



## Содержание

стр.

- 1 Цели и задачи дисциплины.
- 2 Место дисциплины в структуре ООП
- 3 Требования к результатам освоения дисциплины
- 4 Объем дисциплины и виды учебной работы
- 5 Содержание дисциплины.
  - 5.1 Содержание разделов и тем дисциплины
  - 5.2 Разделы дисциплины и междисциплинарные связи с последующими дисциплинами
  - 5.3 Разделы и темы дисциплин и виды занятий
  - 5.4 Перечень семинарских, практических занятий и лабораторных работ
- 6 Примерная тематика рефератов (при наличии)
- 7 Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля):
  - а) основная литература;
  - б) дополнительная литература;
  - в) программное обеспечение;
  - г) интернет-ресурсы, базы данных, информационно-справочные и поисковые системы
- 8 Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля).
- 9 Образовательные технологии
- 10 Фонды оценочных средств для проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации
  - 10.1 Оценочные средства текущего контроля
  - 10.2 Оценочные средства для промежуточной аттестации

## 1. Цели и задачи дисциплины:

**Цель** - формирование у аспирантов направленности «Физическая химия» целостного представления о развитии химии как науки в целом, ее современных достижениях и проблемах в области физической химии.

**Задачи** – ознакомление обучающихся с современными проблемами в различных областях физической химии для формирования у специалиста профессиональных компетенций и навыков в важнейших направлениях развития физической химии, в подходе к планированию, осуществлению эксперимента и анализа результатов исследования.

## 2. Место дисциплины в структуре ООП:

Дисциплина «Физическая химия» включена в обязательные дисциплины вариативной части учебного плана (Б1.В.ОД.5) программы аспирантуры.

## 3. Требования к результатам освоения дисциплины

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

ПК-1, ПК-4, ОПК-3, 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 (УК-1);
- готовность к преподавательской деятельности по основным образовательным программам высшего образования (ОПК-3).
- уметь собирать и анализировать научную литературу с целью выбора направления исследования и самостоятельно составлять план исследования в рамках выбранного направления подготовки (ПК-1);
- знать основные приемы и методы получения веществ, методы их идентификации, определения структуры и свойств с помощью уникального и серийного научного оборудования (ПК-4).

В результате изучения дисциплины аспирант должен:

**Знать:**

- - фундаментальные основы и современные тенденции развития физической химии: принципы оптимизации и экстремальности в химической термодинамике, нелинейную термодинамику систем далеких от равновесия, кинетические модели самоорганизации химических систем, основные положения теории стационарных реакций Хориути-Темкина; координационно-химические основы металлокомплексного катализа, механизмы реальных каталитических процессов;
- - методы критического анализа и оценки современных научных достижений в различных разделах физической химии.

**Уметь:**

- - обсуждать теоретические и практические проблемы современной физической химии; находить подходы к решению фундаментальных и прикладных задач физической химии: анализировать альтернативные варианты решения

исследовательских и практических задач и оценивать потенциальные выигрыши/проигрыши реализации этих вариантов; анализировать разнородные литературные источники, выявлять общие закономерности и отличительные особенности;

- - осуществлять отбор материала и использовать оптимальные методы его изложения; применять полученные знания и навыки при выполнении выпускных квалификационных работ и в будущей профессиональной деятельности

***Владеть:***

- - фундаментальными основами и современными тенденциями развития физической химии,
- - навыками целенаправленного сбора научной информации, в том числе с использованием современных информационных технологий, критического анализа разнородных литературных источников и оценки современных научных достижений в различных областях физической химии; их применения при решении профессиональных задач;
- - технологией проектирования образовательного процесса в области физической химии на уровне высшего образования.

#### 4. Объем дисциплины и виды учебной работы

Вид учебной работы	Всего часов / зачетных единиц		Курс			
			4			
	очное	заочное	очное	заочное		
<b>Аудиторные занятия (всего)</b>	32/0.9	16/0.44	32/0.9	16/0.44		
В том числе:	-		-			
Лекции	16/0.44	8/0.22	16/0.44	8/0.22		
Практические занятия (ПЗ)	16/0.44	8/0.22	16/0.44	8/0.22		
<b>Контактная работа (всего)</b>	32/0.9	16/0.44	32/0.9	16/0.44		
<b>Самостоятельная работа (всего)</b>	184/5.1	200/5.56	184/5.1	200/5.56		
В том числе:	-		-			
Реферат (при наличии)						
Контактная работа						
Вид промежуточной аттестации: экзамен	36 /1	36/1	36 /1	36/1		
Общая трудоемкость	часы	252	252	252	252	
	зачетные единицы	7	7	7	7	

## 5. Содержание дисциплины

### 5.1. Содержание разделов и тем дисциплины

№	Наименование раздела	Содержание раздела дисциплины
1.	Введение	Предмет и задачи физической химии. Исторические вехи в развитии физической химии как самостоятельного научного направления. Основные разделы физической химии. Проникновение физической химии в смежные науки и влияние на их развитии. Методы физической химии.
2.	Термодинамика необратимых процессов	Принципы оптимизации и экстремальности в химической термодинамике. Термодинамические потенциалы и принципы экстремумов. Модели конечных и экстремальных промежуточных состояний. Линейные феноменологические соотношения и их применение к химическим процессам. Неравновесные стационарные состояния. Теорема о минимуме производства энтропии. Изменение производства энтропии во времени и устойчивость стационарного состояния. Нелинейная термодинамика систем далеких от равновесия. Устойчивость неравновесных стационарных состояний. Диссипативные структуры. Синергетика. Условия проявления самоорганизации в системах и примеры процессов самоорганизации. Кинетические модели самоорганизации химических систем: модели Лотки, Вольтерра и «брюсселятора». Примеры колебательных химических реакций: реакция разложения перекиси водорода (реакция Брея-Либавсан) и окисления малоновой кислоты (реакция Белоусова – Жаботинского). Самоорганизация в наноразмерных системах. Структуры Тьюринга и распространяющиеся волны. Оптимизация в термодинамике необратимых процессов. Оптимальные термодинамические циклы. Оптимизация процессов разделения. Оптимизация обратимых, параллельных и последовательных реакций. (УК-1, ПК-1, ПК-4, ОПК-3)
3.	Основные положения теории стационарных реакций Хориути-Темкина	Теоретические критерии квазистационарности концентраций промежуточных соединений и квазиравновесия стадий. Методы теории графов в химической кинетике и в теории механизмов сложных реакций. Основные постулаты, законы и принципы отбора элементарных стадий сложных реакций. Энергетические, квантово-химические и топологические правила отбора. (УК-1, ПК-1, ПК-4)
4.	Металлокомплексный катализ	Многомаршрутные механизмы металлокомплексных каталитических реакций. Сопряженные процессы: классический подход, кинетическое и термодинамическое сопряжение в последовательных и в цепных реакциях. Исследование механизмов каталитических реакций <i>in situ</i> и с применением <i>operando</i> спектроскопии. Координационно-химические аспекты металлокомплексного катализа. Реакции координированных лигандов: замещение, миграция и внедрение лигандов, перенос электрона, комплексообразование и активация малых молекул (водород, кислород, азот, алкены, алкины, алканы, оксид углерода, серы). Механизмы окислительного присоединения: кинетика реакции, нуклеофильная атака атома металла, трехцентровый механизм, радикальные механизмы. Механизмы восстановительного элиминирования. Механизмы реакций внедрения и миграции алкенов, алкинов и монооксида углерода в координационной сфере металлов. (УК-1, ПК-1, ПК-4,

		ОПК-3)
5.	Механизмы каталитических процессов	Классификация механизмов реальных каталитических процессов. Катализ на металлах: реакции гидрирования азота и ненасыщенных органических соединений. Экспериментальные методы изучения поверхности металлов и адсорбции на них. Катализ на оксидах переходных металлов и каталитическое окисление простых молекул. Парциальное и глубокое окисление органических соединений молекулярным кислородом. (УК-1, ПК-1, ПК-4)

## 5.2. Разделы дисциплины и междисциплинарные связи с последующими дисциплинами

Дисциплина является основой для выполнения квалификационных работ аспирантов, необходима в будущей практической деятельности выпускников.

## 5.3. Разделы и темы дисциплин и виды занятий

№ п/п	Наименование раздела	Наименование темы	Виды занятий в часах			
			Лекции	Практические занятия	Самостоятельная работа	Всего
1.	Введение	Предмет и задачи физической химии	2/1	-	4/4	6/5
2.	Термодинамика необратимых процессов	Принципы оптимизации и экстремальности в химической термодинамике. Линейные феноменологические соотношения и их применение к химическим процессам	2/1	2/1	30/34	34/36
3.	Термодинамика необратимых процессов	Нелинейная термодинамика систем далеких от равновесия	2/1	2/1	30/34	34/36
4.	Основные положения теории стационарных реакций Хориути-Темкина	Методы теории графов в химической кинетике и в теории механизмов сложных	2/1	2/1	30/34	34/36

		реакций.				
5.	Основные положения теории стационарных реакций Хориути-Темкина	Основные постулаты, законы и энергетические, квантово-химические и топологические правила отбора элементарных стадий сложных реакций.	2/1	2/1	30/34	34/36
6.	Металлокомплексный катализ	Координационно-химические аспекты металлокомплексного катализа. Механизмы функционирования металлокомплексных катализаторов в реакциях превращения ненасыщенных субстратов	4/2	4/2	30/30	38/34
7.	Механизмы каталитических процессов	Механизмы гетерогенных каталитических процессов	2/1	4/2	30/30	36/33

#### 5.4. Перечень семинарских, практических занятий и лабораторных работ

№ п/п	№ раздела и темы дисциплины (модуля)	Наименование семинаров, практических и лабораторных работ	Трудовое время (часы)	Оценочные средства	Формируемые компетенции
1	2	3	4	5	6
1.	Термодинамика необратимых	Принципы оптимизации и экстремальности в химической термодинамике. Линейные	2/1	Устная беседа	УК-1, ПК-1, ПК-4, ОПК-3

	процессов	феноменологические соотношения и их применение к химическим процессам			
2.	Термодинамика необратимых процессов	Нелинейная термодинамика систем далеких от равновесия	2/1	Устная беседа, конспект подготовленной лекции по теме «Колебательные реакции»	УК-1, ПК-1, ПК-4, ОПК-3
3.	Основные положения теории стационарных реакций Хориути-Темкина	Методы теории графов в химической кинетике и в теории механизмов сложных реакций.	2/1	Устная беседа, ПЗ: конспект лекции по теме «Новые кинетические подходы исследования механизмов сложных реакций»	УК-1, ПК-1, ПК-4
4	Основные положения теории стационарных реакций Хориути-Темкина	Основные постулаты, законы и энергетические, квантово-химические и топологические правила отбора элементарных стадий сложных реакций.	2/1	Устная беседа, ПЗ: конспект лекции по теме «Новые кинетические подходы исследования механизмов сложных реакций»	УК-1, ПК-1, ПК-4
5.	Металлокомплексный катализ	Координационно-химические аспекты металлокомплексного катализа. Механизмы функционирования металлокомплексных катализаторов в реакциях превращения ненасыщенных субстратов	4/2	Устная беседа, ПЗ: подготовить презентацию по современным методам и подходам исследования механизмов функционирования металлоком	УК-1, ПК-1, ПК-4, ОПК-3

				плексных катализаторов	
6	Механизмы каталитических процессов	Механизмы гетерогенных каталитических процессов	4/2	Устная беседа, ПЗ: презентация по современным подходам изучения механизмов химических реакций, катализируемых нанокластерами металлов или оксидами металлов	УК-1, ПК-1, ПК-4

### План самостоятельной работы студентов

№ нед.	Тема	Вид самостоятельной работы	Задание	Рекомендуемая литература	Количество часов
1	2	3	4	5	6
1	Предмет и задачи физической химии	Закрепление теоретического материала данной теме. Написание реферата.	Осуществить поиск и отбор материала, проанализировать разнородные литературные источники, сформулировать актуальные научные проблемы в области физической химии.	См. № 1-4 из списка основной и № 5-7 из списка дополнит. рекомендуемой литературы. Самостоятельный поиск литературы для подготовки реферата.	4/4
2, 3	Принципы оптимизации и экстремальности в химической термодинамике. Линейные	Закрепление теоретического материала данной теме.	См. вопросы 1-5 ОС (п. 11.3)	См. № 4 из списка основной и № 5,6, 8 из списка дополнит. рекомендуемой литературы.	34/36

	феноменологические соотношения и их применение к химическим процессам				
4	Нелинейная термодинамика систем далеких от равновесия	Закрепление теоретического материала данной теме. Подготовка конспекта лекции	См. вопросы 6-9 ОС (п. 11.2) Осуществить поиск и отбор материала по теме «Колебательные реакции», проанализировать разнородные литературные источники, предоставить конспект в форме лекции	См. № 4 из списка основной и № 5, 6, 8 из списка дополнит. рекомендуемой литературы.	34/36
5	Методы теории графов в химической кинетике и в теории механизмов сложных реакций.	Закрепление теоретического материала данной теме	См. вопросы 10-13 ОС (п. 11.3)	См. № 1-4 из списка основной и № 5-8 из дополнит. рекомендуемой литературы.	34/36
6, 7	Основные постулаты, законы и энергетические, квантово-химические и топологические правила отбора элементарных стадий сложных реакций	Закрепление теоретического материала данной теме	См. вопросы 10-14 ОС (п. 11.3) Осуществить поиск и отбор материала по теме «Кинетические методы исследования механизмов сложных реакций», проанализировать разнородные	См. № 2-4 из списка основной и № 5-8 из списка дополнит. рекомендуемой литературы.	34/36

			литературные источники, предоставить конспект в форме лекции.		
8-10	Координационно-химические аспекты металлокомплексного катализа. Механизмы функционирования металлокомплексных катализаторов в реакциях превращения ненасыщенных субстратов	Закрепление теоретического материала данной теме. Подготовить презентацию	См. вопросы 15 ОС (п. 11.3). Осуществить поиск и отбор материала по теме «Современные подходы к исследованию механизмов химических реакций, катализируемых комплексами переходных металлов, металлами или оксидами металлов», проанализировать разнородные литературные источники, предоставить конспект в форме презентации	См. № 2 из списка основной и № 6, 9 из списка дополнит. рекомендуемой литературы.	38/34
11, 12	Механизмы гетерогенных каталитических процессов	Закрепление теоретического материала данной теме. Подготовить презентацию.	См. вопросы 16 ОС (п. 11.3) «Современные подходы к исследованию механизмов химических реакций, катализируемых комплексами переходных	См. № 2 из списка основной и № 5 из списка дополнит. рекомендуемой литературы.	36/33

			металлов, металлами или оксидами металлов», проанализировать разнородные литературные источники, предоставить конспект в форме презентации		
--	--	--	--	--	--

**6. Примерная тематика рефератов, докладов, проектов (при наличии); перечень вопросов к зачетам, экзаменам и т.п.:**

**7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины:**

*а) основная литература:*

1. Стромберг, А. Г. Физическая химия [Текст] : учеб. для студ. вузов, обуч. по хим. спец. / А.Г. Стромберг, Д.П. Семченко. - 4-е изд., испр. - М. : Высш. шк., 2001. - 527 с. : ил ; 25 см. - Библиогр.: с.511-515. - Предм.указ.: с.516-522. - ISBN 5060036278. : 29 экз.
2. Шмидт, Ф. К. Основы катализа: координационно-химические, физико-химические и кинетические аспекты [Текст] : учеб. пособие / Ф. К. Шмидт, Л. Б. Белых ; Иркутский гос. ун-т, Хим. фак. - Иркутск : Изд-во ИГУ, 2011. - 437 с. ; 20 см. - Библиогр.: с. 434-437. : 20 экз.
3. Курохтина, А.А. Метод конкурирующих реакций в исследованиях механизмов каталитических процессов: традиционные и новые способы применения [Текст] : учеб. пособие / А. А. Курохтина, А. Ф. Шмидт ; Иркутский гос. ун-т, Хим. фак. - Иркутск : Изд-во ИГУ, 2012. - 93 с. ; 20 см. - Библиогр.: с. 83-93. - ISBN 978-5-9624-0667-1 : 13 экз.
4. Марков, Ю. Г. Математические модели химических реакций [Электронный ресурс] / Ю. Г. Марков. - Москва : Лань, 2013. - Режим доступа: [http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_cid=25&pl1\\_id=30200](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=30200). - Режим доступа: ЭБС "Издательство "Лань". - Неогранич. доступ. - ISBN 978-5-8114-1483-3 :

*б) дополнительная литература:*

5. Чоркендорф, Иб. Современный катализ и химическая кинетика [Текст] : научное издание / И. Чоркендорф, Х. Наймантсведрайт ; пер. с англ. В. И. Ролдугин. - [2-е изд.]. - Долгопрудный : Интеллект, 2010. - 501 с. : ил. ; 25 см. - ISBN 978-5-91559-044-0. : 2 экз.

6. Темкин, О. Н. Гомогенный металлокомплексный катализ. Кинетические аспекты / О. Н. Темкин. - М. : Академкнига, 2008. - 918 с. : ил. ; 24 см. - Библиогр. в конце глав. - ISBN 978-5-94628-336-6. : 1 экз.
7. Практическая химическая кинетика. Химическая кинетика в задачах с решениями : учеб. пособие / ред. М. Я. Мельников. - М. : Изд-во МГУ ; СПб. : Изд-во СПбГУ, 2006. - 591 с. : ил. ; 22 см. - Библиогр. в конце глав. - Библиогр.: с. 591. - ISBN 5-211-05233-1. - ISBN 5-288-04155-5 : 2 экз.
8. Пригожин, И. Р. Химическая термодинамика [Текст] : пер. с англ. / И. Р. Пригожин, Р. Дефэй ; ред. В. А. Михайлов. - 2-е изд. - М. : Бином. Лаборатория знаний, 2009. - 533 с. : ил. ; 24 см. - (Классика и современность: естествознание). - Библиогр.: с. 475-476. - Указ.: с. 518-533. - Пер. изд. : Chemical thermodynamics / Иуа Prigogine, R. Defay. - London, 1954. - ISBN 978-5-9963-0201-7. : 1 экз.
9. Ткач, В.С. Катализаторы на основе комплексов переходных металлов: актуальные проблемы и примеры их эффективного решения [Текст] : учеб. пособие / В. С. Ткач, Д. С. Суслов ; Иркутский гос. ун-т, Хим. фак. - Иркутск : Изд-во ИГУ, 2011. - 148 с. : граф., портр. ; 21 см. - Библиогр. в конце разд. . : 11 экз.
10. Шмидт, Ф.К. Методы синергетики в физической химии (самоорганизация химических систем) [Текст] : учеб.пособие для студ.,обуч.по спец.011000-Химия и по напр.515000-Химия / Ф.К. Шмидт ; М-во образования РФ,Гос.образовательное учреждение высш. проф. образования; Иркут.гос.ун-т. - Иркутск : Изд-во ИГУ, 2003. - 192 с. ; 21 см. всего 2
11. Эмануэль, Н.М. Химическая и биологическая кинетика [Текст] : избр. труды: В 2 т. / Н. М. Эмануэль ; сост. Е. Б. Бурлакова, Г. Е. Заиков, ред. С. Д. Варфоломеев ; Рос. акад. наук. ; Ин-т биохим. физики им. Н.Н. Эмануэля. - М. : Наука, 2005 - . - 24 см. - (Избранные труды). - ISBN 5-02-034493-1. Т.1. - 2005. - 667 с. - ISBN 5-02-034499-0 : 2 экз.
12. Пурмаль, А. П. А, Б, В... химической кинетики [Текст] : учеб. пособие для студ. хим. фак. ун-тов, обуч. по спец. 011000 "Химия" и напр. 510500 "Химия" / А.П. Пурмаль. - М. : Академкнига, 2004. - 277 с. : ил ; 22 см. - Библиогр.: с. 8. - ISBN 5-94628-116-X. 4 экз.

в) программное обеспечение

г) базы данных, информационно-справочные и поисковые системы:

1. <http://www.msu.ru/libraries/>
2. <http://www.chem.msu.ru/rus/teaching/phys.html>
3. [Химическая кинетика и катализ \(часть 1 и часть 2\)](#) (лекции)
4. [Сборник задач по химической кинетике](#)
5. [Кинетика химических реакций](#)
6. [Задачи по физической химии. Часть II. Химическая кинетика. Электрохимия](#)
7. <http://www.exponenta.ru/educat/systemat/tarasevich/default.asp>
8. <http://www.toehelp.ru/theory/informat/lecture13.html>
9. <http://www.toehelp.ru/theory/informat/lecture10.html>
10. <http://it.kgsu.ru/MSExcel/>
11. <http://alglib.sources.ru>
12. <http://library.isu.ru/ru> (электронный каталог и библиографические базы данных ИГУ)
13. <https://isu.bibliotech.ru/> (Электронный читальный зал «БиблиоТех»)
14. <http://rucont.ru> (Электронная библиотечная система «РУКОНТ»; межотраслевая научная библиотека, содержащая оцифрованные книги, периодические издания и отдельные статьи по всем отраслям знаний, а также аудио-, видео-, мультимедиа софт и многое другое)
15. <http://elibrary.ru/> (Научная электронная библиотека ELIBRARY.RU: научные полные тексты статей из журналов свободного доступа)
16. <http://www.scopus.com> (реферативная база данных, которая индексирует более 21 тыс. наименований научно-технических и медицинских журналов примерно 5 тыс. международных издательств по всем областям наук; Информационное письмо ГПНТБ от 23.07.14 г. : результаты открытого конкурса на доступ к полнотекстовым электронным ресурсам, проводимого ГПНТБ и Минобрнауки России)
17. <http://pubs.acs.org/>

## **8. Материально-техническое обеспечение дисциплины:**

Помещения для проведения лекционных занятий, укомплектованные необходимым оборудованием, а именно: аудитории 5, 303, 402, 423, 426, оснащенные мультимедийными проекторами (InFocus IN 105 (3D Ready)), настенными экранами, ноутбуками Samsung NP 300T5A-A0FRU.

## **9. Образовательные технологии:**

В процессе изучения дисциплины используются как традиционные, так и инновационные формы обучения: технология объяснительно-иллюстративных объяснений с элементами проблемного изложения, технология профессионально-ориентированного обучения, лекции, объяснительно-иллюстративный метод с элементами проблемного изложения, разбор конкретных ситуаций, решение ситуационных задач.

## **10. Фонды оценочных средств для проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации**

### 10.1 Оценочные средства текущего контроля:

Назначение оценочных средств ТК - выявить сформированность у обучающихся компетенций: УК-1, ОКП-3, ПК-1, ПК-4.

Для проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации разработаны ОС, которые включают самостоятельную работу аспиранта с учебной и научной литературой по предложенным темам. Текущий контроль осуществляется в виде ситуационных задач.

### Материалы для проведения текущего и промежуточного контроля знаний студентов:

№ п\п	Вид контроля	Контролируемые темы (разделы)	Компетенции, компоненты которых контролируются
1			
2			
3			

См. *ФОС УМКД*.

### 10.2. Оценочные средства для промежуточной аттестации:

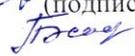
Промежуточная аттестация (*экзамен*) может проводиться в форме устного собеседования или в виде тестовых заданий с открытыми вопросами.

### Примерный список вопросов к экзамену

1. Принципы оптимизации и экстремальности в химической термодинамике.
2. Термодинамические потенциалы и принципы экстремумов.
3. Термодинамика необратимых процессов. Линейные феноменологические соотношения и их применение к химическим процессам.
4. Неравновесные стационарные состояния. Теорема о минимуме производства энтропии.
5. Диссипативные структуры. Синергетика.
6. Кинетические модели самоорганизации химических систем.
7. Самоорганизация в наноразмерных системах.
8. Оптимизация в термодинамике необратимых процессов.
9. Оптимизация обратимых, параллельных и последовательных реакций.
10. Основные положения теории стационарных реакций Хориути-Темкина.
11. Методы теории графов в химической кинетике и в теории механизмов сложных реакций.
12. Основные постулаты, законы и принципы отбора элементарных стадий сложных реакций.
13. Сопряженные процессы: классический подход, кинетическое и термодинамическое сопряжение в последовательных и в цепных реакциях.
14. Исследование механизмов каталитических реакций *in situ* и с применением *operando* спектроскопии.
15. Координационно-химические аспекты металлокомплексного катализа.

16. Катализ на металлах и оксидах металлов.

Разработчики:

  
\_\_\_\_\_  
(подпись)  


д-р хим. наук, профессор,  
д-р хим. наук, профессор

Ф.К. Шмидт  
Л.Б. Белых

Программа рассмотрена на заседании кафедры физической и коллоидной химии  
«07» 06 2019 г.

Протокол № 11 Зав. кафедрой  /Шмидт А.Ф./