

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(ФГБОУ ВО «ВГУ»)

**УТВЕРЖДАЮ**

Заведующий кафедрой  
материаловедения и индустрии наносистем  
Академик РАН

  
В.М. Иевлев  
*подпись, расшифровка подписи*

25.06.2021 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

**Б1.В.ДВ.09.02 Катализ и сопряжение в процессах синтеза материалов**

- 1. Код и наименование направления подготовки/специальности:** 04.03.02 Химия, физика и механика материалов
- 2. Профиль подготовки/специализация:** материаловедение и индустрия наносистем
- 3. Квалификация выпускника:** бакалавр
- 4. Форма обучения:** очная
- 5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины:** кафедра материаловедения и индустрии наносистем
- 6. Составители программы:** Кострюков Виктор Федорович, доктор химических наук, доцент
- 7. Рекомендована:** научно-методическим советом химического факультета, протокол №5 от 17.06.2021

---

*отметки о продлении вносятся вручную)*

---

**8. Учебный год:** 2023-2024

**Семестр(ы):** 6

## 9. Цели и задачи учебной дисциплины:

Целью изучения дисциплины является понимание основных закономерностей, классического и неравновесного катализа, химического сопряжения в новых системах и способность интерпретировать механизмы изучаемых процессов.

Задачи лекционного курса: освещение ключевых вопросов программы; материал лекций призван стимулировать студентов к последующей самостоятельной работе. Задачи практических занятий: формирование умений и навыков для решения проблемных и ситуационных задач; формирование навыков правильной постановки и выполнения экспериментальной работы, трактовки полученных результатов с учётом современных воззрений.

## 10. Место учебной дисциплины в структуре ООП:

Б1. Часть, формируемая участниками образовательных отношений.

Для успешного освоения данной дисциплины, студент должен предварительно изучить следующие дисциплины: Математика; Физика; Общая и неорганическая химия; Кинетика синтеза твердофазных материалов. Данная дисциплина является предшествующей для дисциплин: Материаловедение; Наноматериалы; Материалы для электронной техники; Перспективные функциональные материалы.

## 11. Планируемые результаты обучения по дисциплине/модулю (знания, умения, навыки), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями) и индикаторами их достижения:

Код	Название компетенции	Код(ы)	Индикатор(ы)	Планируемые результаты обучения
ПК-2	Способен использовать знания о методах синтеза и свойствах материалов различного назначения, в том числе наноматериалов, для решения профессиональных задач	ПК-2.1	Способен выбирать методы синтеза материалов различного назначения (в том числе наноматериалов) в соответствии с поставленной задачей	Знать: основные типы механизмов гомогенного катализа и характерные черты гетерогенных каталитических реакций и условия их использования в процессах синтеза твердофазных материалов; Уметь: использовать теоретические знания для решения конкретных задач применительно к каталитическим и сопряженным реакциям.. Владеть: навыками применения знаний и умений для интерпретации и моделирования процессов получения широкого круга материалов, включая объекты, полученные самостоятельно в рамках научно-исследовательской деятельности.
		ПК-2.2	Способен использовать знания о свойствах материалов для решения конкретных профессиональных задач	Знать: основные современные методологические, теоретические и экспериментальные подходы к реализации каталитических и сопряженных процессов; Уметь: выделять и систематизировать основные идеи в научной литературе, составлять конспекты и планы текстов, находить необходимую информацию, посвященную вопросам осуществления каталитических процессов синтеза твердофазных материалов; Владеть: навыками выбора методов и средств решения задач исследования, применять различные методы в комплексе для достижения наилучших результатов.

## 12. Объем дисциплины в зачетных единицах/час — 3/108

Форма промежуточной аттестации – зачет.

## 13. Трудоемкость по видам учебной работы

Вид учебной работы		Трудоемкость			
		Всего	По семестрам		
			№ семестра	№ семестра 6	...
Контактная работа					
в том числе:	лекции	36		36	
	практические	36		36	
	лабораторные				
	курсовая работа				
Самостоятельная работа		36		36	
Промежуточная аттестация					
Итого:		108		108	

### 13.1. Содержание дисциплины

№ п / п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины	Реализация раздела дисциплины с помощью онлайн-курса, ЭУМК
<b>1. Лекции</b>			
1	Гомогенный и гетерогенный катализ	<p>Понятие о каталитических реакциях и их характерные особенности. Катализатор и его роль в химических реакциях. Положительный и отрицательный катализ. Ингибирование. Селективность и специфичность каталитического действия. Число оборотов катализатора как мера его активности. Способы воздействия на активность катализатора. Промотирование. Обратимое и необратимое отравление.</p> <p>Гомогенный катализ. Основные типы механизмов гомогенного катализа. Кинетические уравнения каталитических процессов. Эффективная константа скорости. Энергетические диаграммы для гомогенно-каталитических процессов.</p> <p>Гетерогенный катализ. Характерные черты гетерогенных каталитических процессов.</p> <p>Применение метода переходного состояния в гетерогенном катализе (энергетические диаграммы процессов). Макрокинетика гетерогенного катализа. Соотношение скоростей стадий. Внешнекинетическая область гетерогенного катализа. Адсорбционная и промежуточная области. Внешнедиффузионная и промежуточная области. Внутридиффузионная и внутрикинетическая области гетерогенного катализа. Промежуточные соединения в гетерогенном катализе. Неравновесность гетерогенно-каталитических процессов и ее причины.</p>	-

		<p>Природа активных центров твердых катализаторов. Неоднородность поверхности. Воззрения Тейлора. Теория пресыщения С.З. Рогинского. Мультиплетная теория катализа А.А. Баландина. Принципы геометрического и энергетического соответствия. Катализаторы на носителях. Теория активных ансамблей Н.И. Кобозева. Катализ на полупроводниках. Теория Ф.Ф. Волькенштейна. Предвидение каталитической активности. Использование гетерогенно-каталитических процессов в синтезе твердофазных материалов.</p>	
2	Химическая индукция и химическое сопряжение	<p>Понятие о химической интерференции. Концепция химического сопряжения. Воззрения Н.А. Шилова. Фактор индукции. Термодинамические аспекты химического сопряжения. Характерные черты сопряженных реакций. Примеры сопряженных реакций с участием двух и трех компонентов. Обобщенная схема сопряженных процессов. Детерминанта. Использование сопряженных химических реакций в процессах синтеза твердофазных материалов</p>	-
<b>2. Практические занятия</b>			
1	Гомогенный и гетерогенный катализ	<p>Понятие о каталитических реакциях и их характерные особенности. Катализатор и его роль в химических реакциях. Положительный и отрицательный катализ. Ингибирование. Селективность и специфичность каталитического действия. Число оборотов катализатора как мера его активности. Способы воздействия на активность катализатора. Промотирование. Обратимое и необратимое отравление.</p> <p>Гомогенный катализ. Основные типы механизмов гомогенного катализа. Кинетические уравнения каталитических процессов. Эффективная константа скорости. Энергетические диаграммы для гомогенно-каталитических процессов.</p> <p>Гетерогенный катализ. Характерные черты гетерогенных каталитических процессов.</p> <p>Применение метода переходного состояния в гетерогенном катализе (энергетические диаграммы процессов). Макрокинетика гетерогенного катализа. Соотношение скоростей стадий. Внешнекинетическая область гетерогенного катализа. Адсорбционная и промежуточная области. Внешнедиффузионная и промежуточная области. Внутридиффузионная и внутрикинетическая области гетерогенного катализа. Промежуточные соединения в гетерогенном катализе. Неравновесность гетерогенно-каталитических процессов и ее причины.</p> <p>Природа активных центров твердых катализаторов. Неоднородность поверхности. Воззрения Тейлора. Теория пресыщения С.З. Рогинского. Мультиплетная теория катализа А.А. Баландина. Принципы геометрического и энергетического соответствия. Катализаторы на носителях. Теория активных ансамблей Н.И. Кобозева. Катализ на полупроводниках. Теория Ф.Ф. Волькенштейна. Предвидение каталитической активности. Использование гетерогенно-каталитических процессов в синтезе твердофазных материалов.</p>	-
2	Химическая индукция и химическое сопряжение	<p>Понятие о химической интерференции. Концепция химического сопряжения. Воззрения Н.А. Шилова. Фактор индукции. Термодинамические аспекты химического сопряжения. Характерные черты сопряженных реакций. Примеры сопряженных реакций с участием двух и трех компонентов. Обобщенная схема сопряженных процессов. Детерминанта. Использование сопряженных химических реакций в процессах синтеза твердофазных материалов</p>	-

## 13.2. Темы (разделы) дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Виды занятий (часов)				
		Лекции	Практические	Лабораторные	Самостоятельная работа	Всего
1	Гомогенный и гетерогенный катализ	26	26		26	78
2	Химическая индукция и химическое сопряжение	10	10		10	30
Итого:		36	36		36	108

#### 14. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Для успешного освоения дисциплины, необходимо

- изучение основных и дополнительных литературных источников;
- подготовка рефератов с целью более детального изучения вопросов, рассматриваемых на лекциях;
- текущий контроль успеваемости в форме устного опроса.

#### 15. Перечень основной и дополнительной литературы, ресурсов интернет, необходимых для освоения дисциплины

а) основная литература:

№ п/п	Источник
1	Стромберг А.Г. Физическая химия : [учебник для студ. вузов, обуч. по хим. специальностям] / А.Г. Стромберг, Д.П. Семченко ; под ред. А.Г. Стромберга .— Изд. 7-е, стер. — Москва : Высшая школа, 2009 .— 526 с
2	Чоркендорф.И. Современный катализ и химическая кинетика : [учебное пособие] / И. Чоркендорф, Х. Наймантсведрайт ; пер. с англ. В.И. Ролдугина .— 2-е изд. — Долгопрудный : Издательский дом Интеллект, 2013 .— 500 с.
3	Третьяков Ю.Д.. Введение в химию твердофазных материалов : учебное пособие для студ. вузов, обуч. по направлению подгот. "Химия, физика и механика материалов" / Ю.Д. Третьяков, В.И. Путляев ; Моск. гос. ун-т им. М.В. Ломоносова .— М. : Изд-во Моск. ун-та : Наука, 2006 .— 399 с.

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
4	Эмануэль Н. М. Курс химической кинетики / Н.М. Эмануэль, Д.Г. Кнорре. - М. : Высш. шк., 1984. - 463 с.
5	Барре П. Кинетика гетерогенных процессов / П. Барре. - М. : Мир, 1976. - 400 с.
6	Розовский А .Я. Кинетика топочимических реакций / А .Я. Розовский. - М. : Химия, 1974. - 224 с.
7	Физическая химия: в 2-х кн. / К. С. Краснов и др. - М. : Высш. шк., 2001. - Кн.2. - 318 с.
8	Крылов О.В. Гетерогенный катализ / О.В. Крылов. - М. : Академкнига, 2004. - 679 с.
9	Байрамов В.М. Основы химической кинетики и катализа / В.М. Байрамов; под ред. В.В. Лунина. - М. : Academia, 2003. - 251 с.
10	Нагиев Т.М. Химическое сопряжение / Т.М. Нагиев. — М. : Наука, 1989. — 216 с.

в) информационные электронно-образовательные ресурсы (официальные ресурсы интернет)\*:

№ п/п	Источник
11	<a href="http://www.elibrary.ru">http://www.elibrary.ru</a> – научная электронная библиотека.
12	<a href="http://www.lib.vsu.ru">http://www.lib.vsu.ru</a> – Зональная научная библиотека ВГУ.

#### 16. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы

№ п/п	Источник

## 17. Образовательные технологии, используемые при реализации учебной дисциплины, включая дистанционные образовательные технологии (ДОТ), электронное обучение (ЭО), смешанное обучение):

Проведение текущей аттестации и самостоятельной работы по отдельным разделам дисциплины.

## 18. Материально-техническое обеспечение дисциплины:

Ноутбук, мультимедийный проектор, экран

## 19. Оценочные средства для проведения текущей и промежуточной аттестаций

Порядок оценки освоения обучающимися учебного материала определяется содержанием следующих разделов дисциплины:

№ п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Компетенция(и)	Индикатор(ы) достижения компетенции	Оценочные средства
1.	Гомогенный и гетерогенный катализ	ПК-2	ПК-2.1 ПК-2.2	Реферат
2.	Химическая индукция и химическое сопряжение	ПК-2	ПК-2.1 ПК-2.2	Реферат
Промежуточная аттестация форма контроля - экзамен				Перечень вопросов

## 20 Типовые оценочные средства и методические материалы, определяющие процедуры оценивания

### 20.1 Текущий контроль успеваемости

Контроль успеваемости по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств:

#### Темы рефератов:

1. Общий кислотно-основной катализ. Соотношение Бренстеда-Поляни.
2. Специфический катализ кислотами и основаниями.
3. Автокаталитические реакции. Периодические каталитические реакции.
4. Окислительно-восстановительный катализ.
5. Металлокомплексный и ферментативный катализ.
6. Кинетика реакций в адсорбированных слоях. Идеальный и реальный адсорбированный слой.
7. Понятие прекурсора в адсорбции и катализе.
8. Неравновесные процессы в катализе.
9. Неравновесные состояния катализатора.
10. Хемоэнергетическое стимулирование.
11. Сопряженные химические реакции и их структурная организация.
12. Сопряженное дегидрирование и сопряженное окисление органических соединений пероксидом водорода.
13. Фиксация азота при его сопряженном окислении.
14. Сопряженно-каталитические процессы и их роль в процессах синтеза твердофазных материалов.
15. Сопряженные процессы на твердых поверхностях.

#### Описание технологии проведения.

Рефераты оформляются в печатном (или электронном) виде. Основные положения реферата зачитываются на практических занятиях с возможностью конспектирования наиболее существенных моментов. Время, отводимое на устный доклад около 20-30 минут.

### **Требования к выполнению заданий (или шкалы и критерии оценивания).**

Реферат оценивается по глубине раскрытия темы.

## **20.2 Промежуточная аттестация**

Промежуточная аттестация по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств: собеседование по билетам к зачету.

### Перечень вопросов к зачету и порядок формирования КИМ:

1. Каталитические реакции. Основные понятия.
2. Катализатор и его роль в химических реакциях.
3. Гомогенный катализ. Основные типы механизмов реакций.
4. Кислотно-основный катализ.
5. Окислительно-восстановительный катализ.
6. Гетерогенный катализ и его стадии.
7. Научные основы изготовления катализаторов. Строение и физико-химические свойства катализаторов.
8. Выбор и подготовка поверхности катализаторов в гетерогенном катализе.
9. Теория переходного состояния: энергетические диаграммы гомогенно- и гетерогенно-каталитических процессов.
10. Природа активных центров твердого катализатора.
11. Теории гетерогенного катализа.
12. Неравновесные процессы в катализе.
13. Макрокинетика. Математическое моделирование и оптимизация каталитических процессов
14. Роли и места каталитического процесса в технологической схеме производства
15. Химическое сопряжение. Актор, индуктор, акцептор.
16. Фактор индукции и его применение Н. А. Шиловым для классификации реакций.
17. Основные черты и механизм сопряженных реакций.
18. Детерминанта и ее применение для прогнозирования возможности сопряжения в системе
19. Сопряженно-каталитические процессы и их роль в процессах синтеза твердофазных материалов.
20. Сопряженные процессы на твердых поверхностях.

### **Описание технологии проведения.**

После получения студентом билета КИМ и бланка листа ответа, самостоятельно выполняются задания КИМ в письменной форме. Время подготовки 40 минут. При выставлении итоговой оценки по промежуточной аттестации учитывается активность и успешность работы студента на этапах текущего контроля успеваемости.

### **Требования к выполнению заданий, шкалы и критерии оценивания.**

Оценка "зачтено" ставится при условии выполнения заданий по обоим вопросам КИМ. Полнота ответа по каждому вопросу считается достаточной, если раскрыта суть вопроса, без объяснения несущественных деталей.

Оценка "незачтено" ставится при отсутствии выполнения заданий хотя бы одного из двух вопросов КИМ. Или при частичном выполнении заданий по обоим вопросам КИМ, но без раскрытия их основной сути.