

Программа утверждена на заседании
Ученого Совета факультета наук о
материалах МГУ имени М.В.Ломоносова
Протокол № 179 от 17 сентября 2015 г.

Рабочая программа дисциплины (модуля)

1. Наименование дисциплины (модуля): **Твердофазные превращения.**

Краткая аннотация: В лекциях рассмотрена термодинамика, кинетика и морфологические особенности процессов в твердых телах. Семинары посвящены решению задач по термодинамике и кинетике твердофазных процессов.

Цели и задачи освоения дисциплины.

Цель: Рассмотреть основные фундаментальные законы, управляющие превращениями в твердых телах; различные виды классификации твердофазных превращений и особенности термодинамики твердофазных превращений; движущие силы твердофазного превращения и его кинетку.

Задачи: Сформировать у слушателей определенный понятийный аппарат по кинетике и механизмам твердофазных превращений в рамках единой и общепринятой терминологии. Получить навыки практического анализа механизма и кинетики твердофазных реакций.

2. Уровень высшего образования – подготовка научно-педагогических кадров в аспирантуре

3. Направление подготовки: 04.06.01 Химические науки. Направленность (профиль) Неорганическая химия, Химия твердого тела

4. Место дисциплины (модуля) в структуре ООП: вариативная часть ООП, блок 1 «Дисциплины (модули)».

5. Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников)

Формируемые компетенции (код компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю)
УК-1 способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях;	З1 (УК-1) Знать: методы критического анализа и оценки современных научных достижений, а также методы генерирования новых идей при решении исследовательских и практических задач, связанных с исследованием твердофазных превращений
ОПК-1 способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с	У1 (ОПК-1) Уметь выбирать и применять в профессиональной деятельности основные закономерности протекания химических превращений в твердых телах

использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий	
ПК-1 Способность к самостоятельному проведению научно-исследовательской работы и получению научных результатов, удовлетворяющих установленным требованиям к содержанию диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук по направленности (научной специальности) 02.00.01 Неорганическая химия	31 (ПК-1, ПК-16) Знать особенности превращений в твердых телах; особенности термодинамики твердофазных превращений: роль поверхностной и упругой энергии
ПК-16 способность к самостоятельному проведению научно-исследовательской работы и получению научных результатов, удовлетворяющих установленным требованиям к содержанию диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук по направленности (научной специальности) 02.00.21 Химия твердого тела	У1 (ПК-1, ПК-16) Уметь использовать уравнения формальной кинетики в изотермических условиях; анализировать кинетику твердофазных реакций и превращений в неизотермических условиях
	В1 (ПК-1, ПК-16) Владеть эмпирическими и полуэмпирическими методами оценки термодинамических характеристик твердофазных реакций; методами кинетического анализа твердофазных реакций с различными лимитирующими стадиями.

6. Объем дисциплины (модуля) в зачетных единицах с указанием количества академических или астрономических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся: Объем дисциплины (модуля) составляет 3 зачетные единицы, всего 108 часов, из которых 24 часа составляет контактная работа аспиранта с преподавателем (20 часов занятия лекционного типа, 4 часа занятия семинарского типа и промежуточной аттестации), 84 часов составляет самостоятельная работа обучающегося.

7. Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия. В специалитете или бакалавриате и магистратуре должны быть освоены общие курсы: «Математический анализ», «Линейная алгебра», «Неорганическая химия», «Аналитическая химия», «Физическая химия», «Кристаллохимия».

8. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам.

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля), форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)	Всего (часы)	В том числе								
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы						Самостоятельная работа обучающегося, часы		
		из них						из них		
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Групповые консультации	Индивидуальные консультации	Учебные занятия, направленные на проведение текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации	Всего	Выполнение домашних заданий	Самостоятельная работа с научной и учебной литературой	Всего
Тема 1. Особенности превращений в твердых телах. Различные виды классификации твердофазных превращений. Особенности термодинамики твердофазных превращений: роль поверхностной и упругой энергии. Движущие силы твердофазного превращения. Образование твердых растворов при твердофазном взаимодействии. Методы теоретического предсказания их термодинамических свойств: некоторые элементы статистической физики (в применении к описанию термодинамических свойств твердых	9	2					2		7	7

тел). Правила изоморфизма Гольдшмидта. Идеальные и регулярные (строго регулярные) твердые растворы.										
Тема 2. Эмпирические и полуэмпирические методы оценки термодинамических характеристик твердофазных реакций. Подходы к расчету энергии ионных (теория Урусова), металлических и Ван-дер-Ваальсовых кристаллов. Эмпирические методы оценки термодинамических параметров, правило Келли - Кубашевского, методы Резницкого, Карапетьянца, структурной корреляции, их точность, области применимости и ограничения. Использование концепции ЖМКО для оценки термодинамических характеристик твердофазных реакций.	9	2	2				2		7	7
Тема 3. Закономерности зародышеобразования в твердофазных системах. Рост частиц твердой фазы. Критический размер зародыша растущей второй фазы, уравнение Фольмера, зародышеобразование на поверхности раздела фаз. Модели роста кристалла. Огранка кристалла, теорема Гиббса - Вульфа, РВС - теория. Зависимость скоростей зародышеобразования и роста частиц твердой фазы от пересыщения. Особенности зародышеобразования и роста	9	2					2		7	7

кристаллов при эвтектическом и эвтектоидном превращениях.										
Тема 4. Гомогенные фазовые превращения. Спинодальный распад твердого раствора. Термодинамические условия протекания спинодального распада. Химическая и когерентная спинодаль. Морфология продуктов спинодального распада. Кинетика спинодального распада, уравнение Кана.	9	2					2		7	7
Тема 5 Решение задач по термодинамике твердофазных превращений (включая процессы образования зародышей новой фазы)	9		2				2	4	3	7
Тема 6. Твердофазные реакции, лимитируемые диффузией. Основные закономерности диффузии. Механизмы диффузии в твердых телах. Теория Вагнера-Шмальцрида. Вывод квадратичного закона скорости слоя продукта. Локальные короткозамкнутые элементы. Внутренние реакции. Другие пути массопереноса в твердофазных реакциях.	9	2					2		7	7
Тема 7. Превращения без изменения состава. Классификация Бюргера, скорость превращений различных типов по этой классификации. Мартенситные превращения. Особенности кинетики, морфологии продуктов. Основы теории	9	2					2		7	7

кристаллогеометрии мартенситного превращения. Мартенситное превращение в системе Fe-C. Соотношения Бейна, Курдюмова - Закса. Термоупругое равновесие. Эффект памяти формы и деформирование материалов с мартенситным превращением. Трансформационное упрочнение в диоксиде циркония и его практическое использование. Изотермические мартенситные превращения, массивные превращения. Примеры бездиффузионных превращений в других системах.										
Тема 8. Кинетические модели твердофазных реакций с различными лимитирующими стадиями. Основные стадии топочимической реакции. Индукционный период. Модель Яндера. Уточнения модели Яндера: уравнения Гинстлинга - Броунштейна, Картера - Валенси, Вагнера. Модель «анти - Яндера» и ее уточнения. Учет образования твердых растворов: уравнения Дюнвальда - Вагнера и Журавлева - Лесохина - Темпельмана. Процессы, лимитируемые процессами на границе раздела фаз, уравнения сжимающихся сферы и цилиндра. Уравнение Аврами-Колмогорова-Ерофеева. Область применимости различных уравнений,	9	2					2		7	7

[illegible]

процессы, сопровождающие спекание: уплотнение, рекристаллизация, возврат, фазовые превращения. Основные стадии спекания. Элементарные акты спекания, припекание частиц (механизмы и кинетические модели, связь с усадкой). Закономерности рекристаллизации (первичная и вторичная рекристаллизация, рост зерен, движущая сила и кинетика процессов, характеристика микроструктуры керамики). Кинетика и механизм удаления пор. Сценарии взаимодействия рекристаллизации и уплотнения, влияние микроструктуры на характер спекания, построение карт спекания. Основные факторы, влияющие на процесс спекания порошкового тела. Роль примесей.	9	2					2		7	7
Тема 12. Промежуточная аттестация <i>зачет</i>	9		1			1	2	4	3	7
Итого	108	20	3			1	24	8	80	84

8. Образовательные технологии

Проводятся традиционные лекции с использованием мультимедийных презентаций; и семинарские занятия, направление на разбор решений типичных задач. Материал лекций составлен на основе базовых и новейших мировых научных результатов, в том числе результатов исследований, проведенных авторами программы дисциплины.

9. Учебно-методические материалы для самостоятельной работы по дисциплине (модулю): Аспирантам предоставляется программа курса, указывается материал в источниках из списков основной и вспомогательной литературы, а также из интернет-ресурсов.

10. Ресурсное обеспечение:

Аудитория, проектор, доска, мел или фломастер.

Самостоятельная работа аспирантов обеспечивается доступом к базам данных и основным поисковым системам, и полнотекстовым статьям в отечественных и зарубежных журналах.

Перечень основной и вспомогательной учебной литературы ко всему курсу

Основная литература

1. А.В. Кнотько, И.А. Пресняков, Ю.Д. Третьяков. Химия твердого тела. М., «Академия», 2006.
2. Ю.Д. Третьяков, Х. Лепис. Химия и технология твердофазных материалов. М., МГУ, 1985. (будет заменена книгой: Ю.Д. Третьяков, В.И. Путляев. Введение в химию твердофазных материалов. М., МГУ, 2006 - по выходу ее из печати).
3. Г.С. Жданов, А.Г. Хунджуа. Лекции по физике твердого тела. М., МГУ, 1988.
4. Н. Хенней. Химия твердого тела. М., "Мир", 1971

Дополнительная литература

1. В.И. Путляев, И.Э. Грабой. Элементы химии твердого тела. М., Химический ф-т и ФНМ МГУ, 2002.
2. В.С. Урусов. Теория изоморфной смесимости. М., "Наука", 1977. (к лекции 2)
3. А.А. Чернов, Е.И. Гиваргизов, Х.С. Багдасаров, Л.Н. Демьянец, В.А. Кузнецов, А.Н. Лобачев. Современная кристаллография. Т. 3. Образование кристаллов. М. "Наука", 1980. (к лекции 3)
4. К. Сангвал. Травление кристаллов (теория, эксперимент, применение). М., "Мир", 1990. (к лекции 3)
5. Р.К. Мозберг. Материаловедение. М., "Высшая школа", 1991. (к лекции 6)
6. Я.Е. Гегузин. Физика спекания. М., «Наука», 1984. (к лекции 10)
7. У.Д. Кингери. Введение в керамику. М., «Стройиздат», 1964. (к лекции 10)

11. Язык преподавания – русский

12. Преподаватели: Кнотько Александр Валерьевич, д.х.н., проф., knotko@inorg.chem.msu.ru

13. Фонды оценочных средств, необходимые для оценки результатов обучения

1. Планируемые результаты обучения для формирования компетенций п.5 и соответствующие им критерии оценивания приведены в Приложении 1. 2.

Образцы оценочных средств для текущего контроля усвоения материала и промежуточной аттестации - зачета.

• Образцы контрольных вопросов к зачету:

Вопросы к зачету:

1. Вклад поверхностной и упругой энергии в термодинамику твердофазного превращения.
2. Сформулируйте правило «максимальной полярности» для оценки направления протекания твердофазной реакции.
3. Габитус кристалла в условиях термодинамического и кинетического контроля.
4. Химическая и когерентная спинодали.
5. Объясните эффект «памяти формы» в рамках концепции термоупругого равновесия.
6. Выведите уравнение Яндера и уравнение сжимающейся сферы. Какие предпосылки лежат в их основе?
7. Как определить температуру стеклования?
8. Фундаментальные закономерности спекания, лежащие в основе получения оптически прозрачной корундовой керамики.
9. Область применения уравнения Аврами-Колмогорова-Ерофеева.
10. Природа компенсационного эффекта. Смысл величины энергии активации твердофазной реакции.

Приложение 1. Оценочные средства для промежуточной аттестации по дисциплине «Методы колебательной спектроскопии для исследования функциональных материалов» на основе карт компетенций выпускников

РЕЗУЛЬТАТ ОБУЧЕНИЯ по дисциплине (модулю)						
	1	2	3	4	5	
З1 (УК-1) Знать: методы критического анализа и оценки современных научных достижений, а также методы генерирования новых идей при решении исследовательских и практических задач, связанных с исследованием твердофазных превращений	Отсутствие знаний	Фрагментарные знания в области твердофазных превращений	Общие, но не структурированные знания в области твердофазных превращений	Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания в области твердофазных превращений	Сформированные систематические знания в области твердофазных превращений	зачет в письменной форме
У1 (ОПК-1) Уметь выбирать и применять в профессиональной деятельности основные закономерности протекания химических	Отсутствие умений	Частично освоенное умение в выборе и применении основных закономерностей протекания химических превращений в твердых телах	В целом успешно, но не систематически осуществляемое умения в выборе и применении основных закономерностей протекания	В целом успешно, но содержащие отдельные пробелы умения в выборе и применении основных закономерностей протекания химических	Сформированное умение в выборе и применении основных закономерностей протекания химических превращений в твердых телах	решение предложенных задач

превращений в твердых телах			химических превращений в твердых телах	превращений в твердых телах		
31 (ПК-1, ПК-16) Знать особенности превращений в твердых телах; особенности термодинамики твердофазных превращений: роль поверхностной и упругой энергии	Отсутствие знаний	Фрагментарные представления об особенностях превращений в твердых телах; особенностях термодинамики твердофазных превращений: роли поверхностной и упругой энергии	Неполные представления об особенностях превращений в твердых телах; особенностях термодинамики твердофазных превращений: роли поверхностной и упругой энергии	Сформированные, но содержащие отдельные пробелы представления об особенностях превращений в твердых телах; особенностях термодинамики твердофазных превращений: роли поверхностной и упругой энергии	Сформированное систематические представления об особенностях превращений в твердых телах; особенностях термодинамики твердофазных превращений: роли поверхностной и упругой энергии	зачет в письменной форме
У1 (ПК-1, ПК-16) Уметь использовать уравнения формальной кинетики в изотермических условиях; анализировать кинетику твердофазных реакций и превращений в неизотермических условиях	Отсутствие умений	Интуитивный и не всегда верный выбор методов анализа кинетики твердофазных превращений	Допускает отдельные ошибки при выборе методов анализа кинетики твердофазных превращений	Выбирает правильные методы анализа кинетики твердофазных превращений, но затрудняется предложить научное обоснование своего выбора	Умеет правильно выбрать и обосновывать методы анализа кинетики твердофазных превращений	решение предложенных задач
В1 (ПК-1, ПК-16) Владеть эмпирическими и полуэмпирическими методами оценки термодинамических	Отсутствие владения	Владеет эмпирическими и полуэмпирическими методами оценки термодинамических характеристик	Аргументирует выбор эмпирических и полуэмпирических методов оценки термодинамических	Аргументировано выбирает эмпирические и полуэмпирические методы оценки термодинамических	Грамотно и аргументировано выбирает эмпирические и полуэмпирические методы оценки	решение предложенных задач, зачет в письменной форме

характеристик твёрдофазных реакций; методами кинетического анализа твёрдофазных реакций с различными лимитирующими стадиями		твёрдофазных реакций; методами кинетического анализа твёрдофазных реакций с различными лимитирующими стадиями, но для исследования конкретного объекта выбирает их наобум	характеристик твёрдофазных реакций; методов кинетического анализа твёрдофазных реакций с различными лимитирующими стадиями, но учитывает только немногие факторы	характеристик твёрдофазных реакций; методы кинетического анализа твёрдофазных реакций с различными лимитирующими стадиями, но некоторые факторы не учитывает	термодинамических характеристик твёрдофазных реакций; методы кинетического анализа твёрдофазных реакций с различными лимитирующими стадиями	
--	--	--	---	---	--	--