

#### МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

### «ИРКУТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ» ФГБОУ ВО «ИГУ»

Кафедра физической и коллоидной химии

УТВЕРЖДАЮ
Декан химического факультета, доц.
А.И. Вильмс
"17" чест 2021 г.

Рабочая программа дисциплины Б1.В.01

Наименование дисциплины КАТАЛИЗ

Направление подготовки 04.04.01 - Химия

Направленность подготовки (профиль): Научно-технологический

Квалификация выпускника – МАГИСТР

Форма обучения очная

Согласовано с УМК\_химического факультета

Протокол № 6 от «17» мая 2021 г.

Председатель А.И. Вильмс.

Рекомендовано кафедрой физической и коллоидной химии:

Протокол № 6 от «12» мая 2021 г.

Зав. кафедрой

- $\underline{H}$ мидт  $A.\Phi.$ 

Иркутск 2021 г.

### Содержание

	стр.
1. Цели и задачи дисциплины	3
2. Место дисциплины в структуре ОПОП.	3
3. Требования к результатам освоения дисциплины	4
4. Содержание и структура дисциплины	5
4.1 Содержание дисциплины, структурированное по тема	м 5
4.2 План внеаудиторной самостоятельной работы обучаю	щихся 6
по дисциплине	
4.3 Содержание учебного материала	9
5. Перечень семинарских, практических занятий, лабораторных	x 10
работ, план самостоятельной работы студентов, методически	ие
указания по организации самостоятельной работы студентов	3
6. Примерная тематика курсовых работ (проектов) (при наличи	ии) 12
7. Учебно-методическое и информационное обеспечение	12
дисциплины:	
а) основная литература;	12
б) дополнительная литература;	12
в) программное обеспечение;	13
г) базы данных, поисково-справочные и информационные	)
системы	
8. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля	я) 14
9. Образовательные технологии	15
10. Оценочные средства (ОС)	15

#### І. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ:

**Цель:** овладение магистрантами химического факультета теоретическими основами и современным состоянием учения о катализе, его возможностями и практическом применении.

#### Задачи:

- сформировать у магистрантов химического факультета комплекс фундаментальных представлений, составляющих основу катализа; дать представление об основных промышленных каталитических процессах и наиболее актуальных направлениях исследований в области катализа;
- закрепить необходимый понятийный аппарат и физико-химические основы важнейших разделов катализа;
- сформировать умение и навыки проводить экспериментальные исследования в области катализа.

#### ІІ. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ АОПОП ВО

- 2.1. Учебная дисциплина «Катализ» дисциплинам вариативной части профессионального цикла (Б1.В.01).
- 2.2. Для изучения данной учебной дисциплины необходимы знания, умения и навыки, формируемые предшествующими дисциплинами (на предыдущем уровне образования в бакалавриате), а именно:
- «Физическая химия. Химическая термодинамика» (Б1.О.24),
- «Физическая химия. Электрохимия. Химическая кинетика и катализ» (Б1.О.25),
- «Органическая химия» (Б1.О.20),
- «Общая химия. Химия неметаллов» (Б1.О.16),
- «Металлическая связь. Химия металлов» (Б1.О.17),
- «Коллоидная химия» (Б1.В.ОД.7),
- «Математика» (Б1.О.10),.
- 2.3 Перечень последующих учебных дисциплин, для которых необходимы знания, умения и навыки, формируемые данной учебной дисциплиной:
- «Теоретические основы органической химии» (Б1.В.05),
- «Математические методы в химии» (Б1.В.ДВ.04.01),
- «Кинетика и механизмы органических реакций» (Б1.В.ДВ.04.02),
- «Нанохимия» (Б1.О.07),
- выполнения выпускных квалификационных работ и формирования профессиональных компетенций

#### **III.** ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Процесс освоения дисциплины направлен на формирование компетенций (элементов следующих компетенций) в соответствии с ФГОС ВО и АОП ВО по данному направлению подготовки 04.04.01 «Химия», профиль: научно-технологический.

# Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с индикаторами достижения компетенций

Компетенция	Индикаторы компетенций	Результаты обучения
ПК-4	ИДК <sub>ПК-4,1</sub>	Знать: понятийный аппарат и
Способен проводить	Проводит	физико-химические основы
экспериментальные и	экспериментальные	важнейших разделов катализа:
расчетно-теоретические	исследования по заданной	гомогенного,
исследования по заданной	теме в выбранной области	металлокомплексного и
теме в выбранной области	химии	гетерогенного
химии, химической		Уметь: проводить
технологии или смежных		экспериментальные и расчетно-
с химией науках		теоретические исследования в
		области катализа.
		Владеть: приемами проведения
		каталитических экспериментов,
		анализа и способностью к
		интерпретации результатов
		каталитического эксперимента

#### IV. СОДЕРЖАНИЕ И СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Трудоемкость дисциплины составляет 6 зачетных единиц, 216 часов, в том числе 1 зачетная единица, 35 часов на экзамен. Из них 72 часа — практическая подготовка Форма промежуточной аттестации: экзамен

## 4.1 Содержание дисциплины, структурированное по темам, с указанием видов учебных занятий и отведенного на них количества академических часов

<b>№</b> п/н	Раздел дисциплины/тема	Семестр	Всего часов	Из них практическая подготовка обучающихся	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу обучающихся практическую подготовку и трудоемкость (в часах)  Контактная работа преподавателя с обучающимися  Лекции Семинартокие/ торные втации практиче ские занятия ские занятия		ость	Формы текущего контроля успеваемости; Форма промежуточно й аттестации (по семестрам)		
1	2	3	4	5	6	7		8	9	10
1	Введение. Основные понятия катализа	1	13	2	2	-	2	1	8	Практические задания. Собеседовани е в форме коллоквиума
2	Гомогенный кислотно-основной катализ	1	53	26	5	22	4	2	20	Проверка отчетов по ЛР,

										практические задания, Собеседовани е в форме коллоквиуму
3	Металлокомплексный катализ	1	49	22	5	16	6	2	20	Проверка отчетов по ЛР, практические задания, Собеседовани е в форме коллоквиума
4	Гетерогенный катализ	1	49	22	5	16	6	2	20	Проверка отчетов по ЛР, практические задания, собеседовани е в форме коллоквиума
6	Основные промышленные каталитические процессы	1	17	-	1	-	-	1	15	Собеседовани е в форме коллоквиума
	Итого часов	1	181	72	18	54	18	8	83	Экзамен

Примечание: ЛР – лабораторная работа

### 4.2 План внеаудиторной самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

		Самостоятельная работа об		Учебно-методическое		
Семестр	Название раздела, темы	Вид самостоятельной работы	Сроки выполнени я	Затраты времени (час.)	Оценочное средство	обеспечение самостоятельной работы
1	Введение. Основные понятия и терминология катализа.	Подготовка к практическим занятиям на тему «Основной постулат химической кинетики и его применение для описания гомогенных каталитических процессов».		3	Практические задания	№ 1, 2 в списке дополнительной литературы
1	Введение. Основные понятия катализа.	Подготовка к коллоквиуму № 1		5	Собеседование в форме коллоквиума	№ 1, 3, 4 в списке основной литературы
1	Гомогенный кислотно-основной катализ	Подготовка отчета по ЛР «Влияние концентрации и природы кислоты на скорость реакции йодирования ацетона».		5	Проверка отчета по ЛБ. УО	Методические указания «Катализ»
1		Подготовка отчета по ЛР «Гидролиз сложных эфиров, катализируемый кислотами»		5	Проверка отчета по ЛБ. УО	Методические указания «Катализ»
		Подготовка к практическим занятиям на тему «Кинетика и механизм гомогенного кислотно-основного катализа».		3	Практические задания	№ 1, 2 в списке дополнительной литературы
1		Подготовка к коллоквиуму № 2		7	Собеседование в форме коллоквиума	№ 1, 4 в списке основной литературы
1	Металлокомплексный катализ	Подготовка отчета по ЛР «Гомогенно-каталитический распад пероксида водорода в присутствии ионов $\operatorname{Cr_2O_7}^{2-}$ »		7	Проверка отчета по ЛБ. УО	Методические указания «Катализ»

		Самостоятельная работа об	учающихс	Я		Учебно-методическое
Семестр	Название раздела, темы	Вид самостоятельной работы	Сроки выполнени я	Затраты времени (час.)	Оценочное средство	обеспечение самостоятельной работы
1		Подготовка к практическим занятиям на тему «Кинетика и механизм металлокомплексного катализа»		5	Практические задания по теме	№ 1, 2 в списке дополнительной литературы
1		Подготовка к коллоквиуму № 3		8	Собеседование в форме коллоквиума	№ 1 в списке основной литературы
1	Гетерогенный катализ	Подготовка отчета по ЛР «Определение удельной поверхности носителей по теплоте смачивания»		2	Проверка отчета по ЛБ. УО	Методические указания «Катализ»
1		Подготовка отчета по ЛР «Определение текстурных характеристик носителя методом капиллярной конденсации»		4	Проверка отчета по ЛБ. УО	Методические указания «Катализ»
1		Подготовка отчета по ЛР «Каталитическая дегидратация этилового спирта»		5	Проверка отчета по ЛБ. УО	Методические указания «Катализ»
1		Подготовка к практическим занятиям на тему «Кинетика и механизм гетерогенного катализа.»		4	Практические задания	№ 1, 2 в списке дополнительной литературы
		Подготовка к коллоквиуму № 4		5	Собеседование в форме коллоквиума	№ 1,3, 4 в списке основной литературы
	Основные промышленные каталитические процессы	Подготовка к коллоквиуму № 4		15	Собеседование в форме коллоквиума	№ 1, 4 в списке основной литературы
	трудоемкость самостоятельной рабо	83				
	ет времени самостоятельной работі плины (час)	83				

#### 4.3 Содержание учебного материала

#### Содержание разделов и тем дисциплины

#### 1. Введение. Основные понятия и терминология

Основные этапы развития учения о катализе. Роль катализа в химической и нефтехимической промышленности. Примеры важнейших промышленных каталитических процессов.

определения. Причины Основные понятия И каталитического действия. Активность, стабильность, производительность катализатора; частота оборотов (ТОГ) и число оборотов (TON) каталитических процессов. Явление промотирования, отравления и модифицирования в катализе. Субстратная селективность, регеоселективность и энантиоселективность. Влияние катализаторов на селективность параллельных, последовательных, последовательно-параллельных реакций. Термодинамический фактор Классификация катализаторов и каталитических процессов: агрегатному состоянию; по механизму катализа, по функциональности.

#### 2. Гомогенный катализ

Общие аспекты гомогенного катализа. Теория Абеля — Шпитальского. Каталитический цикл. Методы построения кинетических уравнений каталитических реакций, их связь с механизмом реакций. Квазиравновесное и квазистационарное приближения. Уравнение Михаэлиса-Ментен для односубстратной реакции.

Гомогенный кислотно-основной. Классификация кислотно-основного катализа. Протолитический и прототропный механизмы кислотно-основного катализа. Специфический кислотно-основной катализ. Общий кислотно-основной катализ. Кислотность и основность реакционной среды. Функция кислотности. Суперкислотные и суперосновные катализаторы. Механизм кислотного и электрофильного катализа, нуклеофильных и электрофильных реакций замещения, отщепления и присоединения..

#### 3. Металлокомплексный катализ

Основные понятия химии координационных соединений, правило 18 электронов, донорно-акцепторное и донорно-дативное взаимодействие. Основные стадии в металлокомплексном катализе: обратимое комплексообразование, внедрение по связи металл-лиганд,  $\beta$  и ( $\alpha$ )-элиминирование, окислительное присоединение, восстановительное элиминирование.

Механизм формирования и природа активных в катализе комплексов на примере реакций гомогенного гидрирования, изомеризации, ди-, олиго-, полимеризации алкенов. Формирование, дезактивация и регенерация активных в катализе комплексов никеля на примере катализаторов циглеровского типа ди- и олигомеризации алкенов. Процессы саморегулирования в металлокомплексном катализе.

#### 4. Гетерогенный катализ

Гетерогенный катализ: основные понятия гетерогенного катализа. Современные

представления о природе активных центров гетерогенных катализаторов. Методы исследования структуры и состава поверхностного слоя твердых тел.

Корреляционные зависимости в катализе. Предвидение каталитического действия. Соотношения Бренстеда - Поляни и их использование в катализе. Корреляция между активностью металлов и степенью участия d-электронов в образовании металлических связей.

Основные стадии гетерогенно-каталитических процессов. Кинетика гетерогенных каталитических процессов: закон действующих поверхностей, кинетическая и диффузионная области катализа. Ленгмюровская кинетика моно- и бимолекулярных каталитических реакций. Вид кинетических уравнений в зависимости от природы лимитирующей стадии.

Типы гетерогенных катализаторов: металлы, сплавы, смешанные катализаторы, металлы на носителях, и методы их получения. Требования, предъявляемые к промышленным катализаторам и пористой структуре катализаторов. Применение капиллярной конденсации и ртутной порометрии для анализа пористой структуры твердых тел. Влияние размера нанокластеров металлов на их каталитические свойства. Размерные эффекты.

#### 5. Основные промышленные каталитические процессы

Основные промышленные каталитические процессы: получение водорода и синтезгаза; синтез аммиака и метанола, синтез Фишера — Тропше; гидрирование и дегидрирование органических соединений. Каталитические процессы в нефтепереработке: крекинг, гидрокрекинг, риформинг.

#### 4.3.1 Перечень практических занятий и лабораторных работ

№ п/н	№ Раздела	Наименование семинаров, практических и			Оценочные средства	Формируемы е
	и темы	лабораторных работ	Всего часов	Из них практичес кая подготовка		компетенции (индикаторы) *
1	2	3	4		5	6
1	<ol> <li>Введение.</li> <li>Основные понятия и герминология</li> </ol>	ПР «Основной постулат химической кинетики и его применение для описания гомогенных каталитических процессов».	2	2	Практическ ие задания по теме	ПК-4
2	1. Введеня Основные пон терминология	Коллоквиум №1 «Основные понятия катализа. Причины каталитического действия»	3	3	Собеседова ние в форме коллоквиум а	ПК-4
3	2.Гомоге нный кислотно-	ЛР «Влияние концентрации и природы кислоты на скорость реакции йодирования ацетона»	12	12	Проверка отчета по ЛБ	ПК-4

4		ЛР «Гидролиз сложных эфиров, катализируемый кислотами»	4	4	Проверка отчета по ЛБ	ПК-4
5		ПР «Кинетика и механизм гомогенного кислотно- основного катализа»	4	4	Практическ ие задания по теме	ПК-4
6		Коллоквиум № 2	3	3	Собеседова ние в форме коллоквиум а	ПК-4
7	тализ	$\Pi P$ «Гомогенно- каталитический распад пероксида водорода в присутствии ионов $\operatorname{Cr_2O_7}^{2-}$	6	6	Проверка отчета по ЛБ	ПК-4
8	3.Металлокомплексный катализ	ПР «Кинетика и механизм металлокомплексного катализа. Уравнение Михаэлиса-Ментон. Конкурентное и неконкурентное ингибирование»	6	6	Практическ ие задания по теме	ПК-4
9	3.Металл	Коллоквиум № 3	3	3	Собеседова ние в форме коллоквиум а	ПК-4
10		ЛР «Определение удельной поверхности носителей по теплоте смачивания»	4	4	Проверка отчета по ЛБ	ПК-4
11		ЛР «Определение текстурных характеристик носителя методом капиллярной конденсации»	4	4	Проверка отчета по ЛБ	ПК-4
12	катализ	ЛР «Каталитическая дегидратация этилового спирта»	12	12	Проверка отчета по ЛБ	ПК-4
13	генный	ПР «Кинетика и механизм гетерогенного катализа. Размерные эффекты»	6	6	Практическ ие задания по теме	ПК-4
14	4.Гетерогенный ката	Коллоквиум № 4	3	3	Собеседова ние в форме коллоквиум а	ПК-4
15	5.Основн ые промышл				Собеседова ние в форме коллоквиум а	ПК-4
ΨП	1	ПР _ практицеское зацятие	TID ~		_	

<sup>\*</sup>Примечание: ПР – практическое занятие, ЛР – лабораторная работа

# 1.3.1. Перечень тем (вопросов), выносимых на самостоятельное изучение в рамках самостоятельной работы студентов

<b>№</b>	Тема*	Задание	Формируемая	идк
п/н			компетенция	
1	2	3	4	5
1	Введение. Основные понятия катализа	Подготовка к устному опросу (см. вопросы текущего контроля), выполнение практических заданий	ПК-4	ИДК <sub>ПК-4,1</sub>
2	Металлокомплексный катализ	Подготовка к устному опросу (см. вопросы текущего контроля). Написание отчетов по ЛР, выполнение практических заданий	ПК-4	ИДК <sub>ПК-4,1</sub>
3	Гетерогенный катализ	Подготовка к устному опросу (см. вопросы текущего контроля). Написание отчетов по ЛР, выполнение практических заданий	ПК-4	ИДК <sub>ПК-4,1</sub>
4	Основные промышленные каталитические процессы	Рассмотреть катализаторы и каталитические процессы крекинга, риформинга, синтеза аммиака.	ПК-4	ИДК <sub>ПК-4,1</sub>

#### 4.4 Методические указания по организации самостоятельной работы студентов

Самостоятельная работа студентов, связанная с подготовкой отчетов по выполненным лабораторным работам, закреплением теоретического материала в виде решения задач и подготовки к коллоквиумам, проводится во внеаудиторное время.

Структура отчета по лабораторной работе:

- 1. Цель работы.
- 2. Теоретическая часть.
- 3. Выполнение расчетных, графических и контрольных заданий в соответствии с методическими указаниями к каждой работе.
- 4. Вывод (на основе полученных результатов).

Методические рекомендации по выполнению лабораторных работ и обработке полученных экспериментальных данных по каждой лабораторной работе описаны в методических рекомендациях, подготовленных преподавателями кафедры.

1. Катализ / А.Ф. Шмидт, Ф.К. Шмидт, Л.Б. Белых, Н.И. Скрипов, Д.С. Суслов //. (методические указания). Иркутск: Иркут. гос. ун-т, 2009. – 60 с.

Примеры решения типовых задач представлены в рекомендуемых учебных пособиях и задачниках по физической химии и катализу.

1. Байрамов, В.М. Химическая кинетика и катализ [Текст] : примеры и задачи с решениями: Учеб. пособие для студ. хим. фак. ун-тов, обуч. по спец. 011000 "Химия" и напр. 510500 "Химия" / В.М. Байрамов. - М. : Академия, 2003. - 319 с. ; 22 см. - (Высшее образование). - Библиогр.: с. 318. - ISBN 5-7695-1293-8 : 21 экз..

#### 4.5. Примерная тематика курсовых работ (проектов) (при наличии) нет

## V. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

#### а) основная литература

- 1. Шмидт, Ф.К. Основы катализа: координационно-химические, физико-химические и кинетические аспекты [Текст]: учеб. пособие / Ф. К. Шмидт, Л. Б. Белых; Иркутский гос. ун-т, Хим. фак. Иркутск: Изд-во ИГУ, 2011. 437 с.; 20 см. Библиогр.: с. 434-437 19 экз.
- 2. Шмидт, Ф.К. Основы катализа: координационно-химические, физико-химические и кинетические аспекты [Электронный ресурс] : учеб. пособие / Ф. К. Шмидт. ЭВК. Иркутск : ИГУ, 2011. Режим доступа: . Режим доступа: ЭЧЗ "Библиотех". Неогранич. доступ.
- 3. Крылов, О.В. Гетерогенный катализ [Текст]: учеб. пособие для студ. вузов, обуч. по специализации 011013 "Хим. кинетика и катализ" спец. 011000 "Химия" / О. В. Крылов. М.: Академкнига, 2004. 680 с.: ил.; 24 см. (Классический университетский учебник XXI века). Предм. указ.: с. 669-676. ISBN 5-94628-141-0: 14 экз.
- 4. Эльшенбройх, Кристоф. Металлоорганическая химия [Электронный ресурс] / К. Эльшенбройх. Электрон. текстовые дан. Москва : Лаборатория знаний" (ранее ""БИНОМ. Лаборатория знаний", 2017 ; Москва : Бином. Лаборатория знаний, 2014. 746 с. : ил. ; 25 см ; 746 с. : ил. (Химия) (Химия). ЭБС "Лань". неогранич. доступ. Библиогр.: с. 681-703. Библиогр.: с. 681-703, библиогр. в предисл. Предм. указ.: с. 720-740. Авт. указ.: с. 704-719. ISBN 978-5-00101-504-8 : Доп. тит. л. на нем. яз. Пер. изд.: Organometallchemie / C. Elschenboroich. 2008.
- 5. Байрамов, В.М. Основы химической кинетики и катализа [Текст] : учеб. пособие для студ. хим. фак. ун-тов / В.М. Байрамов. М. : Академия, 2003. 252 с. ; 22 см. Библиогр.: с. 242-243. -Предм. указ.: с. 244-250. ISBN 5-7695-1297-0 : 20 экз.

#### б) дополнительная литература

- 6. Байрамов, В.М. Химическая кинетика и катализ [Текст] : примеры и задачи с решениями: Учеб. пособие для студ. хим. фак. ун-тов, обуч. по спец. 011000 "Химия" и напр. 510500 "Химия" / В.М. Байрамов. М. : Академия, 2003. 319 с. ; 22 см. (Высшее образование). Библиогр.: с. 318. ISBN 5-7695-1293-8 : 21 экз.+
- 7. Сибаров, Д. А. Катализ, каталитические процессы и реакторы [Электронный ресурс] / Д. А. Сибаров, Д. А. Смирнова. 2-е изд., стер. Электрон. текстовые дан. [Б. м.] : Лань, 2018. 200 с. ЭБС "Лань". неогранич. доступ. ISBN 978-5-8114-2158-9 :
- 8. Практикум по физической химии. Кинетика и катализ. Электрохимия [Текст]: учеб. пособие для студ. вузов, обуч. по напр. "Химия" и спец. "Фундаментальная и прикладная химия" / ред.: В. В. Лунин, Е. П. Агеев. М.: Академия, 2012. 300 с.: ил.; 22 см. (Высшее профессиональное образование: Естественные науки). ISBN 978-5-7695-6810-7: 6 экз.+

9. Титова, Ю.Ю. Комплексы никеля в органическом синтезе и катализе [Текст]: учеб. пособие / Ю. Ю. Титова, Ф. К. Шмидт; рец.: А. В. Рохин, В. В. Смирнов; Иркут. гос. ун-т, Хим. фак. - Иркутск: Изд-во ИГУ, 2015. - 241 с.; 20 см. - Библиогр.: с. 237-241. - ISBN 978-5-9624-1297-9: 11 экз.+



- в) периодические издания (при необходимости)
- г) список авторских методических разработок:
- в ЭИОС ИГУ размещены методические указания к лабораторным работам:
- 1. Катализ / А.Ф. Шмидт, Ф.К. Шмидт, Л.Б. Белых, Н.И. Скрипов, Д.С. Суслов //. (методические указания). Иркутск: Иркут. гос. ун-т, 2009.-60 с.
  - в) периодические издания (при необходимости)
  - г) список авторских методических разработок:
- в ЭИОС ИГУ размещены методические указания к лабораторным работам:
- 2. Катализ / А.Ф. Шмидт, Ф.К. Шмидт, Л.Б. Белых, Н.И. Скрипов, Д.С. Суслов //. (методические указания). Иркутск: Иркут. гос. ун-т, 2009. 60 с.
- д) базы данных, информационно-справочные и поисковые системы
- 1. http://www.msu.ru/libraries/

Данный интернет источник – сайт научной библиотеки Московского государственного университета.

2. <a href="http://www.chem.msu.ru/rus/teaching/phys.html">http://www.chem.msu.ru/rus/teaching/phys.html</a>

Данный интернет источник – сайт Московского государственного университета (страница кафедры физической химии), на котором представлены

а) Кубасов А.А.

Химическая кинетика и катализ (часть 1 и часть 2) (лекции)

б) Семиохин И.А.

Сборник задач по химической кинетике

в) Семиохин И.А., Страхов Б.В., Осипов А.И.

Кинетика химических реакций

- г) Еремин В.В., Каргов С.И., Кузьменко Н.Е. Задачи по физической химии. Часть II. Химическая кинетика. Электрохимия
- 3) http://www.chem.msu.ru/rus/teaching/oil/welcome.html

#### **VI.MATEPИAЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

Помещения для проведения лекционных и семинарских занятий, укомплектованные необходимым оборудованием, приборной базой, а именно:

- аудитории, оснащенные мультимедийными средствами, для проведения аудиторных и семинарских занятий (ауд. 402, 426, 303);
- компьютерный класс кафедры физической и коллоидной химии. Общее количество единиц вычислительной техники 5:
- Pentium IV 1 шт. (ауд. 303)
- Pentium III − 1 шт.
- Pentium I − 3 IIIT.

Имеется локальная сеть.

#### 6.1. Учебно-лабораторное оборудование:

№ п/п	Наименование	Количество
1	2	3
1	Вытяжной шкаф	1
2	Лабораторные столы	8
3	Потенциометр КВП-503	1
4	Термостат ИТИ-4, термостат (Германия)	3
5	Водяные бани	3
6	Фотоколориметр КФК-2-УХЛ	1
7	Калориметр	1
8	Мешалки электрические с верхним приводом	1
9	Мешалки магнитные	3
10	Установка для каталитической дегидратации этанола	1
11	Волюмометрическая установка	2
12	Учебные столы	1
13	Химическая посуда, штативы, реактивы	комплект

#### 6.2. Программное обеспечение:

#### 6.3. Технические и электронные средства:

#### VII.ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

В процессе изучения дисциплины «Катализ» читаются лекции, проводятся практические и лабораторные работы, коллоквиумы, разбор конкретных ситуаций с использованием пассивных, активных и интерактивных форм обучения.

Активные формы обучения. На лабораторных занятиях, которые составляют более половины от контактной работы, каждый студент выполняет лабораторную работу индивидуально. Такой вид организации обучения способствует приобретению навыков самостоятельного ведения экспериментальных работ, практических навыков обращения и работы с различными химическими веществами и лабораторным оборудованием,

измерительной аппаратурой, организации методики экспериментальных работ, составления протоколов отчетов химических экспериментов, а также практического подтверждения теоретических положений катализа. Подготовка отчетов по каждой лабораторной работе формирует умение проводить первичный анализ результатов с учетом общих закономерностей, формулируемых в рамках катализа, представлять результаты опытов и расчетных работ, грамотно формулировать выводы.

Закрепление теоретических положений катализа (основных законов и закономерностей) проводится в виде интерактивного обучения – коллоквиумов, и выполнения расчетных задач на практических занятиях.

Примеры решения типовых задач представлены в рекомендуемых учебных пособиях и задачниках по физической химии:

- 1) Кудряшов И.В., Каретников Г.С. [Текст] Сборник примеров и задач по физической химии : Учеб. пособие для хим.-технол. Спец. Вузов . 6-ое изд., перераб. И доп. М. : Высш. шк., 1991. 527 с.
- 2) Сборник задач по общей и физической химии [Текст] : учеб. пособие / В. В. Еремин, А. Я. Борщевский. Долгопрудный : Интеллект, 2019. 415 с. : ил., табл. ; 21 см. Библиогр.: с. 415. ISBN 978-5-91559-261-1

#### Наименование тем занятий с использованием интерактивных форм обучения:

№	Тема занятия	Вид занятия	Форма / Методы интерактивного обучения	Кол-во часов		
1	Введение. Основные понятия и терминология катализа	лабораторные/ практические	Групповая дискуссия / коллоквиум	3		
2	Гомогенный кислотно- основной катализ	лабораторные/ практические	Групповая дискуссия / коллоквиум	3		
3	Металлокомплексный катализ	лабораторные/ практические	Групповая дискуссия / коллоквиум	3		
4	Гетерогенный катализ. Основные промышленные каталитические процессы	лабораторные/ практические	Групповая дискуссия / коллоквиум	3		
Итого часов						

### VIII.ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

#### Оценочные средства (ОС):

Оценочные средства текущего контроля формируются в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе университета. Назначение оценочных средств текущего контроля - выявить у обучающихся сформированность компетенций: ПК-4.1

### Материалы для проведения текущего и промежуточного контроля знаний студентов:

Nº	Вид контроля	Контролируемые темы (разделы)	Компетенции, компоненты которых контролируются
1	Практические задания. Собеседование в форме коллоквиума. КР	Введение. Основные понятия и терминология катализа	ПК-4.1
2	Выполнение лабораторных работ. Отчет по ЛР. Практические задания. Собеседование в форме коллоквиума.	Гомогенный кислотно-основной катализ	ПК-4.1
3	Выполнение лабораторных работ. Отчет по ЛР. Практические задания. Собеседование в форме коллоквиума. КР	Металлокомплексный катализ	ПК-4.1
4	Выполнение лабораторных работ. Отчет по ЛР. Практические задания. Собеседование в форме коллоквиума.	Гетерогенный катализ.	ПК-4.1
5	Собеседование в форме коллоквиума	Основные промышленные каталитические процессы	ПК-4.1

#### ВОПРОСЫ ДЛЯ СОБЕСЕДОВАНИЯ

#### Коллоквиум №1. Терминология катализа. Причины каталитического действия

- 1. Роль катализа в химической и нефтехимической промышленности.
- 2. Терминология катализа.
- 3. Классификация катализаторов и каталитических процессов.
- 4. Причины каталитического действия. Слитный и стадийный механизмы катализа.
- 5. Количественная характеристика катализаторов: активность, стабильность, частота оборотов и число оборотов каталитических процессов.
- 6. Субстратная селективность, регеоселективность и энантиоселективность.
- 7. Явление промотирования, отравления и модифицирования в катализе.
- 8. Влияние катализаторов на селективность параллельных, последовательных, последовательно-параллельных реакций. Термодинамический фактор селективности.
- 9. Классификация катализаторов и каталитических процессов: по агрегатному состоянию; по механизму катализа, по функциональности.

#### Коллоквиум №2. Гомогенный катализ

1. Общие аспекты гомогенного катализа. Теория Абеля – Шпитальского. Методы

- построения кинетических уравнений каталитических реакций, их связь с механизмом реакций.
- 2. Квазиравновесное и квазистационарное приближения. Уравнение Михаэлиса-Ментен для односубстратной реакции и его анализ.
- 3. Классификация гомогенного кислотно-основного катализа.
- 4. Протолитический и прототропный механизмы кислотно-основного катализа.
- 5. Специфический кислотно-основной катализ.
- 6. Общий кислотно-основной катализ.
- 7. Кислотность и основность реакционной среды. Функция кислотности. Суперкислотные и суперосновные катализаторы.
- 8. Механизмы кислотного и электрофильного катализа, нуклеофильных и электрофильных реакций замещения, отщепления и присоединения

#### Коллоквиум №3. Металлокомплексный катализ

- 1. Основные понятия химии координационных соединений.
- 2. Основные стадии в металлокомплексном катализе: обратимое комплексообразование, внедрение по связи металл лиганд,  $\beta$  и ( $\alpha$ )-элиминирование, окислительное присоединение, восстановительное элиминирование.
- 3. Субстратный и гидридный механизмы гомогенного каталитического гидрирования ненасыщенных соединений под действием нейтральных и катионных комплексов родия металлов.
- 4. Изомеризация, ди-, олиго-, полимеризации алкенов ненасыщенных углеводородов под действием комплексов переходных металлов.
- 5. Формирование, дезактивация и регенерация активных в катализе комплексов никеля на примере катализаторов циглеровского типа ди- и олигомеризации алкенов.
- 6. Процессы саморегулирования в металлокомплексном катализе.

#### Коллоквиум №4. Гетерогенный катализ

- 1. Гетерогенный катализ: активный компонент и носитель. Основные функции носителя (примеры).
- 2. Требования, предъявляемые к промышленным катализаторам и к пористой структуре катализаторов. Пористая структура катализаторов и методы ее формирования и исследования
- 3. Типы гетерогенных катализаторов и основные методы их получения.
- 4. Применение капиллярной конденсации и ртутной порометрии для анализа пористой структуры твердых тел.
- 5. Современные представления о природе активных центров гетерогенных катализаторов. Методы исследования структуры и состава поверхностного слоя твердых тел.
- 6. Адсорбционные методы измерения поверхности катализаторов и концентрации каталитически активных центров.
- 7. Ленгмюровская кинетика моно- и бимолекулярных каталитических реакций. Вид кинетических уравнений в зависимости от природы лимитирующей стадии.
- 8. Гетерогенные катализаторы кислотной природы. Цеолиты.
- 9. Важнейшие промышленные каталитические процессы: получение водорода и синтез-

- газа; синтез аммиака и метанола, синтез Фишера Тропше; гидрирование и дегидрирование органических соединений.
- 10. Каталитические процессы в нефтепереработке: крекинг, гидрокрекинг, риформинг, изомеризация.

#### ПРИМЕРНЫЙ ПЕРЕЧЕНЬ ВОПРОСОВ И ЗАДАНИЙ К ЭКЗАМЕНУ

- 1. Формулировка явления катализ. Классификация катализаторов и каталитических процессов. Применение катализа в промышленности.
- 2. Причины каталитического действия. Общая схема механизма каталитических реакций. Каталитический цикл.
- 3. Активность, стабильность, частота оборотов и число оборотов каталитических процессов. Явление промотирования, отравления и модифицирования в катализе.
- 4. Общие аспекты гомогенного катализа. Теория Абеля–Шпитальского. Методы построения кинетических уравнений каталитических реакций, их связь с механизмом реакций.
- 5. Уравнение Михаэлиса Ментен: вывод и анализ.
- 6. Классификация кислотно-основного катализа. Прототропный и протолитический механизмы кислотно-основного катализа.
- 7. Специфический кислотно-основной катализ.
- 8. Общий кислотно-основной катализ. Соотношение Бренстеда-Поляни.
- 9. Кислотность и основность реакционной среды. Функция кислотности.
- Основные понятия химии координационных соединений: комплекс, центральный атом (ион), лиганд, дентатность лиганда, π-комплексы, донорно-акцепторное и донорно-дативное взаимодействие (модель Дьюара-Чатта-Дункансона). Правило 18 электронов.
- 11. Ключевые стадии металлокомплексного катализа.
- 12. Механизмы гомогенного каталитического гидрирования, изомеризации, ди- и олигомеризации ненасыщенных углеводородов под действием комплексов переходных металлов.
- 13. Формирование, дезактивация и регенерация активных в катализе комплексов на примере систем циглеровского типа. Основные функции алюминийорганических соединений. Природа каталитически активных комплексов. Роль комплексов NI(I).
- 14. Процессы саморегулирования в металлокомплексном катализе.
- 15. Гетерогенный катализ. Требования, предъявляемые к промышленным катализаторам и к пористой структуре катализаторов.
- 16. Типы гетерогенных катализаторов и основные методы их получения.
- 17. Современные представления о природе активных центров гетерогенных катализаторов. Методы исследования структуры и состава поверхностного слоя твердых тел.
- 18. Требования, предъявляемые к промышленным катализаторам и пористой структуре катализаторов.
- 19. Пористая структура катализаторов и методы ее формирования и исследования. Адсорбционные методы измерения поверхности катализаторов и концентрации каталитически активных центров.

- 20. Ленгмюровская кинетика моно- и бимолекулярных каталитических реакций. Вид кинетических уравнений в зависимости от природы лимитирующей стадии. Кинетическая и диффузионная области катализа.
- 21. Факторы, обуславливающие селективность гетерогенных катализаторов в параллельных и последовательных реакциях. Термодинамический фактор селективности. Влияние пористой структуры на свойства катализатора.
- 22. Основные промышленные каталитические процессы. Получение водорода и синтезгаза. Синтез аммиака и метанола, синтез Фишера Тропше. Гидрирование и дегидрирование органических соединений.
- **23.** Каталитические процессы в нефтепереработке: крекинг, гидрокрекин, риформинг, изомеризация.

#### ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ КОМПЕТЕНЦИЙ

Индикаторы достижения	Результаты обучения	Процедура оценивания
компетенции	(знать, уметь, владеть)	
ПК-4.1	Знает: понятийный аппарат и	Собеседование в форме
Проводит	физико-химические основы	коллоквиума.
экспериментальные	важнейших разделов катализа:	Отчеты по
исследования по заданной	гомогенного,	лабораторным работам.
теме в выбранной области	металлокомплексного и	
химии	гетерогенного	
	Умеет: проводить	Выполнение
	экспериментальные	практических работ.
	исследования по изучению	Отчеты по
	каталитических процессов и	лабораторным работам.
	свойств катализаторов	
	Владеет: приемами проведения	Собеседование в форме
	каталитических экспериментов,	коллоквиума.
	анализа и способностью к	Выполнение
	интерпретации результатов	практических работ.
	каталитического эксперимента	Отчеты по
		лабораторным работам.

#### КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ:

- 1. Обязательным условием является выполнение студентом 6 лабораторных работ по данной дисциплине, подготовка и сдача отчетов по ЛР. Каждая ЛР оценивается максимум на 5 баллов. При выполнении лабораторных работ оценивается техника выполнения, оформление отчетов, включающее расчеты каталитических характеристик и физических величин, представление графического материала.
- 2. Предусмотрено 4 собеседования по теоретическому материалу в виде коллоквиумов. Каждая тема оценивается максимум на 5 баллов.
- 3. Предусмотрено решение задач на 9 практических занятиях. Выполнение тестовых практических заданий по каждой теме оценивается в 1-2 балла.
- 4. Максимальное количество баллов на экзамене 30.

#### Оценка «отлично»:

сформированные и систематизированные знания предмета, сформированные умения и навыки применения методов и подходов изучаемой дисциплины при решении учебных и практических задач (86-100 баллов).

#### Оценка «хорошо»:

в целом, сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания предмета, умение применять методы и подходы изучаемой дисциплины при решении учебных и практических задач с минимальным количеством ошибок непринципиального характера, наличие навыков применения методов и подходов изучаемой дисциплины при решении учебных и практических задач (71 - 85 баллов).

#### Оценка «удовлетворительно»:

несистематизированные знания предмета, частично сформированные умения и навыки применения методов и подходов изучаемой дисциплины при решении учебных задач (60-70 баллов).

#### Оценка «неудовлетворительно»:

фрагментарное знание предмета, отсутствие умений и навыков применения методов и подходов изучаемой дисциплины при решении учебных задач (менее 60 баллов).

#### Разработчики:

Hocerel

профессор Л.Б. Белых

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО и учетом рекомендаций ПООП по направлению и профилю подготовки 04.04.01 – «Химия».

Программа рассмотрена на заседании кафедры физической и коллоидной химии «12» мая 2021 г

Протокол № 6. Зав. кафедрой

/А.Ф. Шмидт/

Настоящая программа, не может быть воспроизвесена ни в какой форме без предварительного письменного разрешения кафедры-разработчика программы.