

БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

УТВЕРЖДАЮ

Ректор Белорусского
государственного университета

_____ А.Д.Король

27 июня 2025 г.

Регистрационный №УД- 13993/уч.



ХИМИЯ ГЕТЕРОГЕННЫХ СИСТЕМ

Учебная программа учреждения образования по учебной дисциплине для
специальности:

1-31 05 03 Химия высоких энергий

1-31 05 04 Фундаментальная химия

2025 г.

Учебная программа составлена на основе ОСВО 1-31 05 04-2021 и ОСВО 1-31 05 03-2021 и учебных планов № G 31-1-236/уч. от 22.03.2022 и № G 31-1-237/уч. от 22.05.2022.

СОСТАВИТЕЛИ:

Т.В.Свиридова, профессор кафедры неорганической химии химического факультета Белорусского государственного университета, доктор химических наук, профессор.

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

А.И.Кулак, директор Института общей и неорганической химии Национальной академии наук Беларуси, доктор химических наук, профессор, академик НАН Беларуси.

В.Б.Оджаев, заведующий кафедрой физики полупроводников и наноэлектроники физического факультета Белорусского государственного университета, доктор физико-математических наук, профессор.

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой неорганической химии БГУ
(протокол № 10 от 06.06.2025);

Научно-методическим советом БГУ
(протокол № 11 от 26.06.2025)

Заведующий кафедрой



Д.В.Свиридов

Г. В. Ковальчук - подписавшая



ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Цели и задачи учебной дисциплины

Цель учебной дисциплины – сформировать у будущих специалистов-химиков целостный алгоритм постановки химического эксперимента, корректности проведения исследования механизма химических процессов в гетерогенных системах и корректной интерпретации получаемых результатов.

Задачи учебной дисциплины:

1. Ознакомить студентов с основными понятиями, явлениями и законами, относящимися к области химии гетерогенных систем.
2. Ознакомить с основами математических методов описания структуры, состояния и свойств веществ в конденсированном состоянии; знание методов получения и исследования структуры и свойств материалов в конденсированном состоянии.
3. Дать представление о теоретических и методических основах изучения кинетики и механизма химических превращений на гетерограницах «твердое-твёрдое», «твердое-газ», «твердое-жидкость».
4. Сформировать знания физических основ и характеристик аналитических методов исследования реальных объектов и понимания связи химии конденсированного состояния с другими науками и техникой.
5. Познакомить студентов с методами термического анализа.
6. Показать место современной химии гетерогенных систем в системе наук естественнонаучного цикла, а также в современной промышленности.

Место учебной дисциплины в системе подготовки специалиста с высшим образованием (магистра).

Учебная дисциплина относится к модулю «Химия конденсированного состояния» компонента учреждения образования для специальности «Химия высоких энергий» и государственного компонента для специальности «Фундаментальная химия».

Связи с другими учебными дисциплинами, включая учебные дисциплины компонента учреждения высшего образования, дисциплины специализации и др. Учебная дисциплина «Химия гетерогенных систем» базируется на материале, представленном в курсах «Неорганическая химия», «Химия твердого тела».

Требования к компетенциям

Освоение учебной дисциплины «Химия гетерогенных систем» должно обеспечить формирование следующих компетенций:

Специализированные компетенции:

Ориентироваться в современной теории химического строения, включая квантовые состояния молекул, симметрию молекулярных систем, их электрические, магнитные и оптические свойства, в строении и структурной организации конденсированных фаз (жидкостей, аморфных веществ, мезофаз, кристаллов).

Базовые профессиональные компетенции:

Ориентироваться в системе современных знаний о строении кристаллов и частично упорядоченных конденсированных фаз, методов получения

твердотельных материалов с заданной структурной организацией (моно- и поликристаллические, аморфные и стеклообразные твердые тела, порошки, пленки), механизмах и кинетике реакций с участием твердых тел, особенностях химического, фазового состава и структуры твердых тел, обуславливающих их свойства и практическое применение.

В результате освоения учебной дисциплины студент должен:

знать: основные закономерности протекания химических процессов в гетерогенных системах; факторы, влияющие на скорость, порядок и энергию активации гетерогенных реакций; механизм протекания основных видов твердофазных реакций и полиморфных превращений; принципы синтеза твердофазных веществ и композиционных материалов на их основе;

уметь: интерпретировать механизм химических превращений, протекающих на гетерограницах «твердое-твёрдое», «твердое-газ», «твердое-жидкость»; предсказывать ход гетерогенных реакции с учетом закономерностей протекания процессов зародышеобразования и характера скорости лимитирующей стадии;

владеть: основными компетенциями, присущими современному химику-исследователю.

Структура учебной дисциплины

Дисциплина изучается в 8 семестре. В соответствии с учебным планом всего на изучение учебной дисциплины «Химия гетерогенных систем» отведено для очной формы получения высшего образования – 102 часа, в том числе 50 аудиторных часов: лекции – 32 часа, семинарские занятия – 18 часов. **Из них:**

Лекции – 28 часов + 4 часа ДОТ, семинарские занятия – 10 часов, управляемая самостоятельная работа – 2 часа + 6 часов ДОТ.

Трудоемкость учебной дисциплины составляет 3 зачетные единицы.

Форма промежуточной аттестации – экзамен – «Фундаментальная химия»

Форма промежуточной аттестации – зачёт – «Химия высоких энергий»

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

Введение

Предмет и задачи курса «Химия гетерогенных систем».

Тема 1. Локализованные химические и физические процессы

Понятие о локализованных процессах. Отличительные признаки локализованных химических и физических процессов.

Отличительные признаки веществ в конденсированном состоянии. Типы связей в кристаллах. Кристаллы простых веществ. Кристаллы химических соединений. Теоретическое описание энергии кристаллической решетки кристаллов инертных газов. Энергия кристаллической решетки ионных кристаллов. Ковалентные кристаллы. Кристаллы с водородными связями. Металлические кристаллы. Физико-химические свойства конденсированных веществ: зависимость физических и химических свойств твердых веществ от типа химической связи и структуры.

Тема 2. Топохимия – химия локализованных процессов

Понятие о «топохимии». Предмет и отличительные признаки топохимии, история создания и основные этапы развития топохимии как науки. Характерные особенности и классификация химических реакций в конденсированных системах. Характеристика реагентов (понятие о нормальном и активном состоянии твердых тел; факторы, определяющие активность твердофазных реагентов; характеристика основных способов активирования твердых тел.

Тема 3. Термодинамика гетерогенных процессов

Отличие термодинамических характеристик гетерогенных процессов от нелокализованных химических превращений – основа для построения целевого термодинамического эксперимента. Термодинамические параметры важнейших реакций, локализованных на гетерогранице.

Правило фаз Гиббса. Термодинамическая оценка возможности осуществления взаимодействия в гетерогенной системе. Общая характеристика методов исследования термодинамики реакций в гетерогранице. Метод электродвижущих сил. Метод гетерогенных равновесий. Термохимические методы.

Тема 4. Теоретические основы кинетического анализа гетерогенных процессов

Основные кинетические характеристики (скорость реакции, удельная скорость реакции, индукционный период, температура разложения, формы

локализации твердофазной реакции и др.; понятие о макрокинетике твердофазных реакций). Кинетические кривые. Особенности кинетики реакций с участием твердых фаз. Сопоставление кинетических характеристик твердофазных и газофазных реакций. Модели зародышеобразования. Диффузионные модели (кинетические уравнения для диффузионно-контролируемых реакций). Кинетика твердофазных реакций в полидисперсных системах. Модели реакций, лимитируемых процессами на границе раздела фаз. Кинетические модели для реакций «цепного» типа (в частности, для реакций с резко ускоряющимся зародышеобразованием). Понятие о стадийности твердофазных реакций. Параллельные реакции. Последовательные твердофазные реакции (последовательность необратимых стадий, последовательность обратимых стадий, разветвленные последовательности, многостадийные последовательности). Кинетика сложных реакций.

Основные принципы анализа кинетических данных, полученных в неизотермических условиях.

Механизм важнейших твердофазных реакций. Физико-химические факторы, влияющие на механизм реакций с участием твердых тел.

Основы неизотермического кинетического эксперимента.

Тема 5. Экспериментальные методы исследования кинетики твердофазных реакций

Понятие о непрерывных и периодических методах исследования кинетики реакций с участием твердых тел. Изотермические и неизотермические методы. Дифракционные методы (методы рентгенографии и электронографии). Микроскопические методы (оптическая и электронная микроскопия). Анализ выделяющегося газа. Спектроскопические методы (инфракрасная спектроскопия, ядерный магнитный резонанс, электронный парамагнитный резонанс, рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия, мессбауэровская спектроскопия). Термические методы анализа (термогравиметрия, термогравиметрия по производной (дифференциальная термогравиметрия), дифференциальный термический анализ, дифференциальная сканирующая калориметрия). Газоаналитические методы (масс-спектрометрия, газовая хроматография).

Тема 6. Планирование кинетического исследования и интерпретация полученных результатов

Приготовление образцов и их предварительная обработка. Постановка кинетических экспериментов. Влияние атмосферы на результаты кинетического анализа.

Основные кинетические уравнения, обычно используемые при анализе изотермических реакций с участием твердых веществ. Проверка адекватности описания изотермических кинетических данных теоретическими уравнениями. Выбор кинетического уравнения. Применение кинетических уравнений к

описанию отдельных участков кривой «степень превращения - время». Интерпретация кинетических наблюдений. Влияние давления на скорость твердофазных реакций. Зависимость скорости реакции от температуры. Физический смысл и расчет значения аррениусовских параметров.

Сравнительный анализ результатов кинетического исследования, полученных с помощью изотермических и неизотермических методов исследования. Надежность кинетических параметров, полученных из данных неизотермических измерений.

Тема 7. Общая характеристика и кинетические параметры некоторых твердофазных реакций

Особенности реакций разложения твердых веществ. Дегидратация кристаллогидратов. Реакции разложения бинарных соединений и гидроксидов. Разложение солей металлов. Разложение аммонийных солей. Разложение координационных соединений. Разложение твердых растворов и двойных солей.

Разложение твердых веществ, катализируемое твердой фазой.

Характеристика и механизмы реакций взаимодействия твердых веществ.

Особенности кинетики реакций в системе «газ - твердое тело». Кинетика реакций с нулевой начальной скоростью (восстановление оксидов металлов, окисление металлов, сульфидирование металлов и солей и др.). Кинетика реакций с ненулевой начальной скоростью (восстановление оксидов металлов, окисление солей, сульфидирование солей, металлов и оксидов, окисление металлов и сплавов).

Особенности кинетики реакций, локализованных на границе «твердое тело-жидкость». Кинетические закономерности и механизмы фотохимических и радиационно-химических превращений, а также сопряженных с ними термоиндуцированных реакций в твердотельных системах.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Очная (дневная) форма получения высшего образования с применением дистанционных образовательных технологий
(ДОТ)

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов					Количество часов УСР	Форма контроля
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	Иное		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Введение	2						
1	Локализованные химические и физические процессы	6		2			2 (ДОТ)	Коллоквиум
2	Топохимия – химия локализованных процессов	2					2 (ДОТ)	Контрольная работа
3	Термодинамика гетерогенных процессов	4		2				Устный опрос
4	Теоретические основы кинетического анализа гетерогенных процессов	6		2			2	Контрольная работа
5	Экспериментальные методы исследования кинетики твердофазных реакций	4		2				Устный опрос
6	Планирование кинетического исследования и интерпретация полученных результатов	2		2				Устный опрос
7	Общая характеристика и кинетические параметры некоторых твердофазных реакций	2						
7	Общая характеристика и кинетические параметры некоторых твердофазных реакций	4 (ДОТ)					2 (ДОТ)	Реферат Контрольная работа

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Основная литература

1. Пармон, В.Н. Введение в термодинамику неравновесных процессов для химиков : учебное пособие для вузов / В.Н. Пармон. – Санкт-Петербург: Лань, 2024. – 372 с. URL: <https://e.lanbook.com/book/415007>.

2. Козловский, Р.А. Основы кинетики и катализа в гетерогенных процессах: учебное пособие для вузов / Р.А. Козловский, Т.В. Бухаркина, С.В. Вержичинская. – Санкт-Петербург: Лань, 2024. – 188 с. URL: <https://e.lanbook.com/book/405464>.

Дополнительная литература

1. Браун, М. Реакции твердых тел / М. Браун, Д. Доллимор, А. Галвей – М.: Мир, 1983. – 360 с.

2. Третьяков, Ю.Д. Твердофазные реакции / Ю.Д. Третьяков – М.: Химия, 1978. – 360 с.

3. Продан, Е.А. Неорганическая топохимия / Е.А. Продан – Мн.: Наука и техника, 1986. – 240 с.

4. Дельмон, Б. Кинетика гетерогенных реакций / Б. Дельмон – М.: Мир, 1972. – 555 с.

5. Розовский, А.Я. Гетерогенные химические реакции / А.Я. Розовский – М.: Наука, 1980. – 323 с.

6. Барре, П. Кинетика гетерогенных процессов / П. Барре – М.: Мир, 1976. – 400 с.

7. Яцимирский, К.Б. Кинетические методы анализа / К.Б. Яцимирский – М.: Химия, 1967. – 200 с.

8. Экспериментальные методы химической кинетики / Под. ред. Н.М. Эмануэля, М.Г. Кузьмина. – М.: Издательство Московского университета, 1985. – 385 с.

9. Уэндландт, У. Термические методы анализа / У. Уэндландт – М.: Мир, 1978. – 526 с.

10. Шестак, Я. Теория термического анализа / Я. Шестак – М.: Мир, 1987. – 456 с.

11. Химия твердого состояния / Под. ред. В. Гарнера. – М.: Издательство иностранной литературы, 1961. – 545 с.

12. Гилевич, М.П. Химия твердого тела / М.П. Гилевич, И.И. Покровский – Мн.: Университетское, 1985. – 192 с.

13. Александров, Л.Н. Кинетика образования и структуры твердых слоев / Л.Н. Александров – Новосибирск: Наука (Сибирское отделение), 1972. – 228 с.

14. Болдырев, В.В. Реакционная способность твердых веществ (на примере реакций термического разложения) / В.В. Болдырев – Новосибирск.: Издательство Сибирского отделения РАН, 1997. – 303 с.
15. Погорелов, А.Г. Обратные задачи нестационарной химической кинетики / А.Г. Погорелов – М.: Наука, 1988. – 392 с.
16. Киперман, С.Л. Введение в кинетику гетерогенных каталитических реакций / С.Л. Киперман – М.: Наука, 1964. – 605 с.
17. Захарьевский, М.С. Кинетика химических реакций / М.С. Захарьевский – Ленинград: Изд-во ЛГУ, 1959. – 167 с.
18. Шмид, Р. Неформальная кинетика / Р. Шмид, В.Н. Сапунов – М.: Мир, 1985. – 263 с.
19. Будников, П.П. Реакции в смесях твердых веществ / П.П. Будников, А.М. Гинстлинг – М: Госстройиздат, 1961. – 424 с.
20. Гетерогенные реакции и реакционная способность / Под. ред. М.М. Павлюченко, И.Г. Тищенко. – Мн.: Издательство «Высшая школа», 1964. – 300 с.
21. Башкиров, Л.А. Механизм и кинетика образования ферритов / Л.А. Башкиров, В.В. Паньков – Мн.: Наука и техника, 1988. — 262 с.
22. Диффузия, сорбция и фазовые превращения в процессах восстановления металлов / Под. ред. Н.В. Агеева. – М.: Наука, 1981. – 227 с.
23. Фаст, Дж.Д. Взаимодействие металлов с газами / Дж.Д. Фаст – М.: Металлургия, 1975. – 350 с.
24. Кофстад, П. Высокотемпературное окисление металлов / П. Кофстад – М.: Мир, 1969. – 392 с.
25. Кольцов, Н.И. Инварианты и обратные задачи химической кинетики : учебное пособие / Н.И. Кольцов, В.Х. Федотов. – Чебоксары: ЧГУ им. И.Н. Ульянова, 2024. – 240 с. URL: <https://e.lanbook.com/book/438794>.
26. Долгих, А.В. Моделирование химико-технологических процессов : учебно-методическое пособие / А.В. Долгих, С.И. Сташков. – Пермь: ПНИПУ, 2024. – 109 с. URL: <https://e.lanbook.com/book/492476>.
27. Кольцов, Н.И. Неидеальная химическая кинетика: монография / Н.И. Кольцов, В.Х. Федотов, Б.В. Алексеев. – Чебоксары: ЧГУ им. И.Н. Ульянова, 2024. – 266 с. URL: <https://e.lanbook.com/book/438797>.
28. Кольцов, Н.И. Сложная кинетика химических реакций: монография / Н.И. Кольцов, В.Х. Федотов, Б.В. Алексеев. – Чебоксары: ЧГУ им. И.Н. Ульянова, 2023. – 252 с. URL: <https://e.lanbook.com/book/438800>.
29. Иртюго, Л.А. Кинетика гетерогенных процессов: учебное пособие / Л.А. Иртюго, А.А. Шубин. – Красноярск: СФУ, 2021. – 132 с. URL: <https://e.lanbook.com/book/181604>.

Перечень рекомендуемых средств диагностики и методика формирования итоговой отметки

Объектом диагностики компетенций студентов являются знания, умения, полученные ими в результате изучения учебной дисциплины. Выявление учебных достижений студентов осуществляется с помощью мероприятий текущей и промежуточной аттестации.

Для диагностики компетенций могут использоваться следующие средства текущей аттестации: контрольная работа; коллоквиум; реферат.

Отметка за контрольную работу формируется, исходя из количества верных ответов.

Оценка на коллоквиуме формируется с учётом правильности ответов на вопросы, их оригинальности и завершенности, широты и глубины владения теоретическим материалом, используемым при ответе, также учитывается полнота ответа, наличие аргументов, примеров из практики.

При оценивании реферата обращается внимание на: содержание и полноту раскрытия темы, структуру и последовательность изложения, литературные источники и их интерпретацию, корректность оформления и т.д.

Формой промежуточной аттестации по дисциплине «Химия гетерогенных систем» учебным планом предусмотрен экзамен/зачет.

Для формирования итоговой отметки по учебной дисциплине используется модульно-рейтинговая система оценки знаний студента, дающая возможность проследить и оценить динамику процесса достижения целей обучения. Рейтинговая система предусматривает использование весовых коэффициентов для текущей и промежуточной аттестации студентов по учебной дисциплине.

Формирование итоговой отметки в ходе проведения контрольных мероприятий текущей аттестации (примерные весовые коэффициенты, определяющие вклад текущей аттестации в отметку при прохождении промежуточной аттестации):

ответы на семинарских занятиях – 15 %;

выполнение контрольных работ – 75 %.

письменный отчёт по заданиям (коллоквиум, реферат) – 10 %.

Итоговая отметка по дисциплине рассчитывается на основе итоговой отметки текущей аттестации (модульно-рейтинговой системы оценки знаний) 30 % и экзаменационной отметки 70 %.

Примерный перечень заданий для управляемой самостоятельной работы

Тема 1. Локализованные химические и физические процессы (2 часа ДОТ)

Задание 1. Перечислить и описать отличительные признаки локализованных физико-химических процессов.

Задание 2. Привести и обосновать различные классификации локализованных физико-химических процессов.

(Форма контроля – коллоквиум).

Тема 2. Топохимия – химия локализованных процессов (2 часа ДОТ)

Задание 1. Очертить место топохимии в системе наук естественно-научного цикла.

Задание 2. Описать краткие исторические вехи развития топохимии.

(Форма контроля – контрольная работа).

Тема 4. Теоретические основы кинетического анализа гетерогенных процессов (2 часа)

Задание 1. Описать стадии (включая скорость лимитирующие) основных процессов в твердой фазе.

Задание 2. Описать процессы, лимитируемые стадиями зародышеобразования, диффузии.

Задание 3. Предложить принципиальную схему решения обратной кинетической задачи при данном типе зародышеобразования.

(Форма контроля – контрольная работа).

Тема 7. Общая характеристика и кинетические параметры некоторых твердофазных реакций (2 часа ДОТ)

Задание 1. Общая характеристика и кинетические параметры реакций «твердое + газ».

Задание 2. Общая характеристика и кинетические параметры реакций разложения твердого тела.

(Форма контроля – Реферат, контрольная работа).

Примерная тематика семинарских занятий

Семинар № 1. «Локализованные химические и физические процессы. Топохимия – химия локализованных процессов».

Семинар № 2. «Термодинамика гетерогенных процессов».

Семинар № 3. «Теоретические основы кинетического анализа гетерогенных процессов».

Семинар № 4. «Экспериментальные методы исследования кинетики твердофазных реакций».

Семинар № 5. «Планирование кинетического исследования и интерпретация полученных результатов. Общая характеристика и кинетические параметры некоторых твердофазных реакций».

**Описание инновационных подходов и методов
к преподаванию учебной дисциплины**

При организации образовательного процесса используется **практико-ориентированный подход**, который предполагает:

- освоение содержания образования через решения практически-важных задач;
- ориентацию на генерирование идей, реализацию групповых студенческих проектов;
- использованию процедур, способов оценивания, фиксирующих сформированность профессиональных компетенций.

Методические рекомендации по организации самостоятельной работы

Для организации самостоятельной работы студентов по учебной дисциплине используются современные информационные ресурсы: на образовательном портале [Educhem.bsu.by](https://educhem.bsu.by) размещен комплекс учебных и учебно-методических материалов (материалы текущего контроля и текущей аттестации), позволяющие определить соответствие учебной деятельности обучающихся требованиям образовательных стандартов высшего образования: <https://educhem.bsu.by/course/view.php?id=541>.

Примерные темы реферативных работ

1. Кинетика топохимических реакций: история развития и современные тенденции.
2. Современные подходы к исследованию кинетики топохимических реакций.
3. Сравнительный анализ кинетики топохимических реакций и реакций в газовой фазе.
4. Современные тенденции в развитии неизотермической кинетики топохимических реакций.
5. Неформальная кинетика топохимических реакций.
6. Кинетика топохимических реакций и ее взаимосвязь с катализом.
7. Кинетика зародышеобразования в объеме твердого тела.
8. Кинетические особенности процесса зародышеобразования на поверхности твердофазного реагента.
9. Области применения кинетических моделей зародышеобразования.
10. Кинетические особенности процесса образования кристаллических зародышей в парах, жидкостях и твердофазных системах.
11. Кинетика и механизм полиморфных превращений и рекристаллизации.
12. Кинетика аллотропных превращений.
13. Кинетика твердофазных процессов, лимитируемых адсорбцией и возгонкой.
14. Кинетика адсорбционных процессов на неоднородных поверхностях.
15. Кинетика и механизм процессов хемосорбции и катализа.
16. Кинетические характеристики автокаталитических реакций.
17. Кинетика фазовых переходов в твердых телах.

18. Кинетика и механизм формирования твердых растворов.
19. Кинетика сложных топохимических реакций.
20. Побочные процессы в высокотемпературных реакциях с участием твердых тел.
21. Учет изменения кинетических параметров топохимической реакции в процессе ее протекания.
22. Общая характеристика оборудования, применяемого для проведения кинетических экспериментов в химии твердого тела.
23. Проблемы изучения свойств неорганических материалов с помощью термических методов анализа.
24. Кинетические исследования с применением методов термогравиметрии, дифференциального термического анализа и дифференциальной сканирующей калориметрии.
25. Кинетика кристаллизации стекол.
26. Теория параболического окисления металлов (теория Вагнера).
27. Кинетика формирования тонких оксидных пленок.
28. Кинетика процессов растворения и выщелачивания.
29. Кинетика роста тонких металлических пленок.
30. Кинетика эпитаксиальной кристаллизации полупроводниковых пленок.
31. Кинетика получения твердофазных пленок в вакууме методом взрыва.
32. Лимитирующие процессы при образовании твердофазных пленок с использованием газотранспортных реакций.
33. Кинетика и механизм процессов восстановления оксидов металлов водородом.
34. Кинетика и механизм фотографического процесса как специфического фотохимического разложения неорганических солей.
35. Сравнительный анализ кинетических закономерностей, лежащих в основе термического, фотохимического и радиационно-химического разложения твердых неорганических солей.
36. Кинетика и механизм реакций разложения фосфатов в кристаллической и аморфной фазах.
37. Кинетические особенности процессов растворения и осаждения (испарения и конденсации).
38. Использование реакций термического разложения в производстве печатных плат.
39. Особенности кинетики и механизма реакций ферритообразования.
40. Выбор наиболее вероятного механизма твердофазной реакции (на примере реакции гидрирования карбида железа).

Примерный перечень вопросов к зачёту

1. Предмет и отличительные признаки топочимии.
2. Особенности и классификация химических реакций с участием твердых тел.
3. Дифракционные методы исследования кинетики твердофазных реакций.
4. Локализованные физико-химические процессы и их отличительные признаки.
5. Характеристика реагентов твердофазных реакций.
6. Анализ выделяющегося газа как метод исследования кинетики твердофазных реакций.
7. Основные кинетические характеристики твердофазных реакций.
8. Спектроскопические методы исследования кинетики твердофазных реакций.
9. Особенности кинетики реакций с участием твердых фаз.
10. Экспериментальные методы исследования реакций типа «твердое тело - твердое тело».
11. Механические свойства твердых тел. Классическая диаграмма растяжения для твердых тел. Закон Гука. Модуль Юнга.
12. Модели зародышеобразования, используемые для описания кинетики твердофазных реакций.
13. Диффузионные модели и кинетические уравнения для описания диффузионно – контролируемых реакций.
14. Дифференциальный термический анализ и дифференциальная сканирующая калориметрия как методы исследования кинетики твердофазных реакций.
15. Кинетика твердофазных реакций в полидисперсных системах.
16. Приготовление образцов для кинетических экспериментов. Постановка кинетических экспериментов. Влияние атмосферы на результаты кинетического анализа.
17. Кристаллы инертных газов. Энергия кристаллической решетки.
18. Кинетические модели твердофазных реакций, лимитируемых процессами на границе раздела фаз.
19. Кинетические модели для реакций «цепного» типа (в частности, для реакций с резко ускоряющимся зародышеобразованием).
20. Влияние давления на скорость твердофазных реакций. Зависимость скорости реакции от температуры.
21. Правило фаз Гиббса. Расчет степеней свободы для процесса разложения карбоната кальция.
22. Механизм важнейших твердофазных реакций. Физико-химические факторы, влияющие на механизм реакций с участием твердых тел.
23. Ковалентные кристаллы. Кристаллы с водородными связями. Металлические кристаллы. Принципы расчета энергии кристаллической решетки.

24. Понятие о непрерывных/периодических методах исследования кинетики твердофазных реакций.
25. Ионные кристаллы. Энергия кристаллической решетки. Постоянная Маделунга.
26. Выбор адекватного кинетического уравнения. Применение кинетических уравнений к описанию отдельных участков кривой «степень превращения - время».
27. Термохимические методы исследования термодинамики твердофазных реакций.
28. Понятие о кинетических исследованиях с использованием неизотермических данных. Надежность результатов неизотермических измерений.
29. Термодинамические параметры твердофазных реакций. Правило Келли-Кубашевского.
30. Предподготовка образцов для твердофазных экспериментов. Влияние атмосферы (давление, состав), температуры, механического воздействия, облучения, легирования и др. на результаты твердофазного эксперимента.
31. Методы исследования термодинамики твердофазных реакций. Метод гетерогенных равновесий.
32. Физический смысл и расчет аррениусовских параметров для твердофазных реакций.
33. Отличительные признаки твердых тел. Основные типы химической связи, характерные для твердых тел (на примере простых и сложных соединений).
34. Понятие о изотермических/неизотермических методах исследования кинетики твердофазных реакций.
35. Методы исследования термодинамики твердофазных реакций. Метод электродвижущих сил на примере реакции взаимодействия оксида никеля и диоксида титана.
36. Алгоритм кинетического твердофазного исследования.
37. Сравнительный анализ кинетики гетерогенных и гомогенных процессов.
38. Дифференциальная сканирующая калориметрия.
39. Микроскопические методы исследования кинетики реакций с участием твердых тел.
40. Термогравиметрия, термогравиметрия по производной и их применение для изучения кинетики реакций с участием твердых тел.

Примерный перечень вопросов к экзамену

1. Предмет и отличительные признаки топохимии.
2. Особенности и классификация химических реакций с участием твердых тел.
3. Дифракционные методы исследования кинетики твердофазных реакций.
4. Локализованные физико-химические процессы.
5. Отличительные признаки локализованных физико-химических процессов.
6. Характеристика реагентов твердофазных реакций.
7. Анализ выделяющегося газа как метод исследования кинетики твердофазных реакций.
8. Основные кинетические характеристики твердофазных реакций.
9. Спектроскопические методы исследования кинетики твердофазных реакций.
10. Особенности кинетики реакций с участием твердых фаз.
11. Экспериментальные методы исследования реакций типа «твердое тело - твердое тело».
12. Механические свойства твердых тел.
13. Классическая диаграмма растяжения для твердых тел. Закон Гука. Модуль Юнга.
14. Модели зародышеобразования, используемые для описания кинетики твердофазных реакций.
15. Диффузионные модели и кинетические уравнения для описания диффузионно – контролируемых реакций.
16. Дифференциальный термический анализ как метод исследования кинетики твердофазных реакций.
17. Характеристика дифференциальной сканирующей калориметрии как методы исследования кинетики твердофазных реакций.
18. Кинетика твердофазных реакций в полидисперсных системах.
19. Приготовление образцов для кинетических экспериментов.
20. Постановка кинетических экспериментов.
21. Влияние атмосферы на результаты кинетического анализа.
22. Кристаллы инертных газов. Энергия кристаллической решетки.
23. Кинетические модели твердофазных реакций, лимитируемых процессами на границе раздела фаз.
24. Кинетические модели для реакций «цепного» типа (в частности, для реакций с резко ускоряющимся зародышеобразованием).
25. Влияние давления на скорость гетерогенных реакций.
26. Зависимость скорости гетерогенных реакции от температуры.
27. Правило фаз Гиббса.
28. Расчет степеней свободы для процесса разложения карбоната кальция, полиморфных переходов, процессов формирования твердых растворов.
29. Механизм важнейших твердофазных реакций.

30. Физико-химические факторы, влияющие на механизм реакций с участием твердых тел.
31. Ковалентные кристаллы: принципы расчета энергии кристаллической решетки.
32. Кристаллы с водородными связями: принципы расчета энергии кристаллической решетки.
33. Металлические кристаллы: принципы расчета энергии кристаллической решетки.
34. Понятие о непрерывных/периодических методах исследования кинетики твердофазных реакций.
35. Ионные кристаллы. Энергия кристаллической решетки. Постоянная Маделунга.
36. Выбор адекватного кинетического уравнения для гетерогенных процессов.
37. Применение кинетических уравнений к описанию отдельных участков кинетической кривой «степень превращения - время» гетерогенных процессов.
38. Термохимические методы исследования термодинамики твердофазных реакций.
39. Понятие о кинетических исследованиях с использованием неизотермических данных. Надежность результатов неизотермических измерений.
40. Термодинамические параметры твердофазных реакций. Правило Келли-Кубашевского.
41. Предподготовка образцов для твердофазных экспериментов. Влияние атмосферы (давление, состав), температуры, механического воздействия, облучения, легирования и др. на результаты твердофазного эксперимента.
42. Методы исследования термодинамики твердофазных реакций. Метод гетерогенных равновесий.
43. Физический смысл и расчет аррениусовских параметров для твердофазных реакций.
44. Отличительные признаки твердых тел. Основные типы химической связи, характерные для твердых тел (на примере простых и сложных соединений).
45. Понятие о изотермических/неизотермических методах исследования кинетики твердофазных реакций.
46. Методы исследования термодинамики твердофазных реакций. Метод электродвижущих сил на примере реакции взаимодействия оксида никеля и диоксида титана.
47. Алгоритм кинетического твердофазного исследования.
48. Сравнительный анализ кинетики гетерогенных и гомогенных процессов.
49. Дифференциальная сканирующая калориметрия.

50. Микроскопические методы исследования кинетики реакций с участием твердых тел.

51. Термогравиметрия, термогравиметрия по производной и их применение для изучения кинетики реакций с участием твердых тел.

ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ УО

Название учебной дисциплины, с которой требуется согласование	Название кафедры	Предложения об изменениях в содержании учебной программы учреждения высшего образования по учебной дисциплине	Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола)
Учебная дисциплина не требует согласования			

Заведующий кафедрой неорганической химии
член-корреспондент НАН Беларуси
доктор химических наук, профессор



Д.В.Свиридов

06.06.2025

ДОПОЛНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ К УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЕ УО

на ____/____ учебный год

№ п/п	Дополнения и изменения	Основание

Учебная программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры
_____ (протокол № ____ от _____ 202_ г.)

Заведующий кафедрой

УТВЕРЖДАЮ
Декан факультета
