплины и структура учебных видов деятельности

### 6.1. Структура учебных видов деятельности

№ п/п	Наименование разделов и тем	Всего часов	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)	
				лабораторные работы	СРС
1	Определение удельной поверхности, объема пор и распределения пор по размерам с применением прибора «TriStar 3020» для мезопористых твердых тел многоточечным методом БЭТ.	10	1	6	4
2	Определение удельной поверхности, объема пор и распределения пор по размерам с применением прибора 3Flex для тонкопористых образцов адсорбентов и катализаторов многоточечным методом БЭТ.	8	1-2	6	2
3	Определение удельной поверхности твердофазных образцов адсорбентов и катализаторов однотоочечным методом БЭТ на проточной сорбционной установке.	15	2-3	12	3
4	Изучение кислотно-основного состояния поверхности твердых тел методами рН-метрии (определение рН точки нулевого заряда, рН изоионного состояния)	11	3-4	8	3
5	Использование величины электрокинетического потенциала для определения кислотности поверхности нанодисперсных систем (рН изоэлектрического со стояния).	11	4	8	3
6	Индикаторный метод определения кислотно-основных свойств поверхности твердых тел разной степени дисперсности (адсорбция индикаторов Гаммета из водной среды).	17	5-6	12	5
7	Определение каталитических свойств образца катализатора при разных временах контакта. Сравнение каталитических свойств образцов (скрининг).	19	7-8	14	5
8	Определение скорости гетерогенной каталитической реакции в проточном реакторе. Определение порядка реакции по компоненту.	17	8-9	12	5
9	Окислительное дегидрирование пропана в пропилен: определение основных параметров, скрининг, сведение баланса.	19	9-10	14	5
10	Окислительное дегидрирование пропана в пропилен: определение энергии активации реакции.	17	11-12	12	5
	Экзамен	36			36
	Итого	180		104	76

## **6.2. Содержание дисциплины**

Программа дисциплины включает лабораторные работы по определению текстурных, адсорбционных и каталитических свойств адсорбентов и катализаторов, носящие научно-исследовательский характер.

**Определение удельной поверхности, объема пор и распределения пор по размерам с применением прибора «TriStar 3020» для мезопористых твердых тел многоточечным методом БЭТ.** Удельная поверхность, пористость, изотерма адсорбции. Основные типы изотерм адсорбции. Методы определения удельной поверхности и размеров пор. Статический метод: многоточечный метод БЭТ. Волюмометрическое измерение величины адсорбции.

**Определение удельной поверхности, объема пор и распределения пор по размерам с применением прибора 3Flex для тонкопористых образцов адсорбентов и катализаторов многоточечным методом БЭТ.** Удельная поверхность, пористость, изотерма адсорбции. Основные типы изотерм адсорбции. [Проблема тонких пор..](#) Методы определения удельной поверхности и размеров пор. [Волюмометрическое измерение величины адсорбции.](#) [Особенности измерения пор микропористых сорбентов.](#) Многоточечный метод БЭТ.

**Определение удельной поверхности твердофазных образцов адсорбентов и катализаторов одноточечным методом БЭТ на проточной сорбционной установке.** Удельная поверхность, пористость, изотерма адсорбции. Основные типы изотерм адсорбции. Методы определения удельной поверхности. Динамический метод: одноточечный метод БЭТ.

**Изучение кислотно-основного состояния поверхности твердых тел методами рН-метрии (определение рН точки нулевого заряда, рН изоионного состояния).** Кислотно-основные центры на поверхности твердых тел: центры Льюиса и Бренстеда. Изоионное состояние, точка нулевого заряда. Метод рН-метрии. Оценка кислотно-основных свойств поверхности по значению рН точки нулевого заряда, рН изоионного состояния.

**Оценка кислотности и основности поверхности по значению рН изоэлектрического состояния, определенного измерением электрофоретической подвижности частиц при различных значениях рН суспензии.** ДЭС. Электрокинетический потенциал (дзета-потенциал). Электрофоретическая подвижность. Изоэлектрическая точка. Определение изоэлектрической точки. Оценка кислотно-основных свойств поверхности по значению рН изоэлектрического состояния.

**Индикаторный метод определения кислотно-основных свойств поверхности твердых тел разной степени дисперсности (адсорбция индикаторов Гаммета из водной среды).** Кислотно-основные центры на поверхности твердых тел: центры Льюиса и Бренстеда. Характеристика силы кислотных/основных центров на поверхности: функция Гаммета. Методы определения кислотности поверхности твердых тел (силы центров, концентрации центров, распределения центров) в жидких средах: индикаторный метод.

**Определение каталитических свойств образца катализатора при разных временах контакта. Сравнение каталитических свойств образцов (скрининг).** Проточные методы исследования каталитических свойств твердых катализаторов: интегральный реактор, режим идеального вытеснения. Каталитическая активность, средняя скорость каталитической реакции, конверсия. Время контакта. Стационарное состояние катализатора. Влияние процессов массо- и теплопереноса: области внешней диффузии, внутренней диффузии, кинетическая область. Обеспечение «идеальных» условий протекания реакции на катализаторе. Скрининг катализаторов. Сравнение активности катализаторов.

**Определение скорости гетерогенной каталитической реакции в проточном реакторе. Определение порядка реакции по компоненту.** Проточные методы исследования каталитических свойств твердых катализаторов: дифференциальный

реактор, режим идеального смешения. Проточно-циркуляционная установка. Дифференциальный режим в проточном реакторе. Удельная каталитическая активность. Ошибка определения скорости реакции. Порядок реакции: общий, частный порядок. Методы определения порядков реакции.

**Окислительное дегидрирование пропана в пропилен: определение основных параметров, скрининг, сведение баланса.** Проточные методы исследования каталитических свойств твердых катализаторов: интегральный реактор, режим идеального вытеснения. Каталитическая активность, средняя скорость каталитической реакции, конверсия; селективность. Время контакта. Стационарное состояние катализатора. Влияние процессов массо- и теплопереноса: области внешней диффузии, внутренней диффузии, кинетическая область. Обеспечение «идеальных» условий протекания реакции на катализаторе. Скрининг катализаторов. Сравнение активности и селективности катализаторов.

**Окислительное дегидрирование пропана в пропилен: определение энергии активации реакции.** Проточные методы исследования каталитических свойств твердых катализаторов: интегральный и дифференциальный реактор. Дифференциальный режим в проточном реакторе. Каталитическая активность, средняя скорость каталитической реакции, удельная каталитическая активность. Влияние процессов массо- и теплопереноса: области внешней диффузии, внутренней диффузии, кинетическая область; влияние температуры на наблюдаемую скорость реакции. Эффективная энергия активации реакции.

### 6.3. Форма промежуточной аттестации:

#### Экзамен

## 7. Ресурсное обеспечение

### 7.1. Перечень основной и дополнительной учебной литературы

1. Сычев М.М., Минакова Т.С., Слизов Ю.Г., Шилова О.А. Кислотно-основные характеристики поверхности твердых тел и управление свойствами материалов и композитов. Санкт-Петербург: Химиздат, 2016. – 274 с.
2. Минакова Т.С., Екимова И.А. Фториды и оксиды щелочноземельных металлов и магния. Поверхностные свойства. Томск: Издательский Дом Томского государственного университета, 2014. 148 с.
3. Чоркендорф И., Наймантсведрайт Х. Современный катализ и химическая кинетика. Долгопрудный: Издательский Дом «Интеллект», 2010. 504 с.

а<sup>1</sup>) электронные варианты:

4. Мамонтов Г.В., Минакова Т.С., Харламова Т.С., Горбунова А.С. Лабораторный практикум по курсу «Адсорбционные процессы». Электронный вариант, 2016 г.
5. Харламова Т.С., Водянкина О.В. Методы определения каталитических свойств гетерогенных катализаторов / Методические рекомендации к специализированному практикуму по катализу в рамках курса «Методы исследования адсорбентов и катализаторов». Электронный вариант, 2014 г. Электронный вариант.
6. Иконникова К.В., Иконникова Л.Ф., Минакова Т.С., Саркисов Ю.С. Теория и практика определения кислотно-основных свойств поверхности твердых тел методом рН-метрии. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. 99 с. Электронный вариант.

б) дополнительная литература:

1. Минакова Т.С. Адсорбционные процессы на поверхности твердых тел. Томск: Изд-во Том. ун-та, 2007. – 279 с.
2. Моррисон С. Химическая физика поверхности твердого тела. – М.: Мир, 1980. – 488 с.
3. Боресков Г.К. Гетерогенный катализ. М.: Наука, 1986. 304 с.

4. Крылов О.В. Гетерогенный катализ. М.: ИКЦ «Академкнига», 2004. 679 с.
5. Бобров, Н. Н. Экспериментальные методы изучения свойств катализаторов и сорбентов / Промышленный катализ в лекциях. Вып. 3. М.: Калвис, 2006. С.41-76.

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

1. Электронная Библиотека Диссертаций [Электронный ресурс] / Российская государственная библиотека. – Электрон. дан. – М., 2003. URL: <http://diss.rsl.ru/>
2. Электронно-библиотечная система Znanium.com [Электронный ресурс] / Научно-издательский центр Инфра-М. – Электрон. дан. – М., 2012. URL: <http://znanium.com/>
3. ScienceDirect [Electronic resource] / Elsevier B.V. – Electronic data. – Amsterdam, Netherlands, 2016. – URL: <http://www.sciencedirect.com/>
4. Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – М., 2000. – URL: <http://elibrary.ru/defaultx.asp/>

### **7.3. Образовательные технологии**

Наряду с классическими технологиями обучения (лабораторные работы и самостоятельная подготовка студентов) при осуществлении курса «Методы исследования адсорбентов и катализаторов» используются методы, включающие технологию обучения научным исследованиям, технологию проблемного обучения.

### **8. Преподаватели**

Т.С. Минакова, Т.С. Харламова, Г.В. Мамонтов.

Авторы: Минакова Тамара Сергеевна, к.х.н., профессор кафедры физической и коллоидной химии; Харламова Тамара Сергеев, к.х.н., доцент кафедры физической и коллоидной химии.