

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

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой
материаловедения и индустрии наносистем



В.М. Иевлев
16.05.2025

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
ФТД.В.02 Хемостимулированные процессы: сопряжение, иницинирование, катализ

1. Код и наименование направления подготовки/специальности:

04.04.02 – Химия, физика и механика материалов

2. Профиль подготовки/специализация:

Программа «Химия, физика и механика новых функциональных материалов и наноматериалов»

3. Квалификация выпускника: магистр

4. Форма обучения: очная

5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины: Материаловедения и индустрии наносистем

6. Составители программы: д.х.н., доц. Кострюков В.Ф.

7. Рекомендована: научно-методическим советом химического факультета, протокол № 10-03 от 27.03.2025

8. Учебный год: 2025-2026

Семестр(ы): 1

9. Цели и задачи учебной дисциплины:

Знание и понимание новых процессов, занимающих одно из центральных мест в современной химической науке. Эти процессы представляют одинаковую ценность для изучения как неорганических, так и органических объектов. Курс позволяет сформировать представление о химически и физически стимулированных процессах, методах их осуществления, рассмотреть вопросы неравновесного катализа и сопряжения в гетерогенных системах, не включенные ни в общие, ни в специальные дисциплины для специалистов

10. Место учебной дисциплины в структуре ООП: (обязательная или вариативная часть блок, к которой относится дисциплина) ФТД. Часть, формируемая участниками образовательных отношений

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

Код	Название компетенции	Код(ы)	Индикатор(ы)	Планируемые результаты обучения
ПК-3	Способен овладеть в профессиональной деятельности основными типовыми методами синтеза и анализа веществ, элементного и фазового состава, структуры и свойств материалов (включая наноматериалы)	ПК-3.1	Способен использовать знания о составе, структуре и свойствах материалов для решения задач материаловедения	Знать: основные представления о химически и физически стимулированных процессах, методах их осуществления, вопросы неравновесного катализа и сопряжения в гетерогенных системах Уметь: формулировать критерии выбора стимулирующего воздействия на процесс в зависимости от поставленной задачи; предложить схему воздействия стимулятора и предсказать результат этого воздействия Владеть: навыками решения задач материаловедения
		ПК-3.2	Владеет основными методами синтеза и анализа вещества	Знать: основные представления о химически и физически стимулированных процессах, методах их осуществления Уметь: прогнозировать воздействие стимулятора на процесс синтеза Владеть: навыками анализа результата воздействия стимулятора на процесс

12. Объем дисциплины в зачетных единицах/часах в соответствии с учебным планом —

2/72.

Форма промежуточной аттестации – зачет

13. Виды учебной работы

Вид учебной работы	Трудоемкость			
	Всего	По семестрам		
		1 семестр	„	...
Контактная работа	18	18		
в том числе:	лекции	18	18	
	практические	-		
	лабораторные	-		
	курсовая работа	-		

Самостоятельная работа	54	54		
Промежуточная аттестация (для экзамена)				
Итого:	72	72		

13.1. Содержание дисциплины

п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины	Реализация раздела дисциплины с помощью он-лайн-курса, ЭУМК *
1. Лекции			
1.1	Общие аспекты проблемы. Необходимость разработки и применения стимулированных процессов. Физическое и химическое стимулирование	<p>Стимулированные процессы - научный и прикладной аспекты. Необходимость разработки и применения. Исследования кинетики и механизма стимулированных процессов с целью управления свойствами получаемых объектов. Термодинамический и кинетический аспекты стимулирования.</p> <p>Процессы, протекающие под воздействием инфракрасного и ультрафиолетового облучения. Влияние способа нагрева на кинетику и механизм высокотемпературных химических процессов. Стимулирование электрическим полем. Химические процессы, протекающие при лазерном воздействии. Особенности нехимически стимулированных процессов, протекающих на поверхности твердых тел. Активное и нормальное состояния реагентов. Влияние термической и химической "предыстории" на активность твердых фаз в химических реакциях. Методы оценки активного состояния. Способы активирования твердофазных реагентов. "Память материи".</p>	
1.2	Индукция в химических реакциях (сопряженные процессы). Многоканальные процессы в современных системах и кинетический обход негативных каналов связи между стадиями. Сопряжение как вариант хемонергетического стимулирования	<p>Взаимосвязанные реакции. Химическая интерференция как понятие в трактовке взаимосвязанных реакций. Когерентные реакции. Сопряженные реакции (по Шилову). Общая схема. Актор, индуктор, акцептор и их роль в сопряженных реакциях. Фактор индукции. Характерные черты сопряженных реакций.</p> <p>Особенности положительной и отрицательной химической индукции. Сходство и различие каталитических и сопряженных процессов. Схема сопряжения через активные промежуточные соединения. Схема сопряженного процесса, в котором функции актора и индуктора выполняет одно и то же вещество. Детерминанта как критерий сопряжения. Различные формы химической интерференции (количественная оценка по детерминанте). Механизм некоторых сопряженных реакций в растворах с участием пероксида водорода. Особенности протекания сопряженных процессов в открытых системах на поверхности твердых тел. Термодинамическое сопряжение и эффект кинетического сопряжения. Сопряжение в электрохимических процессах. Многоканальные процессы формирования многокомпонентных слоев на поверхности полупроводников. Собственные (отрицательные каналы). Роль кинетического обхода при подавлении "отрицательных" каналов связи в процессах хемостимулированного термоокисления полупроводников. Хемостимулированное термоокисление полупроводников в растворе.</p>	
1.3	Катализ. Каталитические процессы в новых системах с твердофаз-	Механизмы гомогенного катализа. Автокаталитические реакции. Характерные черты гомогенных каталитических процес-	

	<p>ными катализатором, реагентами и продуктами реакции. Природа активных центров. Неравновесные процессы в катализе. Механизмы хемознергетического стимулирования в катализе. Сопряженно-каталитические процессы. Новые критерии каталитических процессов, протекающих в неравновесных условиях. Превращение катализаторов в неравновесных каталитических системах.</p>	<p>сов по сравнению с гетерогенными. Роль стадий адсорбции в гетерогенно-каталитических процессах. Идеальные и реальные адсорбированные слои. Кинетика гетерогенно-каталитических реакций на равнодоступной поверхности. Макрокинетика гетерогенно-каталитических процессов. Применение метода переходного состояния в гетерогенном катализе. Стационарное и квазистационарное протекание реакций. Соотношение скоростей стадий. Вопрос о природе активных центров как основа теории гетерогенного катализа. Идеальная и реальная поверхность твердых тел. Новые типы гетерогенных процессов с участием твердых катализаторов, реагентов и продуктов. Феноменологические и кинетические модели.</p> <p>Элементы теории сложных реакций и ее приложение к катализу. Маршруты реакций. Совокупность независимых маршрутов. Скорости реакций по маршрутам и стехиометрические базисы маршрутов. Теория графов и сложные реакции. Неравновесность на микро- и макроскопических уровнях при протекании адсорбции и катализа. Методы исследования неравновесных каталитических процессов (пучковые, лазерные, струевые). Возбуждение реакций на поверхности твердых тел. Прекурсор и неравновесная диффузия. Цепные механизмы в катализе и хемознергетическое стимулирование. Генерационный и обменный механизмы хемознергетического стимулирования. Сопряженно-каталитические процессы. Понятие сродства в кинетике и катализе. Определение катализатора по Пригожину. Новые критерии каталитических процессов, протекающих в неравновесных условиях. Диссипативные структуры в катализе. Фазовые превращения в катализе. Неравновесные состояния.</p>	
1.4	<p>Инициированные и цепные процессы. Гетерогенные фотокаталитические процессы. Аналогия сопряженных, цепных и каталитических механизмов в новых системах.</p>	<p>Характерные черты инициированных процессов. Цепные и фотохимические реакции. Основные понятия кинетики цепных реакций. Горение и взрыв. Фотохимические реакции. Законы фотохимии. Квантовый выход. Сенсибилизаторы. Радиационно-химические процессы.</p>	

13.2. Темы (разделы) дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Виды занятий (часов)				
		Лекции	Практические	Лабораторные	Самостоятельная работа	Всего
1	Общие аспекты проблемы. Необходимость разработки и применения стимулированных процессов. Физическое и химическое стимулирование	6			10	16
2	Индукция в химических реакциях (сопряженные процессы). Многоканальные процессы в современных системах и кинетический обход негативных каналов связи между стадиями. Сопряжение как вариант хемознергетического стимулирования	4			24	28
3	Катализ. Каталитические процессы в новых системах с твердофазными катализатором, реаген-	4			10	14

	тами и продуктами реакции. Природа активных центров. Неравновесные процессы в катализе. Механизмы хемознергетического стимулирования в катализе. Сопряжено-каталитические процессы. Новые критерии каталитических процессов, протекающих в неравновесных условиях. Превращение катализаторов в неравновесных каталитических системах.					
4	Инициированные и цепные процессы. Гетерогенные фотокалалитические процессы. Аналогия сопряжённых, цепных и каталитических механизмов в новых системах.	4			10	14
	Итого:	18			54	72

14. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

(рекомендации обучающимся по освоению дисциплины: работа с конспектами лекций, презентационным материалом, выполнение практических заданий, тестов, заданий текущей аттестации и т.д.)

Организация изучения дисциплины предполагает:

- изучение основных и дополнительных литературных источников;
- текущий контроль успеваемости в форме устного опроса по основным разделам дисциплины.

15. Перечень основной и дополнительной литературы, ресурсов интернет, необходимых для освоения дисциплины (список литературы оформляется в соответствии с требованиями ГОСТ и используется общая сквозная нумерация для всех видов источников)

а) основная литература:

№ п/п	Источник
1	Ролдугин В.И. Физикохимия поверхности : [учебник] / В.И. Ролдугин. – Долгопрудный : Интеллект, 2008. – 565 с.

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
2	Миттова И.Я. Нелинейные эффекты в процессах активированного окисления GaAs / И.Я. Миттова, В.Р. Пшестанчик, В.Ф. Кострюков ; Воронеж. гос. ун-т. – Воронеж : ИПЦ ВГУ, 2008. – 161 с.
3	Чоркендорф И., Наймантсведрайт Х. Современный катализ и химическая кинетика. / И.Чоркендорф, Х. Наймантсведрайт. – Долгопрудный : Интеллект. 2010. – 504 с.
4	Миттова И.Я. Гетерогенно-каталитические процессы : учебное пособие / И.Я. Миттова, А.С. Сухочев, Е.К. Мещерякова ; Воронеж. гос. ун-т. – Воронеж : ЛОП ВГУ, 2006. – 23 с.
5	Байрамов В.М. Основы химической кинетики и катализа : учеб. пособие для студентов высш. учеб. заведений / В.М. Байрамов. – М. : Издат. центр «Академия», 2003. – 251 с.
6	Пригожин И. Современная термодинамика. От тепловых двигателей до диссипативных структур : Учебник / И. Пригожин, Д. Кондепуди; Пер. с англ. Ю.А. Данилова, В.В. Белого под ред. Е.П. Агеева. – М. : Мир, 2002. – 461 с.
7	Миттова И.Я. Хемостимулированные процессы: сопряжение, инициирование, катализ : учебное пособие / И.Я. Миттова, А.С. Сухочев, Е.К. Мещерякова ; Воронеж. гос. ун-т. – Воронеж : ЛОП ВГУ, 2006. – 27 с.
8	Хемостимулированные процессы : сопряжение, инициирование, катализ : программа курса / Воронеж. гос. ун-т; сост. И.Я. Миттова. – Воронеж : ЛОП ВГУ, 2006. – 11 с.
9	Крылов О.В. Гетерогенный катализ : учеб. пособие для вузов / О.В. Крылов. — М. : ИКЦ «Академ-книга», 2004. — 679 с.
10	Крылов О.В. Неравновесные процессы в катализе / О.В. Крылов, Б.Р. Шуб. — М. : Химия, 1990. — 288 с.
11	Мелихов И.В. Физико-химическая эволюция твердого вещества / И.В. Мелихов –М. : БИНОМ. Лаб. знаний, 2006. – 309 с. (Нанотехнология).
12	Третьяков Ю.Д. Введение в химию твердофазных материалов: учебное пособие / Ю.Д. Третья-

	ков, В.И. Путляев. – М. : МГУ, 2006. - 399 с.
13	Романовский Б.В. Основы химической кинетики: учебник / Б.В. Романовский – М. : Издательство «Экзамен», 2006. – 415 с. (Серия «Учебник для вузов»).
14	Суздальев И.П. Нанотехнология. Физико-химия нанокластеров, наноструктур и наноматериалов / И.П. Суздальев – М. : КомКнига, 2006. – 589 с. (Синергетика : от прошлого к будущему).
15	Харрис П. Углеродные нанотрубы и родственные структуры. Новые материалы XXI века / П. Харрис. – М. : Техносфера, 2003. – 336 с.
16	Пул Ч.П. Нанотехнологии : учеб. пособие для студ., обуч. по направлению подгот. "Нанотехнологии" / Ч. Пул, Ф. Оуэнс ; пер. с англ. под ред. Ю.И. Головина; доп. В.В. Лучинина. – 2-е изд., доп. – М. : Техносфера, 2006. – 334 с.
17	Химия привитых поверхностных соединений / под ред. Г.В. Лисичкина. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 592 с.
18	Артемьев Ю.М. Введение в гетерогенный фотокатализ : учеб. пособие / Ю.М. Артемьев, В.К. Рябчук. — СПб. : Изд-во С.-Петербур. ун-та, 1999. — 304 с.
19	Третьяков Ю.Д. Твердофазные реакции / Ю.Д. Третьяков. – М. : Химия, 1978. – 360 с.
20	Киперман С.Л. Основы химической кинетики в гетерогенном катализе / С.Л. Киперман. – М. : Химия, 1979. – 352 с.
21	Розовский А.Я. Кинетика топочимических реакций / А.Я. Розовский. – М. : Химия, 1974. – 224 с.
22	Нагиев Т.М. Химическое сопряжение / Т.М. Нагиев. – М. : Наука, 1989. – 216 с.
23	Николис Г. Самоорганизация в неравновесных системах / Г. Николис, И. Пригожин. – М. : Мир, 1979. – 512 с.
24	Хакен Г. Синергетика / Г. Хакен. – М. : Мир, 1980. – 408 с.
25	Николис Г. Познание сложного. Введение / Г. Николис, И. Пригожин. – М. : Мир, 1990. – 344 с.
26	Пентин Ю.А. Физические методы исследования в химии / Ю.А. Пентин, Л.В. Вилков. – М. : Мир, ООО «Издательство АСТ», 2003. – 683 с.
27	Елисеев А.А. Функциональные наноматериалы: учеб. пособие / А.А. Елисеев, А.В. Лукашин, под ред. Ю.Д. Третьякова. - М.: Физматлит, 2010. - 456 с.
28	Кукуев В.И. Физические методы исследования тонких пленок и поверхностных слоев : учеб. пособие / В.И. Кукуев, И.Я. Миттова, Э.П. Домашевская ; под ред. Я.А. Угая. – Воронеж : Изд-во Воронеж. гос. ун-та, 2001. – 142 с.

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

№ п/п	Ресурс
29	https://www.lib.vsu.ru/ - сайт Зональной Научной Библиотеки Воронежского государственного университета
30	http://www.nanometer.ru/ - Нанотехнологическое сообщество «Нанометр»
31	http://www.nanonewsnet.ru/ - новости нанотехнологий, информационно-аналитическое издание, посвященное вопросам популяризации и развития нанотехнологий в РФ
32	http://www.rusnanonet.ru/ - информационно-аналитический портал российской национальной нанотехнологической сети

* Вначале указываются ЭБС, с которыми имеются договора у ВГУ, затем открытые электронно-образовательные ресурсы

16. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы (учебно-методические рекомендации, пособия, задачки, методические указания по выполнению практических (контрольных) работ и др.)

№ п/п	Источник

17. Информационные технологии, используемые для реализации учебной дисциплины, включая программное обеспечение и информационно-справочные системы (при необходимости)

18. Материально-техническое обеспечение дисциплины:

Типовое оборудование учебной аудитории.

19. Фонд оценочных средств:

19.1. Перечень компетенций с указанием этапов формирования и планируемых результатов обучения

№ п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Компетенция(и)	Индикатор(ы) достижения компетенции	Оценочные средства
1	Общие аспекты проблемы. Необходимость разработки и применения стимулированных процессов. Физическое и химическое стимулирование	ПК-3	ПК-3.1	Устный опрос
2	Индукция в химических реакциях (сопряженные процессы). Многоканальные процессы в современных системах и кинетический обход негативных каналов связи между стадиями. Сопряжение как вариант хемознергетического стимулирования			Устный опрос
3	Катализ. Каталитические процессы в новых системах с твердофазными катализатором, реагентами и продуктами реакции. Природа активных центров. Неравновесные процессы в катализе. Механизмы хемознергетического стимулирования в катализе. Сопряженно-каталитические процессы. Новые критерии каталитических процессов, протекающих в неравновесных условиях. Превращение катализаторов в неравновесных каталитических системах.		ПК-3.2	Устный опрос
4	Инициированные и цепные процессы. Гетерогенные фотокаталитические процессы. Аналогия сопряженных, цепных и каталитических механизмов в новых системах.			Устный опрос
Промежуточная аттестация форма контроля – зачет				КИМ

* В графе «ФОС» в обязательном порядке перечисляются оценочные средства текущей и промежуточной аттестаций.

20. Типовые оценочные средства и методические материалы, определяющие процедуры оценивания (задания, материалы для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующие этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы)

20.2 Промежуточная аттестация

Перечень вопросов к зачету:

1. Термодинамика и кинетика стимулированных процессов (общий аспект).
2. Возможности и необходимость перевода реагентов в активное состояние. Способы активации и роль активных реагентов в химических реакциях.
3. Сравнительная характеристика физически и химически стимулированных процессов.
4. Интерференция, когерентность и сопряжение химических реакций. Общая характеристика понятий и взаимосвязь между ними.
5. Фактор индукции как возможный критерий сопряжения и катализа.
6. Общая характеристика систем, в которых протекают сопряженные реакции. Кинетические схемы сложных процессов с сопряжением стадий.
7. Детерминанта как критерий возможности сопряжения в системе.
8. Сопряженные стадии процессов, протекающих на поверхности кристаллов и пленок.

9. Особенности сопряженных реакций в растворах.
10. Сравнительная характеристика механизмов гомо- и гетерогенно-каталитических процессов.
11. Идеальные и реальные поверхности и адсорбированные слои.
12. Автокатализ: примеры и механизм реакций.
13. Гетерогенный катализ в процессах твердое-газ и твердое-твердое. Критерии оценки каталитического действия.
14. Применение теории сложных реакций в катализе. Маршруты каталитических процессов.
15. Причины неравновесного протекания каталитических процессов и экспериментальные методы их исследования.
16. Возбужденные состояния реагентов и продуктов в гетерогенном катализе.
17. Прекурсоры в химии. Физико-химическая природа прекурсора и его роль в адсорбции и катализе.
18. Хемознергетическое стимулирование: генерационный и обменный механизмы.
19. Энергетическая схема и формальная модель адсорбции с прекурсором²¹.
20. Применение понятия сродства реакции для интерпретации сопряженных, каталитических процессов и цепных реакций.
21. Превращения катализатора в ходе реакции. Диссипативные структуры в катализе.
22. Сходство и различие сопряженных, каталитических и цепных процессов. Критерии идентификации стадий.
23. Неравновесное состояние поверхности в окислительных катализаторах.
24. Кинетика и основные механизмы цепных реакций.
25. Фазовые превращения катализатора и их влияние на механизм реакций.
26. Хемостимулирование в процессах синтеза функциональных неорганических и органических материалов.
27. Особенности гетерогенно-каталитических и кинетически сопряженных процессов в тонкопленочных системах.
28. Неравновесное состояние поверхности в окислительных катализаторах.
29. Причины развития исследований стимулированных процессов в конце 20-го-начале 21 веков и перспективы их использования в химии, биологии и высоких технологиях.

20.3. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций

Оценка знаний, умений и навыков, характеризующая этапы формирования компетенций в рамках изучения дисциплины осуществляется в ходе текущей и промежуточной аттестаций.

Текущая аттестация проводится в соответствии с Положением о текущей аттестации обучающихся по программам высшего образования Воронежского государственного университета. Текущая аттестация проводится в форме устного опроса, выполнения практического задания. Критерии оценивания приведены выше.

Промежуточная аттестация проводится в соответствии с Положением о промежуточной аттестации обучающихся по программам высшего образования.

Контрольно-измерительные материалы промежуточной аттестации включают в себя теоретические вопросы, позволяющие оценить уровень полученных знаний.

Для оценивания результатов обучения на зачете используется «зачтено», «не зачтено».

Соотношение показателей, критериев и шкалы оценивания результатов обучения.

Критерии оценивания компетенций	Уровень сформированности компетенций	Шкала оценок
Обучающийся владеет понятийным аппаратом теоретическими основами дисциплины, способен иллюстрировать ответ примерами, фактами, понимает сущность основных спектроскопических методов и их возможности, допускает отдельные ошибки при ответе.	Базовый уровень	Зачтено
Обучающийся демонстрирует отрывочные, фрагментарные знания, допускает грубые ошибки.	–	Не зачтено