

**Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет  
им. Н.И. Лобачевского»**

Химический

(факультет / институт / филиал)

УТВЕРЖДЕНО  
решением ученого совета ННГУ  
протокол от  
«16» июня 2021 г. № 8

**Рабочая программа дисциплины**

**Термодинамика и кинетика твердофазных реакций**

(наименование дисциплины (модуля))

Уровень высшего образования

**специалитет**

(бакалавриат / магистратура / специалитет)

Направление подготовки / специальность

**04.05.01 Фундаментальная и прикладная химия**

(указывается код и наименование направления подготовки / специальности)

Направленность образовательной программы

**Неорганическая химия**

(указывается профиль / магистерская программа / специализация)

Форма обучения

**очная**

(очная / очно-заочная / заочная)

Нижний Новгород

2021 год

## Лист актуализации

---

---

### Визирование РПД для исполнения в очередном учебном году

Председатель МК

04 июня 2021 г.

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для  
исполнения в 20\_\_-20\_\_ учебном году на заседании кафедры

---

Протокол от \_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_  
Зав. кафедрой \_\_\_\_\_

---

---

### Визирование РПД для исполнения в очередном учебном году

Председатель МК

\_\_\_\_ 20\_\_ г.

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для  
исполнения в 20\_\_-20\_\_ учебном году на заседании кафедры

---

Протокол от \_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_  
Зав. кафедрой \_\_\_\_\_

---

---

### Визирование РПД для исполнения в очередном учебном году

Председатель МК

\_\_\_\_ 20\_\_ г.

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для  
исполнения в 20\_\_-20\_\_ учебном году на заседании кафедры

---

Протокол от \_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_  
Зав. кафедрой \_\_\_\_\_

---

---

### Визирование РПД для исполнения в очередном учебном году

Председатель МК

\_\_\_\_ 20\_\_ г.

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для  
исполнения в 20\_\_-20\_\_ учебном году на заседании кафедры

---

Протокол от \_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_  
Зав. кафедрой \_\_\_\_\_

## 1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина «Термодинамика и кинетика твердофазных реакций» относится к части, формируемой участниками образовательных отношений, является дисциплиной по выбору (Б1.В.03.ДВ.05.03) для освоения студентами очной формы обучения на пятом году обучения в девятом семестре.

Для освоения дисциплины студенты используют знания, умения и виды деятельности, сформированные в процессе изучения дисциплин «Неорганическая химия», «Кристаллохимия», «Физическая химия», «Математика», «Информатика», «Материаловедение», «Физические методы исследования», «Избранные главы химии твердого тела».

## 2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства
	Индикатор достижения компетенции* (код, содержание индикатора)	Результаты обучения по дисциплине**	
<b>ПК-1-н.</b> Способен планировать работу и выбирать адекватные методы решения научно-исследовательских задач в области неорганической химии, и/или смежных с химией наук	<b>ПК-1-н-1.</b> Составляет общий план исследования и детальные планы отдельных стадий	<i>Знать:</i> теоретические основы экспериментальных методов химической термодинамики и кинетики, их цели и задачи, возможности; <i>Уметь:</i> составлять алгоритм эксперимента на основе имеющихся знаний о свойствах веществ; <i>Владеть:</i> базовыми навыками проведения эксперимента	Устный опрос, выполнение лабораторных работ
	<b>ПК-1-н-2.</b> Выбирает экспериментальные и расчетно-теоретические методы решения поставленной задачи исходя из имеющихся материальных и временных ресурсов	<i>Знать:</i> основные понятия химической термодинамики и кинетики, теоретические приближения, используемые при решении термодинамических и кинетических задач в применении к твердым телам и процессам с их участием; <i>Уметь:</i> сравнивать и выделять достоинства и недостатки современных термодинамических и кинетических методов, их погрешности, определять их области применения; <i>Владеть:</i> базовыми навыками	Контрольная работа, устный опрос, экзамен

		обработки экспериментальных данных, расчета основных величин, и постановки эксперимента.	
<b>ПК-2-н.</b>  Способен проводить информационные исследования в области неорганической химии и/или смежных с химией науках.	<b>ПК-2-н-1.</b> Проводит поиск специализированной информации в информационных базах данных	<i>Знать:</i> какие базы данных существуют, как они устроены; <i>Уметь:</i> проводить поиск стандартных термодинамических функций в базах данных; <i>Владеть:</i> базовыми навыками поиска	Контрольная работа, устный доклад
	<b>ПК-2-н-2.</b> Анализирует и обобщает результаты информационного поиска по тематике проекта в области неорганической химии и/или смежных с химией науках	<i>Знать:</i> основные цели и задачи проекта; <i>Уметь:</i> определять ключевые слова для поиска информации, отличить наиболее значимые публикации из общего массива данных, выделить из них научно-значимый результат; <i>Владеть:</i> базовыми навыками поиска	Устный доклад, экзамен
<b>ПК-3-н.</b>  Способен на основе критического анализа результатов НИР оценивать перспективы их практического применения и продолжения работ в области неорганической химии и/или смежных с химией науках.	<b>ПК-3-н-1.</b> Систематизирует информацию, полученную в ходе НИР, анализирует ее и сопоставляет с литературными данными	<i>Знать:</i> основные цели и задачи проекта <i>Уметь:</i> сравнивать цели эксперимента и полученные результаты НИР и литературные данные; <i>Владеть:</i> базовыми навыками систематизации результатов эксперимента	Устный доклад, выполнение лабораторных работ
	<b>ПК-3-н-2.</b> Определяет возможные направления развития работ и перспективы практического применения полученных результатов	<i>Знать:</i> основные тенденции развития термодинамики и кинетики твердофазных процессов; <i>Уметь:</i> выделить научно значимый результат из проведенного НИР, а также практическое приложение полученных данных; <i>Владеть:</i> базовыми навыками анализа, а также широким научным кругозором.	Устный доклад, экзамен
<b>ПК-1-о.</b> Способен организовывать работу коллектива по решению задач НИР в области неорганической химии, готовить нормативную и	<b>ПК-1-о-1.</b> Планирует и организует работу коллектива в рамках научных и научно-технических проектов	<i>Знать:</i> основные цели и задачи проекта <i>Уметь:</i> распределить работу внутри коллектива исходя из индивидуальных особенностей его членов	Выполнение лабораторных работ
	<b>ПК-1-о-2.</b> Осуществляет оперативный контроль за выполнением работ и состоянием рабочих мест	<i>Владеть:</i> базовыми навыками выполнения эксперимента	

отчетную документацию.	<b>ПК-1-о-3.</b> Анализирует результаты деятельности коллектива и вносит предложения по ее совершенствованию	<i>Уметь:</i> выделить научно значимый результат из проведенного НИР <i>Владеть:</i> методами критического анализа и генерации новаторских предложений	
	<b>ПК-1-о-4.</b> Разрабатывает, внедряет и осуществляет меры контроля за соблюдением подчиненными работниками производственной дисциплины, выполнением трудовых функций, регламентов, эксплуатационных инструкций	<i>Владеть:</i> навыками трудовой дисциплины	
	<b>ПК-1-о-5.</b> Организует обучение подчиненных работников безопасным приемам и методам труда	<i>Знать:</i> основы техники безопасности при работе с химическими веществами, с электрооборудованием, пожарной и радиационной безопасности.	

### 3. Структура и содержание дисциплины

#### 3.1 Трудоемкость дисциплины

	очная форма обучения
<b>Общая трудоемкость</b>	<b>9 ЗЕТ</b>
<b>Часов по учебному плану</b>	<b>324</b>
<b>в том числе</b>	
<b>аудиторные занятия (контактная работа):</b>	
- занятия лекционного типа	<b>64</b>
- занятия лабораторного типа	<b>96</b>
- занятия семинарского типа	<b>96</b>
- контроль самостоятельной и иной формы работы студентов	<b>2</b>
<b>самостоятельная работа</b>	<b>30</b>
<b>Промежуточная аттестация – экзамен (контроль)</b>	<b>36</b>

#### 3.2. Содержание дисциплины

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины	Всего (часы)	в том числе				
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них				Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Занятия лабораторного типа	Всего	
Раздел 1. Основные понятия и методы изучения кинетики твердофазных реакций	47	10		32	42	5
Раздел 2. Кинетические модели и уравнения изотермической кинетики	48	12		32	44	4
Раздел 3. Активное состояние реагентов и его роль в твердофазных процессах	47	10		32	42	5
Раздел 4. Оценка направленности твердофазной реакции в конкретных термодинамических условиях	22	2	16		18	4
Раздел 5. Метод ЭДС	42	10	26		38*	4
Раздел 6. Методы гетерогенных равновесий	42	10	28		38	4
Раздел 7. Термохимические методы	40	10	26		36	4
Всего	288	64	96	96	258	30
Контроль	36					
Итого	324					

\*-с учетом КСРПФ 2 часа

Текущий контроль успеваемости реализуется в рамках занятий семинарского и лабораторного типа, групповых или индивидуальных консультаций

Промежуточная аттестация проходит в форме экзамена

### 3.2.1. Содержание разделов дисциплины

1. Задачи химической кинетики. Основные понятия. Особенности процессов в гетерогенных системах. Твердофазные реакции – основа получения материалов, изучения их свойств, применения. Типы реакций с участием твердых фаз. Общие кинетические закономерности реакций в гетерогенных системах. Лимитирующая стадия: химический акт, диффузия. Формирование поверхности раздела. Реакции, протекание которых лимитирует химический акт. Роль диффузионных явлений и условий эксперимента
2. Описание процессов превращения твердых веществ. Кинетическая кривая сигмоидной формы (примеры). Эмпирическая скорость реакции. Период индукции и возникновение

зародышей новой поверхности. Развитие процессов на поверхности раздела. Основные параметры. Образование реакционной поверхности (зародышеобразование). Продвижение реакционной поверхности.

3. Активное состояние реагентов и его роль в твердофазных процессах. Способы оценки активного состояния: интегральные и дифференциальные, прямые и косвенные. Активирование твердофазных реагентов. Использование приемов активирования при синтезе новых материалов, в т.ч. на кафедре химии твердого тела.
4. Термодинамическая оценка возможности твердофазного взаимодействия. Расчет функций Гиббса с использованием баз данных термодинамических величин для различных типов реакций с участием твердых веществ. Анализ энтальпийного и энтропийного вкладов для реакций с участием газов (газообразный продукт или газообразный исходный реагент), перитектических реакций, твердофазных реакций (реакции образования и реакции обмена).
5. Метод ЭДС с твердым электролитом. Физико-химические основы метода, типы твердых электролитов, основные требования к электродам, электролиту и конструкции ячейки, достоинства и недостатки метода, принципиальная схема эксперимента. Работа с экспериментальными данными из современной научной литературы и расчет функций Гиббса реакций.
6. Методы гетерогенных равновесий. Основные сведения и тензиметрические методы, их различия по условиям образования пара, способу измерения давления пара, величине измеряемого давления. Схемы отдельных приборов и/или экспериментальных установок. Масс-спектрометрический эффузионный метод Кнудсена. Транспирационная масс-спектрометрия. Теоретические основы, приборные и физико-химические факторы, определяющие точность, принципиальные схемы реализации, современные подходы и особенности высокотемпературных масс-спектральных экспериментов, примеры организации термодинамического эксперимента для изучения стабильности, условий синтеза и эксплуатации некоторых материалов современной техники.
7. Термохимические методы. Методы калориметрии: компенсационные методы и методы, основанные на измерении разности температур. Режимы калориметрических измерений: изотермический, изопериболический, адиабатический, сканирующий. Экспериментальные результаты калориметрических измерений и их обработка, примеры расчетов в калориметрии. Классификация калориметров. Принципиальные схемы и возможности применения калориметров фазового перехода, калориметров с термоэлектрической компенсацией, калориметров, основанных на измерении разности температур во времени, калориметров, основанных на измерении локальной разности температур. Критерии выбора типа калориметра для конкретных исследовательских задач.

### **3.2.2. Лабораторный практикум**

1. Синтез твердых материалов со структурой перовскита (раздел 1);
2. Изучение механизма реакции синтеза твердых растворов на основе сложных оксидов цезия и магния методами термического анализа и рентгенографии (раздел 1);
3. Изучение кинетики формирования порошковых образцов со структурами флюорита и монацита (раздел 1);
4. Синтез вольфраматов редкоземельных и щелочно-земельных элементов из расплавов хлоридов щелочных элементов (раздел 2);
5. Определение лимитирующей стадии процесса обжига сульфидов железа и цинка (раздел 2);

6. Механическое активирование твердых реагентов с использованием мелющего оборудования (метод нисходящего образования наносистем) (раздел 3).

#### 4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа студентов включает работу в читальном зале библиотеки, в учебных кабинетах (лабораториях) и в домашних условиях, с доступом к ресурсам Интернет для подготовки к устным ответам и контрольным работам.

К формам текущего контроля успеваемости по дисциплине относятся:

- Еженедельный устный опрос;
- Контрольные работы по темам «Оценка возможности твердофазного взаимодействия в конкретных термодинамических условиях» и «Метод ЭДС с твердым электролитом»;
- Выполнение лабораторных работ и устные доклады по темам лабораторных работ (доклад представляется от малой группы);

Промежуточная аттестация по итогам освоения дисциплины проходит в форме зачета и экзамена.

Для получения зачета студенту необходимо активно участвовать в еженедельных опросах, написать контрольные работы не менее чем на оценку «удовлетворительно», выполнить лабораторные работы и сделать устный доклад по их результатам.

Контрольные вопросы и задания для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведены в п. 6.2.

#### 5. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине (модулю), включающий:

##### 5.1. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине

Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)	Шкала оценивания сформированности компетенций						
	плохо	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	очень хорошо	отлично	превосходно
	Не зачтено		зачтено				
<u>Знания</u>	Отсутствие знаний теоретического материала.  Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки.	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок.	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.
<u>Умения</u>	Отсутствие	При решении	Продемон-	Продемон-	Продемон-	Продемон-	Продемон-



	минимальных умений . Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа	стандартных задач не продемонстрированы основные умения.  Имели место грубые ошибки.	стрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания но не в полном объеме.	стрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	стрированы все основные умения. Решены все основные задачи . Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	стрированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельными несущественным недочетами, выполнены все задания в полном объеме.	стрированы все основные умения,. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов
<u>Навыки</u>	Отсутствие владения материалом. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки.  Имели место грубые ошибки.	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами	Продемонстрированы базовые навыки  при решении стандартных задач с некоторыми недочетами	Продемонстрированы базовые навыки  при решении стандартных задач без ошибок и недочетов.	Продемонстрированы навыки  при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов.	Продемонстрирован творческий подход к решению нестандартных задач

### Шкала оценки при промежуточной аттестации

Оценка	Уровень подготовки
Превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно»
Отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «отлично»
Очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «очень хорошо»
Хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «хорошо»
Удовлетворительно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне

	«удовлетворительно»
Неудовлетворительно	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо»
Плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

## 6.2. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения.

### 6.2.1 Контрольные вопросы

Вопрос	Код компетенции
1. Что такое скорость и удельная скорость реакций?	ПК-1-н
2. Аналитические методы и способы их применения в кинетических исследованиях	ПК-3-н
3. Роль площади поверхности и размера частиц в гетерогенных реакциях с участием твердых веществ	ПК-3-н
4. Поверхность раздела. Фронт реакции. Факторы, влияющие на его формирование	ПК-1-н
5. Две группы кинетических кривых. Примеры реакций	ПК-1-н
6. Эмпирическая скорость реакции	ПК-1-н
7. Зародышеобразование и продвижение поверхности	ПК-1-н
8. Зародышеобразование, термодинамический аспект. Изменение свободной энергии. Энергия активации зародышеобразования	ПК-1-н
9. Зародышеобразование при конденсации пара. Критический размер капли. Факторы, определяющие его величину	ПК-1-н
10. Скорость реакции как функция концентрации критических зародышей	ПК-1-н
11. Зародышеобразование в химической реакции. Два типа – с одинаковой вероятностью и с учетом потенциальных зародышей	ПК-1-н
12. Факторы, влияющие на зародышеобразование	ПК-1-н
13. Скорость продвижения поверхности. Константа скорости. Геометрическое определение. Средняя удельная скорость на поверхности раздела.	ПК-1-н
14. Факторы, определяющие скорость на поверхности раздела	ПК-1-н
15. Развитие реакционной поверхности. Зародышеобразование и продвижение поверхности. Роль фактора формы. Скорость роста зародыша в зависимости от времени	ПК-1-н
16. Период индукции истинный и мнимый, положительный и отрицательный	ПК-1-н
17. Активное состояние твердого реагента	ПК-2-н
18. Принцип ориентационного и размерного соответствия. Теория пересыщения по Рогинскому. 4 типа пересыщений	ПК-1-н
19. Способ приготовления и активность твердого тела. Примеры	ПК-2-н
20. Способы оценки активного состояния. Интегральные и дифференциальные	ПК-1-н
21. Способы активирования твердых тел	ПК-2-н

22. Получение наноразмерных порошков: диспергационные (нисходящее нанопроизводство) и конденсационные (восходящее нанопроизводство) методы	ПК-2-н
23. Диспергационные методы. Механическое дробление, ультразвуковое диспергирование, механохимический синтез, разложение солей и гидроксидов	ПК-2-н
24. Конденсационные методы. Растворные методы, конденсация из газовой фазы	ПК-2-н
25. Как оценить возможность твердофазного взаимодействия с точки зрения термодинамики? Какие данные необходимы для расчета? Покажите алгоритм расчета в общем виде.	ПК-2-н
26. Как можно классифицировать экспериментальные методы изучения термодинамики твердофазных реакций?	ПК-1-н
27. Физико-химические основы метода ЭДС с твердым электролитом.	ПК-1-н
28. Каковы основные требования к электродам, электролиту и конструкции ячейки в методе ЭДС?	ПК-1-н
29. Какие тензиметрические методы Вам известны и на чем они основаны?	ПК-1-н
30. Каковы теоретические основы масс-спектрометрического эффузионного метода Кнудсена?	ПК-1-н
31. Опишите принципиальную схему реализации транспирационного масс-спектрометрического метода.	ПК-2-н
32. Приведите классификацию термохимических методов.	ПК-1-н
33. Чем отличаются друг от друга изотермический, изопериболический, адиабатический, сканирующий режимы термохимических измерений?	ПК-1-н
34. Нарисуйте принципиальную схему калориметра с термоэлектрической компенсацией и поясните принцип работы таких калориметров.	ПК-1-н
35. Какие критерии выбора типа калориметра для конкретных исследовательских задач Вы можете предложить?	ПК-1-н

### 6.2.3. Типовые задания/задачи для оценки сформированности компетенции ПК-1-н

**Задача 1.** Для изучения твердофазной реакции  $\text{NiO} + \text{TiO}_2 \rightarrow \text{NiTiO}_3$  удобно использовать гальваническую цепь вида:



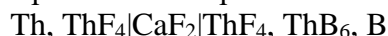
Определите направление переноса ионов  $\text{O}^{2-}$ , запишите уравнения процессов на левом и правом электродах, а также суммарную потенциалообразующую реакцию. Рассчитайте  $\Delta_r G^\circ(T)$ ,  $\Delta_r H^\circ(T)$ ,  $\Delta_r S^\circ(T)$  указанной реакции, если экспериментально наблюдаемая температурная зависимость ЭДС ячейки в температурном интервале 1200-1500 К аппроксимируется зависимостью  $E = 132,2 - 0,076 \cdot T$  (мВ).

**Задача 2.** Для изучения реакции  $\text{CaO} + \text{SiO}_2 \rightarrow \text{CaSiO}_3$  используют обратимую электрохимическую цепь:



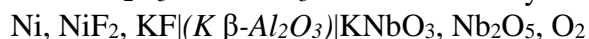
Определите направление переноса фтор-ионов, запишите уравнения процессов на левом и правом электродах.

**Задача 3.** Рассмотрите возможность применения обратимой электрохимической цепи:



для изучения реакции:  $\text{Th} + 6\text{B} \rightarrow \text{ThB}_6$

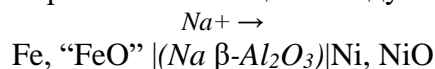
**Задача 4.** Реакция  $\frac{1}{2} \text{K}_2\text{O} + \frac{1}{2} \text{Nb}_2\text{O}_5 \rightarrow \text{KNbO}_3$  может быть изучена в ячейке



В качестве катион-проводящего твердого электролита используется полиалюминат калия ( $\text{K}_2\text{O} \cdot n\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $5 \leq n \leq 9$ ) – соединение со структурой  $\beta$ -глинозема. Для удобства эксперимента

левый электрод задан смесью (Ni+NiF<sub>2</sub>+KF). Обоснуйте направление переноса ионов калия в ячейке. Запишите уравнения процессов, протекающих на электродах, а также потенциалообразующую реакцию. Выразите связь между  $\Delta_r G^\circ(T)$  целевой реакции, измеряемой ЭДС ячейки и функциями Гиббса соответствующих реагентов.

**Задача 5.** Каким образом реакцию обмена типа:  $\text{NiO} + \text{Fe} \rightarrow \text{Ni} + \text{“FeO”}$  можно изучить в обратимой электрохимической цепи следующего вида:



## 7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) основная литература:

1. Третьяков Ю.Д., Путляев В.И. Введение в химию твердофазных материалов. М.:Изд.МГУ:Наука. 2006.400с.(серия Классический университетский учебник);
2. Мелихов И.В. Физико-химическая эволюция твердого вещества. М. БИНОМ. Лаборатория знаний. 2009. 309 с.
3. Хеммингер В., Хене Г. Калориметрия. Теория и практика: Пер. с англ. М.: Химия. 1990. 176с;
4. Карапетьянц М. Х. Химическая термодинамика. М.: Химия, 1975. 583 с.

б) дополнительная литература:

1. Барре П. Кинетика гетерогенных процессов. М. Мир. 1976.
2. Розовский А.Я. Гетерогенные химические реакции: кинетика и макрокинетика. М. Наука.1980.
3. Научные основы нанотехнологий и новые приборы. Учебник-монография. Под ред. Р. Келсала, А. Хамли, М. Геогегана. Долгопрудный: Издательский Дом «Интеллект». 2011. 528 с
4. Кальвэ Э., Прат А. Микрокалориметрия: применение в физической химии и биологии. М.: Изд-во иностр.лит.1963.477с.
5. Урусов В.С. Энергетическая кристаллохимия. М., «Наука». 1975. 333 с.
6. Пармон В.Н. Термодинамика неравновесных процессов для химиков. С приложением к химической кинетике, катализу, материаловедению, биологии. ИД Интеллект. 2015. 472 с.
7. Navrotsky A. Calorimetry of nanoparticles, surfaces, interfaces, thin films, and multilayers. // J. Chem.Therm.2007.V.39.P.2-9.
8. Столярова В.Л. Масс-спектральные термодинамические исследования оксидных систем и материалов. // Успехи химии.2016. Т.85.№1. С.60-80.

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы (в соответствии с содержанием дисциплины)

База данных термических констант веществ ТКВ 2, созданная МГУ (открытый доступ)

[www.chem.msu.ru/cgi-bin/tkv.pl](http://www.chem.msu.ru/cgi-bin/tkv.pl)

Учебно-методическая литература для данной дисциплины имеется в наличии в электронно-библиотечной системе "ZNANIUM.COM", доступ к которой предоставлен студентам. ЭБС "ZNANIUM.COM" содержит произведения крупнейших российских учёных, руководителей государственных органов, преподавателей ведущих вузов страны, высококвалифицированных специалистов в различных сферах бизнеса. Фонд библиотеки сформирован с учетом всех изменений образовательных стандартов и включает учебники, учебные пособия, монографии, авторефераты, диссертации, энциклопедии, словари и справочники, законодательно-нормативные документы, специальные периодические издания и издания, выпускаемые издательствами вузов. В настоящее время ЭБС ZNANIUM.COM соответствует всем требованиям федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования (ФГОС) нового поколения.

Учебно-методическая литература для данной дисциплины может быть найдена в электронно-библиотечной системе Издательства "Лань", доступ к которой также предоставлен студентам. ЭБС Издательства "Лань" включает в себя электронные версии книг издательства "Лань" и других ведущих издательств учебной литературы, а также электронные версии периодических изданий по естественным, техническим и гуманитарным наукам. ЭБС Издательства "Лань" обеспечивает доступ к научной, учебной литературе и научным периодическим изданиям по максимальному количеству профильных направлений.

## 8. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Помещения представляют собой учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных программой, оснащенные оборудованием и техническими средствами обучения: (140, 148 ауд, 2 корпус). Материально-техническое обеспечение лекционных занятий: видеопроектор, ноутбук, переносной экран, проектор, доска, бумага формата А0, фломастеры.

Для обучения студентов названной дисциплине имеются в наличии специальные кабинеты с необходимым лабораторным оборудованием (ауд. 137, 141, 143, 148, 2 корпус). Материально-техническое обеспечение лабораторного практикума - лаборатория нефтехимического синтеза, оснащенная оборудованием: вытяжные шкафы; химическая посуда общего и специального назначения; магнитные мешалки; сушильные шкафы; муфельные печи; дистиллятор; технические и аналитические весы; набор химических реактивов; мельница планетарная; рентгеновский дифрактометр.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечены доступом в электронную информационно-образовательную среду

<b>Наименование специальных* помещений и помещений для самостоятельной работы</b>	<b>Оснащенность специальных помещений и помещений для самостоятельной работы</b>	<b>Перечень лицензионного программного обеспечения. Реквизиты подтверждающего документа</b>
Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа пр. Гагарина, 23, корп. 2, ауд. 140	Комплект специализированной мебели; технические средства: мультимедийный проектор Benq MP610, ноутбук Acer Aspire 5315-301G08, переносной проекционный экран DRAPER DIPLOMAT 60x60 MW Black-Case, имеется выход в Интернет	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Microsoft Windows XP Professional Russian Upgrade Academic Open No Level, Лицензия № 15988873, дата выдачи 15.01.2003 г.</li> <li>• Microsoft Office 2007 Russian Academic Open No Level Лицензия № 43178981, дата выдачи 12.12.2007 г.</li> </ul>

Программа составлена в соответствии с требованиями ОС ВО ННГУ. Приказ ННГУ от 13.05.2020г. № 275-ОД «О введении в действие образовательного стандарта высшего образования – специалитет по специальности 04.05.01 «Фундаментальная и прикладная химия»

Авторы:

д.х.н., профессор \_\_\_\_\_ Орлова А.И.

к.х.н., доцент \_\_\_\_\_ Корытцева А.К.

Рецензент:

Д.х.н., профессор \_\_\_\_\_ Маркин А.В.

Заведующий кафедрой химии твердого тела,

д.х.н., профессор \_\_\_\_\_ Сулейманов Е.В.