

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Ястребов Олег Александрович

Должность: Ректор

Дата подписания: 15.05.2026 12:28:37

Уникальный программный ключ:

ca953a01204891083f939673078ef1a989dae18a

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования

«Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы»

Факультет физико-математических и естественных наук

(наименование основного учебного подразделения (ОУП)-разработчика ОП ВО)

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

ФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ В КАТАЛИЗЕ

(наименование дисциплины/модуля)

Рекомендована МССН для направления подготовки/специальности:

04.04.01 ХИМИЯ

(код и наименование направления подготовки/специальности)

Освоение дисциплины ведется в рамках реализации основной профессиональной образовательной программы высшего образования (ОП ВО):

ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ И ПРИКЛАДНАЯ ХИМИЯ

(наименование (профиль/специализация) ОП ВО)

2026 г.

1. ЦЕЛЬ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Дисциплина «Физические методы исследования в катализе» входит в программу магистратуры «Фундаментальная и прикладная химия» по направлению 04.04.01 «Химия» и изучается в 3 семестре 2 курса. Дисциплину реализует Кафедра физической и коллоидной химии. Дисциплина состоит из 6 разделов и 15 тем и направлена на изучение. Целью освоения дисциплины «Физические методы исследования в катализе» является получение студентами теоретических и практических знаний по применению физико-химических методов для изучения каталитических процессов на современном уровне и во взаимосвязи с другими науками.

Целью освоения дисциплины является Получение студентами теоретических и практических знаний по применению физико-химических методов для изучения каталитических процессов на современном уровне и во взаимосвязи с другими науками. Дисциплина «Физические методы исследования в катализе» направлена на изучение основ теории и практики физико-химического анализа веществ, основных экспериментальных закономерностей, лежащих в основе физико-химических методов исследования, их связи с современными технологиями, а также формирование у студентов компетенций, позволяющих осуществлять экспериментальное определение закономерностей изменения физико-химических свойств и проводить численные расчеты соответствующих физико-химических величин.

2. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Освоение дисциплины «Физические методы исследования в катализе» направлено на формирование у обучающихся следующих компетенций (части компетенций):

Таблица 2.1. Перечень компетенций, формируемых у обучающихся при освоении дисциплины (результаты освоения дисциплины)

| Шифр | Компетенция | Индикаторы достижения компетенции (в рамках данной дисциплины) |
|------|--|---|
| ПК-2 | Способен на основе критического анализа результатов НИР и НИОКР оценивать перспективы их практического применения и продолжения работ в выбранной области химии, химической технологии или смежных с химией науках | ПК-2.2 Определяет возможные направления развития работ и перспективы практического применения полученных результатов; |

3. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОП ВО

Дисциплина «Физические методы исследования в катализе» относится к блоку по выбору блока образовательной программы высшего образования.

В рамках образовательной программы высшего образования обучающиеся также осваивают другие дисциплины и/или практики, способствующие достижению запланированных результатов освоения дисциплины «Физические методы исследования в катализе».

Таблица 3.1. Перечень компонентов ОП ВО, способствующих достижению запланированных результатов освоения дисциплины

| Шифр | Наименование компетенции | Предшествующие дисциплины/модули, практики* | Последующие дисциплины/модули, практики* |
|------|--|---|--|
| ПК-2 | Способен на основе критического анализа результатов НИР и НИОКР оценивать перспективы их практического применения и продолжения работ в выбранной области химии, химической технологии или смежных с химией науках | Научно -исследовательская работа; Экспериментальные методы исследования в химии; Теоретическая органическая химия; Theoretical organic chemistry; Молекулярный спектральный анализ; ЯМР органических соединений; Molecular spectral analysis; NMR of organic compounds; Электрохимические методы исследования; Резонансные методы в химии; Рентгендифракционные методы в неорганической химии; Физико-химический анализ; Адсорбция; | Преддипломная практика; |

* - заполняется в соответствии с матрицей компетенций и СУП ОП ВО

** - элективные дисциплины /практики

4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ И ВИДЫ УЧЕБНОЙ РАБОТЫ

Общая трудоемкость дисциплины «Физические методы исследования в катализе» составляет «5» зачетных единиц.

Таблица 4.1. Виды учебной работы по периодам освоения образовательной программы высшего образования для очной формы обучения.

| Вид учебной работы | ВСЕГО, ак.ч. | | Семестр(-ы) |
|--|----------------|------------|-------------|
| | | | 3 |
| <i>Контактная работа, ак.ч.</i> | 72 | | 72 |
| Лекции (ЛК) | 36 | | 36 |
| Лабораторные работы (ЛР) | 36 | | 36 |
| Практические/семинарские занятия (СЗ) | 0 | | 0 |
| <i>Самостоятельная работа обучающихся, ак.ч.</i> | 72 | | 72 |
| <i>Контроль (экзамен/зачет с оценкой), ак.ч.</i> | 36 | | 36 |
| Общая трудоемкость дисциплины | ак.ч. | 180 | 180 |
| | зач.ед. | 5 | 5 |

5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Таблица 5.1. Содержание дисциплины (модуля) по видам учебной работы

| Номер раздела | Наименование раздела дисциплины | Наименование темы | | Содержание темы | Вид учебной работы* |
|---------------|---|-------------------|---|---|---------------------|
| Раздел 1 | Общая характеристика и классификация физических методов исследования. | 1.1 | Общая характеристика и классификация физических методов исследования. Прямая и обратная задачи, характеристическое время методов. | Рассмотрены общая характеристика и классификация физических методов исследования, а также концепции прямой и обратной задач и характеристического времени методов. Физические методы анализа основаны на измерении аналитического сигнала, возникающего при взаимодействии вещества с физическим полем (электромагнитным, электрическим, магнитным, тепловым). По типу измеряемого эффекта методы классифицируют на спектроскопические, электрохимические, термические, хроматографические и масс-спектрометрические. Прямая задача физического метода заключается в расчете аналитического сигнала по известным свойствам вещества и условиям эксперимента. Обратная задача — определение свойств и состава вещества по экспериментально измеренному сигналу, что является основной целью анализа. Характеристическое время метода определяет временной масштаб регистрируемого процесса. По этому критерию методы делят на статические (равновесные) и динамические (кинетические), что влияет на выбор подхода для изучения быстрых или медленных процессов. | ЛК, ЛР |
| | | 1.2 | Возможности физических методов и области их применения | Рассмотрены возможности физических методов анализа и основные области их применения. Физические методы обладают высокой чувствительностью (пределы обнаружения до 10^{-10} – 10^{-1} г%), экспрессностью, возможностью автоматизации и неразрушающего контроля. Они позволяют проводить элементный, молекулярный, функциональный и фазовый анализ, а также изучать структуру и динамику химических систем. Спектроскопические методы (атомно-эмиссионная, атомно-абсорбционная, ИК- и УФ-спектроскопия, ЯМР) применяют для определения элементного состава, идентификации функциональных групп и исследования структуры молекул. Электрохимические методы (потенциометрия, вольтамперометрия) используют для анализа растворов и изучения механизмов электродных процессов. | ЛК, ЛР |

| Номер раздела | Наименование раздела дисциплины | Наименование темы | | Содержание темы | Вид учебной работы* |
|---------------|---|-------------------|---|---|---------------------|
| | | | | Хроматографические методы обеспечивают разделение и анализ сложных смесей органических и неорганических веществ. Масс-спектрометрия позволяет определять молекулярные массы и структуру соединений. Термические методы (ДСК, ТГА) изучают фазовые переходы и термическую стабильность. Области применения включают экологический мониторинг, фармацевтику, пищевую промышленность, металлургию, нефтехимию и биомедицинские исследования. | |
| Раздел 2 | Рентгеноспектральные методы анализа каталитических систем | 2.1 | Определения кристаллической и электронной структуры, состояния поверхности каталитических наносистем до и после катализа. | Рассмотрены физические методы определения кристаллической и электронной структуры, а также состояния поверхности каталитических наносистем до и после катализа. Для анализа кристаллической структуры используют рентгеновскую дифракцию (XRD), позволяющую определять фазовый состав, размер кристаллитов и параметры решетки, а также просвечивающую электронную микроскопию высокого разрешения (HRTEM). Электронную структуру исследуют методами рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (XPS) для анализа химического состояния элементов, рентгеновской абсорбционной спектроскопии (XANES/EXAFS) для изучения локального окружения и степени окисления. Состояние поверхности характеризуют сканирующей электронной микроскопией (SEM), атомно-силовой микроскопией (AFM) и спектроскопией комбинационного рассеяния (Раман). Сравнительный анализ каталитических наносистем до и после реакции позволяет выявить деградационные процессы: спекание частиц, изменение степени окисления, образование кокса или пассивацию активных центров. Эти данные необходимы для понимания механизмов катализа и разработки стабильных наноструктурированных катализаторов. | ЛК, ЛР |
| | | 2.2 | Влияние состава поверхности катализаторов на характер протекающих на | Рассмотрено влияние состава поверхности катализаторов на характер протекающих на ней процессов. Поверхность | |

| Номер раздела | Наименование раздела дисциплины | Наименование темы | | Содержание темы | Вид учебной работы* |
|---------------|--|-------------------|--|---|---------------------|
| | | | ней процессов | катализатора является активным центром, где происходят адсорбция реагентов, активация связей, химические превращения и десорбция продуктов. Состав поверхности определяет природу активных центров, их распределение, кислотно-основные и окислительно-восстановительные свойства. Присутствие промоторов изменяет электронную структуру активных компонентов, повышая селективность. Носители влияют на дисперсность, стабильность и синергетические эффекты. Легирование или формирование биметаллических наночастиц модифицирует адсорбционную способность и каталитическую активность. Отравление поверхности примесями (сера, хлор, углерод) приводит к дезактивации. Поверхностные дефекты, ступеньки, границы зерен часто выступают в роли дополнительных активных центров. Изучение состава поверхности методами XPS, AES, EXAFS, ИК-спектроскопии адсорбированных зондов позволяет коррелировать состав с каталитическими свойствами и целенаправленно конструировать катализаторы. | |
| Раздел 3 | Атомно-адсорбционные методы исследования химического состава катализаторов | 3.1 | Рассматриваются теоретические и практические основы атомно-адсорбционного метода анализа, основные узлы атомно-адсорбционных спектрометров, в том числе источники излучения, атомизаторы и др. | Рассмотрены теоретические и практические основы атомно-адсорбционного метода анализа (ААС), а также основные узлы атомно-адсорбционных спектрометров. Метод основан на резонансном поглощении света свободными атомами определяемого элемента в газовой фазе. Согласно закону Бугера-Ламберта-Бера, степень поглощения пропорциональна концентрации атомов в атомизаторе. Основные узлы ААС-спектрометра включают: источник излучения (обычно лампы с полым катодом или безэлектродные разрядные лампы), атомизатор (пламенный — ацетилен-воздух или ацетилен-закись азота, либо электротермический — графитовая печь), монохроматор для выделения резонансной линии и фотоэлектрический детектор. Электротермическая атомизация обеспечивает более низкие пределы обнаружения по сравнению с пламенной. Метод характеризуется высокой чувствительностью, селективностью и широким динамическим диапазоном. Области применения: анализ металлов и сплавов, геологических проб, объектов окружающей среды, пищевых | ЛК, ЛР |

| Номер раздела | Наименование раздела дисциплины | Наименование темы | | Содержание темы | Вид учебной работы* |
|---------------|--|-------------------|---|--|---------------------|
| | | | | продуктов, биологических жидкостей. Основные ограничения — трудность одновременного определения нескольких элементов и влияние матричных помех. | |
| | | 3.2 | Типы мешающих влияний и способы их устранения, основные методические подходы к аналитическому определению элементов в разнообразных объектах каталитических систем с использованием пламенных и электротермических способов атомизации, метрологические характеристики метода | Рассмотрены типы мешающих влияний в атомно-абсорбционном анализе и способы их устранения, а также методические подходы к определению элементов в каталитических системах с использованием пламенной и электротермической атомизации. Выделяют спектральные помехи (наложение линий поглощения, неселективное поглощение) и неспектральные (физические, химические — образование тугоплавких соединений, ионизационные). Способы устранения включают использование коррекции фона (дейтериевая или зеэмановская), добавление модификаторов матрицы, экстракционное отделение, применение платиновой или пироуглеродной платформы в графитовой печи. Методические подходы предусматривают выбор оптимальных условий атомизации, использование градуировочных графиков, метода добавок или стандарт-добавок для учета матричного эффекта. Метрологические характеристики метода: предел обнаружения (для пламени — 0,01–1 мг/л, для электротермической атомизации — 0,1–10 мкг/л), чувствительность, правильность, воспроизводимость (относительное стандартное отклонение 1–5%). Контроль качества обеспечивается анализом стандартных образцов. | ЛК, ЛР |
| Раздел 4 | Применение методов ИК, УФ и видимой спектроскопии в изучении адсорбционно-каталитических систем. | 4.1 | Классификация и отнесение электронных переходов и соответствующих полос в УФ и видимых спектрах. | Рассмотрены классификация электронных переходов и отнесение соответствующих полос в УФ- и видимых спектрах электронного поглощения. В основе метода лежат электронные переходы между молекулярными орбиталями при поглощении кванта света. По типу участвующих орбиталей выделяют переходы: $\sigma \rightarrow \sigma^*$ (характерны для насыщенных углеводородов, проявляются в вакуумном УФ-диапазоне), $n \rightarrow \sigma^*$ (наблюдаются у соединений с гетероатомами, 150–250 нм), $\pi \rightarrow \pi^*$ (для ненасыщенных соединений и ароматических систем, 170–250 нм с высокой интенсивностью), $n \rightarrow \pi^*$ (для карбонильных, | ЛК, ЛР |

| Номер раздела | Наименование раздела дисциплины | Наименование темы | | Содержание темы | Вид учебной работы* |
|---------------|---------------------------------|-------------------|---|---|---------------------|
| | | | | <p>нитрозо- и азогрупп, 270–300 нм, низкая интенсивность). Переходы с переносом заряда характерны для комплексных соединений. Отнесение полос проводят по положению максимума (λ_{max}), молярному коэффициенту экстинкции (ϵ), форме полосы и влиянию растворителя. Вспомогательные критерии — батохромный (красный) и гипсохромный (синий) сдвиги, гипер- и гипсохромные эффекты. Интерпретация УФ-спектров позволяет идентифицировать хромофорные группы, определять сопряженные системы и исследовать комплексообразование.</p> | |
| | | 4.2 | <p>Применение электронных спектров. Применение методов ИК и УФ спектроскопии в анализе, исследовании равновесий и кинетики реакций.</p> | <p>Рассмотрено применение методов ИК- и УФ-спектроскопии в анализе, исследовании равновесий и кинетики реакций. УФ-спектроскопия используется для количественного определения веществ, идентификации хромофорных групп, изучения комплексообразования и таутомерных равновесий. Метод позволяет определять константы равновесия по изменению оптической плотности при фиксированной длине волны. ИК-спектроскопия применяется для идентификации функциональных групп, анализа структурных изомеров, контроля чистоты веществ и изучения водородных связей. В кинетических исследованиях оба метода незаменимы для измерения концентраций реагентов и продуктов <i>in situ</i> без нарушения системы. По изменению интенсивности характеристических полос во времени рассчитывают константы скорости, порядок реакции и энергию активации. Преимущества: высокая чувствительность, экспрессность, возможность изучения быстрых процессов с применением струйных методик. Спектроскопические методы эффективны для мониторинга каталитических реакций, фотохимических процессов и равновесий в растворах.</p> | ЛК, ЛР |
| | | 4.3 | <p>Применение методов ИК, УФ и видимой спектроскопии в изучении адсорбционно-каталитических систем.</p> | <p>Рассмотрено применение методов ИК-, УФ- и видимой спектроскопии в изучении адсорбционно-каталитических систем. ИК-спектроскопия позволяет идентифицировать поверхностные соединения (адсорбированные молекулы,</p> | ЛК, ЛР |

| Номер раздела | Наименование раздела дисциплины | Наименование темы | | Содержание темы | Вид учебной работы* |
|---------------|--|-------------------|---|---|---------------------|
| | | | | интермедиаты, карбонилы, гидроксильные группы), изучать природу активных центров и механизмы каталитических реакций <i>in situ</i> . Метод чувствителен к состоянию адсорбированных частиц и их окружению. УФ- и видимая спектроскопия применяются для исследования электронных переходов в поверхностных комплексах, определения координационного окружения и степени окисления ионов переходных металлов в составе катализаторов. Диффузионно-отражательная спектроскопия (DRS) используется для анализа непрозрачных порошкообразных образцов. Сочетание спектральных методов позволяет коррелировать спектральные характеристики с каталитической активностью, выявлять интермедиаты и механизмы дезактивации (коксообразование, отравление). Преимущества: неразрушающий контроль, возможность изучения систем в условиях реакции (<i>operando</i> -режим) при высоких температурах и давлениях. | |
| Раздел 5 | Масс-спектрометрия и резонансные методы в катализе | 5.1 | Масс-спектрометры, масс-спектр, принципы работы масс-спектрометров и возможности их применения. Определение структуры молекулы по химическим сдвигам и спин-спиновым расщеплениям в спектрах ЯМР. | Рассмотрены принципы работы масс-спектрометров, характеристики масс-спектров и возможности их применения, а также основы интерпретации спектров ЯМР по химическим сдвигам и спин-спиновым расщеплениям. Масс-спектрометры разделяют ионизированные молекулы по отношению масса/заряд (m/z). Основные узлы: источник ионов, масс-анализатор (квадрупольный, времяпролетный, магнитный, ионная ловушка) и детектор. Масс-спектр представляет собой зависимость интенсивности ионного тока от m/z . Метод позволяет определять молекулярную массу, элементный состав, изотопное соотношение и структуру соединений, а также проводить количественный анализ. В ЯМР-спектроскопии химический сдвиг (δ) обусловлен экранированием ядер электронной оболочкой и зависит от химического окружения. Спин-спиновое расщепление (J -связь) проявляется в мультиплетности сигналов и определяется числом соседних неэквивалентных ядер (правило $n+1$). Совокупность этих параметров позволяет однозначно устанавливать структуру | ЛК, ЛР |

| Номер раздела | Наименование раздела дисциплины | Наименование темы | | Содержание темы | Вид учебной работы* |
|---------------|---|-------------------|--|---|---------------------|
| | | | | органических молекул, включая конфигурацию и конформацию. | |
| | | 5.2 | Структура спектров ЭПР. Дифракционные методы, их особенности и возможности для изучения систем адсорбат-адсорбент. | Рассмотрены структура спектров ЭПР, а также особенности и возможности дифракционных методов для изучения систем адсорбат-адсорбент. Спектры ЭПР возникают при резонансном поглощении СВЧ-излучения парамагнитными центрами (неспаренные электроны, радикалы, ионы переходных металлов, дефекты решетки). Основные параметры: g-фактор (химическое окружение), сверхтонкая структура (взаимодействие с магнитными ядрами), ширина линии (релаксационные процессы, обменные взаимодействия). ЭПР позволяет идентифицировать адсорбированные радикалы, изучать природу активных центров и механизмы катализа. Дифракционные методы (рентгеновская дифракция — XRD, нейтронография, электронография) исследуют дальний порядок в кристаллических адсорбентах. Особенности: XRD — анализ фазового состава, параметров решетки, размера кристаллитов; нейтронография — чувствительна к легким атомам (водород, кислород) и магнитной структуре; электронография — для тонких пленок. Возможности: определение структурных изменений адсорбента, локализации адсорбата в порах, изучение механизмов адсорбции и фазовых переходов <i>in situ</i> . | ЛК, ЛР |
| Раздел 6 | Определения поверхности методом адсорбции специфических и не специфических абсорбатов | 6.1 | Определения поверхности методом адсорбции специфических и не специфических абсорбатов. | Рассмотрены методы определения удельной поверхности твердых тел, основанные на адсорбции специфических и неспецифических адсорбатов. Неспецифическая физическая адсорбция (обычно азота при 77 К) описывается теорией БЭТ (Брунауэра-Эммета-Теллера). По изотерме адсорбции рассчитывают мономолекулярную емкость и удельную поверхность. Метод применим для микропористых, мезопористых и непористых материалов, является стандартным. Специфическая (химическая) адсорбция предполагает образование поверхностных комплексов. Используют молекулярные зонды (пиридин, CO, NH ₃ , H ₂ , O ₂) для оценки поверхностных кислотно-основных и окислительно-восстановительных свойств. Метод позволяет определять концентрацию активных центров катализаторов, их | ЛК, ЛР |

| Номер раздела | Наименование раздела дисциплины | Наименование темы | | Содержание темы | Вид учебной работы* |
|---------------|---------------------------------|-------------------|---|---|---------------------|
| | | | | силу и распределение. Термопрограммированная десорбция (ТПД) специфически адсорбированных молекул дает информацию об энергии связи и гетерогенности поверхности. Комбинация подходов обеспечивает полную характеристику адсорбционной способности и реакционной способности поверхности каталитических систем. | |
| | | 6.2 | Определение удельной поверхности, распределения пор по размерам, а также формы и объема пор. | Рассмотрены методы определения удельной поверхности, распределения пор по размерам, формы и объема пор в пористых материалах. Удельную поверхность рассчитывают по изотермам низкотемпературной адсорбции азота (метод БЭТ) или аргона. Распределение пор по размерам в мезопористых материалах (2–50 нм) определяют с использованием моделей Барретта-Джойнера-Халенды (BJH) по десорбционной ветви изотермы. Для микропористых материалов (<2 нм) применяют методы Хорвата-Кавазое, NLDFT (нелокальная теория функционала плотности) или t-метод. Общий объем пор рассчитывают по величине адсорбции при относительном давлении, близком к единице. Форму пор (цилиндрические, щелевидные, сферические) оценивают по типу гистерезиса на изотерме: Н1 — цилиндрические открытые, Н2 — «бутылочные», Н3 — щелевидные, Н4 — микропоры. Дополнительные методы: ртутная порометрия (для макропор), малоугловое рентгеновское рассеяние, электронная микроскопия. Комплексная характеристика необходима для катализа, адсорбции, мембранной технологии и материаловедения. | ЛК, ЛР |
| | | 6.3 | Использования различных подходов в качественном, структурном и количественных анализах пор каталитических систем. | Рассмотрены различные подходы к качественному, структурному и количественному анализу пор каталитических систем. Качественный анализ включает визуальную оценку типа изотерм адсорбции-десорбции и петель гистерезиса, что позволяет идентифицировать форму пор (цилиндрические, щелевидные, бутылочные). Структурный анализ базируется на применении моделей NLDFT и QSDFT, учитывающих неидеальность поровой геометрии и поверхностную неоднородность, а также на данных малоуглового рентгеновского рассеяния. Количественный анализ | ЛК, ЛР |

| Номер раздела | Наименование раздела дисциплины | Наименование темы | | Содержание темы | Вид учебной работы* |
|---------------|---------------------------------|-------------------|---|---|---------------------|
| | | | | предусматривает расчет удельной поверхности (метод БЭТ), распределения пор по размерам (методы ВЛН, НК, SF), общего объема пор и средней ширины пор. Для иерархических систем проводят разделение вкладов микропор и мезопор. Дополнительно используют ртутную порометрию для макропор и импульсную ЯМР-спектроскопию для оценки связанности пор. Комплексование подходов позволяет полностью охарактеризовать пористую структуру, что критически важно для прогнозирования транспортных и каталитических свойств систем. | |
| | | 6.4 | Экспериментальные методы определения кислотности поверхности. | Рассмотрены экспериментальные методы определения кислотности поверхности твердых тел (катализаторов, адсорбентов, носителей). Кислотность характеризуется природой (Бренстеда или Льюиса), концентрацией и силой кислотных центров. Основные методы: 1) Титриметрический метод с индикаторами (Гамметта) — позволяет определять общую кислотность и функцию Гамметта (Ню) для оценки силы центров. 2) Термопрограммированная десорбция (ТПД) аммиака или пиридина — дает распределение центров по энергии связи, количественную оценку концентрации. 3) ИК-спектроскопия адсорбированных зондов (пиридин, СО, CD ₃ CN) — дифференцирует центры Бренстеда (полоса ~1540 см ⁻¹ для пиридина) и Льюиса (~1450 см ⁻¹). 4) Калориметрия адсорбции — измеряет дифференциальные теплоты адсорбции зонда, что позволяет оценивать распределение центров по силе. 5) ЯМР на ядрах адсорбированных зондов (например, ³¹ P-ТМПО) — для сверхсильных кислот. Комбинация методов дает полную характеристику кислотных свойств поверхности, определяющих каталитическую активность в процессах крекинга, алкилирования и изомеризации. | ЛК, ЛР |

* - заполняется только по **ОЧНОЙ** форме обучения: ЛК – лекции; ЛР – лабораторные работы; СЗ – практические/семинарские занятия.

6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Таблица 6.1. Материально-техническое обеспечение дисциплины

| Тип аудитории | Оснащение аудитории | Специализированное учебное/лабораторное оборудование, ПО и материалы для освоения дисциплины (при необходимости) |
|---------------|--|--|
| Лекционная | Аудитория для проведения занятий лекционного типа, оснащенная комплектом специализированной мебели; доской (экраном) и техническими средствами мультимедиа презентаций. | Комплект специализированной мебели; специализированное оборудование химической лаборатории: компьютер, Хроматограф Кристалл 2000 М Хроматограф Кристалл 5000 Каталитическая установка «синтез Фишера – Тропша» Каталитическая установка «Углекислотная конверсия метана» Термодесорбционная установка, Центрифуга ТЛТ Т23D, Термостат водный, Хроматограф Цвет, Инфракрасный спектрометр ФТ-02, Газовый хроматограф с квадрупольным масс-детектором, пламенно-ионизационным детектором, детектором по теплопроводности, детектором электронного захвата. Каталитическая установка атмосферного давления, Каталитическая установка «Дегидратация спиртов» |
| Лаборатория | Аудитория для проведения лабораторных работ, индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, оснащенная комплектом специализированной мебели и оборудованием. | |
| Для | Аудитория для самостоятельной работы | |

| | | |
|------------------------|---|--|
| самостоятельной работы | обучающихся (может использоваться для проведения семинарских занятий и консультаций), оснащенная комплектом специализированной мебели и компьютерами с доступом в ЭИОС. | |
|------------------------|---|--|

* - аудитория для самостоятельной работы обучающихся указывается **ОБЯЗАТЕЛЬНО!**

7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Основная литература:

1. Физико-химические основы материаловедения: Учебное пособие / Г. Готтштайн; Под ред. В.П.Зломанова; Пер. с англ. К.Н.Золотовой, Д.О.Чаркина. - М.: БИНОМ, 2016. - 400 с.: ил. - (Лучший зарубежный учебник). - ISBN 978-5-94774-769-0: 400.00.

<http://lib.rudn.ru/MegaPro/Web/SearchResult/ToPage/1> 34.2 - Г 74

2. Физические методы анализа следов элементов: Пер. с англ. Ю.И.Беляева и Ю.В.Яковлева; Под ред. И.П.Алимарина. - М.: Мир, 1967. - 416 с. - 2.75.

<http://lib.rudn.ru/MegaPro/Web/SearchResult/ToPage/1>

Дополнительная литература:

1. Методы исследования гетерогенных равновесий: Учебное пособие для университетов / А.В. Новоселова. - М.: Высшая школа, 1980. - 166 с.: ил. - 0.25.

<http://lib.rudn.ru/MegaPro/Web/SearchResult/ToPage/1>

2. Физические методы исследования в химии: Резонансные и электрооптические методы: Учебник для вузов / Л.В. Вилков, Ю.А. Пентин. - М.: Высшая школа, 1989. - 288 с.: ил. - ISBN 5-06-00071-0: 0.95. <http://lib.rudn.ru/MegaPro/Web/SearchResult/ToPage/1> 24.4 - В44

Ресурсы информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»:

1. ЭБС РУДН и сторонние ЭБС, к которым студенты университета имеют доступ на основании заключенных договоров

- Электронно-библиотечная система РУДН – ЭБС РУДН

<https://mega.rudn.ru/MegaPro/Web>

- ЭБС «Университетская библиотека онлайн» <http://www.biblioclub.ru>

- ЭБС «Юрайт» <http://www.biblio-online.ru>

- ЭБС «Консультант студента» www.studentlibrary.ru

- ЭБС «Знаниум» <https://znanium.ru/>

2. Базы данных и поисковые системы

- Sage <https://journals.sagepub.com/>

- Springer Nature Link <https://link.springer.com/>

- Wiley Journal Database <https://onlinelibrary.wiley.com/>

- Наукометрическая база данных Lens.org <https://www.lens.org>

Учебно-методические материалы для самостоятельной работы обучающихся при освоении дисциплины/модуля:*

1. Курс лекций по дисциплине «Физические методы исследования в катализе».

* - все учебно-методические материалы для самостоятельной работы обучающихся размещаются в соответствии с действующим порядком на странице дисциплины **в ТУИС!**

РАЗРАБОТЧИК:

| | | |
|-----------------------------|----------------------|---|
| <hr/> <i>Должность, БУП</i> | <hr/> <i>Подпись</i> | <hr/> Маркова Екатерина Борисовна <i>Фамилия И.О.</i> |
|-----------------------------|----------------------|---|

РУКОВОДИТЕЛЬ БУП:

| | | |
|---|----------------------|---|
| <hr/> Заведующий кафедрой <i>Должность БУП</i> | <hr/> <i>Подпись</i> | <hr/> Чередниченко Александр Генрихович <i>Фамилия И.О.</i> |
|---|----------------------|---|

РУКОВОДИТЕЛЬ ОП ВО:

| | | |
|--|----------------------|--|
| <hr/> Заведующий кафедрой <i>Должность, БУП</i> | <hr/> <i>Подпись</i> | <hr/> Воскресенский Леонид Геннадьевич <i>Фамилия И.О.</i> |
|--|----------------------|--|