



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  
« 26 » ХИМИЧЕСКИЙ факультет 2022 г.

Рабочая программа дисциплины

Наименование дисциплины **Б1.В.01 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 «26» мая 2022 г.

Председатель

А.И. Вильмс.

Рекомендовано кафедрой физической и  
коллоидной химии:

Протокол № 7 от «26» мая 2022 г.

И.о. зав. кафедрой

Белых Л.Б.

Иркутск 2022 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 темам	5
4.2 План внеаудиторной самостоятельной работы обучающихся по дисциплине	6
4.3 Содержание учебного материала	9
5. Перечень семинарских, практических занятий, лабораторных работ, план самостоятельной работы студентов, методические указания по организации самостоятельной работы студентов	10
6. Примерная тематика курсовых работ (проектов) (при наличии)	12
7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины:	12
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)	14
9. Образовательные технологии	15
10. Оценочные средства (ОС)	15

## **I. 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.

## **II. 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**

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

#### IV. СОДЕРЖАНИЕ И СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Трудоемкость дисциплины составляет 5 зачетных единиц, 180 часов,  
в том числе 0.97 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

№ п/п	Раздел дисциплины/тема	Семестр	Всего часов	Из них практическая подготовка обучающихся	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу обучающихся, практическую подготовку и трудоемкость (в часах)					Формы текущего контроля успеваемости; Форма промежуточной аттестации (по семестрам)
					Контактная работа преподавателя с обучающимися				Самостоятельная работа, в том числе, внеаудиторная самостоятельная работа, КО	
					Лекции	Семинарские/практические занятия	Лабораторные занятия	Консультации + КСР		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	Введение. Основные понятия катализа	1	9	2	2	-	2	1	4	Практические задания. Собеседование в форме коллоквиума
2	Гомогенный кислотно-основной катализ	1	44	26	5	22	4	2	11	Проверка отчетов по ЛР,

										практические задания, Собеседование в форме коллоквиуму
3	Металлокомплексный катализ	1	40	22	5	16	6	2	11	Проверка отчетов по ЛР, практические задания, Собеседование в форме коллоквиума
4	Гетерогенный катализ	1	40	22	5	16	6	2	11	Проверка отчетов по ЛР, практические задания, собеседование в форме коллоквиума
6	Основные промышленные каталитические процессы	1	12	-	1	-	-	1	10	Собеседование в форме коллоквиума
	<b>Итого часов</b>	1	145	72	18	54	18	8	47	Экзамен (35 ч)

Примечание: ЛР – лабораторная работа

#### 4.2 План внеаудиторной самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

Семестр	Название раздела, темы	Самостоятельная работа обучающихся			Оценочное средство	Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы
		Вид самостоятельной работы	Сроки выполнения	Затраты времени (час.)		
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».		2	Практические задания	№ 1, 2 в списке дополнительной литературы
1	Введение. Основные понятия катализа.	Подготовка к коллоквиуму № 1		2	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».		2	Проверка отчета по ЛБ. УО	Методические указания «Катализ»
1		Подготовка отчета по ЛР «Гидролиз сложных эфиров, катализируемый кислотами»		2	Проверка отчета по ЛБ. УО	Методические указания «Катализ»
		Подготовка к практическим занятиям на тему «Кинетика и механизм гомогенного кислотно-основного катализа».		2	Практические задания	№ 1, 2 в списке дополнительной литературы
1		Подготовка к коллоквиуму № 2		3	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 $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ »		3	Проверка отчета по ЛБ. УО

Семестр	Название раздела, темы	Самостоятельная работа обучающихся			Оценочное средство	Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы
		Вид самостоятельной работы	Сроки выполнения	Затраты времени (час.)		
1	Гетерогенный катализ	Подготовка к практическим занятиям на тему «Кинетика и механизм металлокомплексного катализа»		3	Практические задания по теме	№ 1, 2 в списке дополнительной литературы
1		Подготовка к коллоквиуму № 3		5	Собеседование в форме коллоквиума	№ 1 в списке основной литературы
1		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»		2	Проверка отчета по ЛБ. УО	Методические указания «Катализ»
1		Подготовка отчета по ЛР «Каталитическая дегидратация этилового спирта»		2	Проверка отчета по ЛБ. УО	Методические указания «Катализ»
1		Подготовка к практическим занятиям на тему «Кинетика и механизм гетерогенного катализа.»		2	Практические задания	№ 1, 2 в списке дополнительной литературы
		Подготовка к коллоквиуму № 4		3	Собеседование в форме коллоквиума	№ 1,3, 4 в списке основной литературы
	Основные промышленные каталитические процессы	Подготовка к коллоквиуму № 4		10	Собеседование в форме коллоквиума	№ 1, 4 в списке основной литературы
Общая трудоемкость самостоятельной работы по дисциплине (час) +КО				47		
<b>Бюджет времени самостоятельной работы, предусмотренный учебным планом для данной дисциплины (час)</b>				<b>47</b>		



## 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.

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

#### 2. Гомогенный катализ

Общие аспекты гомогенного катализа. Теория Абея – 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 синтез-газа; 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/п	№ Раздела и темы	Наименование семинаров, практических и лабораторных работ	Трудоемкость (час.)		Оценочные средства	Формируемые компетенции (индикаторы) *
			Всего часов	Из них практическая подготовка		
1	2	3	4		5	6
1	1. Введение. Основные понятия и терминология	ПР «Основной постулат химической кинетики и его применение для описания гомогенных каталитических процессов».	2	2	Практические задания по теме	ПК-4
2		Коллоквиум №1 «Основные понятия катализа. Причины каталитического действия»	3	3	Собеседование в форме коллоквиума	ПК-4
3	2. Гомогенный 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	<b>ПК-4</b>
5		ПР «Кинетика и механизм гомогенного кислотного катализа»	4	4	Практическое задание по теме	<b>ПК-4</b>
6		Коллоквиум № 2	3	3	Собеседование в форме коллоквиума	<b>ПК-4</b>
7	3.Металлокомплексный катализ	ЛР «Гомогенно-каталитический распад пероксида водорода в присутствии ионов $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ »	6	6	Проверка отчета по ЛБ	<b>ПК-4</b>
8		ПР «Кинетика и механизм металлокомплексного катализа. Уравнение Михаэлиса-Ментон. Конкурентное и неконкурентное ингибирование»	6	6	Практическое задание по теме	<b>ПК-4</b>
9		Коллоквиум № 3	3	3	Собеседование в форме коллоквиума	<b>ПК-4</b>
10	4.Гетерогенный катализ	ЛР «Определение удельной поверхности носителей по теплоте смачивания»	4	4	Проверка отчета по ЛБ	<b>ПК-4</b>
11		ЛР «Определение текстурных характеристик носителя методом капиллярной конденсации»	4	4	Проверка отчета по ЛБ	<b>ПК-4</b>
12		ЛР «Каталитическая дегидратация этилового спирта»	12	12	Проверка отчета по ЛБ	<b>ПК-4</b>
13		ПР «Кинетика и механизм гетерогенного катализа. Размерные эффекты»	6	6	Практическое задание по теме	<b>ПК-4</b>
14		Коллоквиум № 4	3	3	Собеседование в форме коллоквиума	<b>ПК-4</b>
15	5.Основные промышленные				Собеседование в форме коллоквиума	<b>ПК-4</b>

\*Примечание: ПР – практическое занятие, ЛР – лабораторная работа

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

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

#### 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 : Бинوم. 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. Elschenbroich. 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.

**д) базы данных, информационно-справочные и поисковые системы**

1. <http://www.msu.ru/libraries/>

Данный интернет источник – сайт научной библиотеки Московского государственного университета.

2. <http://www.chem.msu.ru/rus/teaching/phys.html>

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. МАТЕРИАЛЬНО-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 шт.

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				<b>12</b>

**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:**

№	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	Гомогенный кислотно-основной катализ	ПК-4.1



	коллоквиума.		
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, регоселективность 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 Абея – 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.
10. Основные понятия химии координационных соединений : комплекс, центральный атом (ион), лиганд, дентатность лиганда,  $\pi$ -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 синтез-газа. Синтез аммиака и метанола, синтез Фишера - Тропше. Гидрирование и дегидрирование органических соединений.
23. Каталитические процессы в нефтепереработке: крекинг, гидрокрекинг, риформинг, изомеризация.

## **ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ КОМПЕТЕНЦИЙ**

Индикаторы достижения компетенции	Результаты обучения (знать, уметь, владеть)	Процедура оценивания
ПК-4.1 Проводит экспериментальные исследования по заданной теме в выбранной области химии	<b>Знает:</b> понятийный аппарат и физико-химические основы важнейших разделов катализа: гомогенного, металлокомплексного и гетерогенного	Собеседование в форме коллоквиума. Отчеты по лабораторным работам.
	<b>Умеет:</b> проводить экспериментальные исследования по изучению каталитических процессов и свойств катализаторов	Выполнение практических работ. Отчеты по лабораторным работам.
	<b>Владеет:</b> приемами проведения каталитических экспериментов, анализа и способностью к интерпретации результатов каталитического эксперимента	Собеседование в форме коллоквиума. Выполнение практических работ. 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 не принципиального характера, наличие навыков применения методов и подходов изучаемой дисциплины при решении учебных и практических задач (71 - 85 баллов).

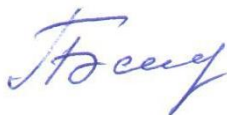
#### Оценка «удовлетворительно»:

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:**



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  
«26» мая 2022 г

Протокол № 7.

И.о. зав. кафедрой



/Л.Б. Белых/

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