

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова»
Химический факультет

УТВЕРЖДАЮ

Декан химического факультета,
акад. РАН, профессор



/В.В. Лунин/

«27» февраля 2017 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Избранные главы физической химии: феноменологические подходы

Уровень высшего образования:

Специалитет

Направление подготовки (специальность):

04.05.01 Фундаментальная и прикладная химия

Направленность (профиль) ОПОП:

Физическая химия

Форма обучения:

очная

Рабочая программа рассмотрена и одобрена
Учебно-методической комиссией факультета
(протокол №1 от 27.01.2017)

Москва 2017

Рабочая программа дисциплины разработана в соответствии с самостоятельно установленным МГУ образовательным стандартом (ОС МГУ) для реализуемых основных профессиональных образовательных программ высшего образования по направлению подготовки / специальности 04.05.01 «Фундаментальная и прикладная химия» (программа специалитета), утвержденного приказом МГУ от 22 июля 2011 года № 729 (в редакции приказов МГУ от 22 ноября 2011 года № 1066, от 21 декабря 2011 года № 1228, от 30 декабря 2011 года № 1289, от 27 апреля 2012 года № 303, от 30 декабря 2016 года № 1671).

Год (годы) приема на обучение

2014/2015, 2015/2016, 2016/2017, 2017/2018, 2018/2019

1. Наименование дисциплины (модуля) **Избранные главы физической химии: феноменологические подходы**
2. Уровень высшего образования – **специалитет.**
3. Направление подготовки: **04.05.01 Фундаментальная и прикладная химия.**
4. Место дисциплины (модуля) в структуре ООП: вариативная часть ООП, блок ПД.
5. Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников)

Компетенция	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю)
<p>ОПК-1.С. Способность решать современные проблемы фундаментальной и прикладной химии, используя методологию научного подхода и систему фундаментальных химических понятий и законов</p>	<p>Уметь анализировать научную литературу с целью выбора направления и методов, применяемых в исследовании по теме выпускной квалификационной работы, Уметь: самостоятельно составлять план исследования Владеть навыками поиска, критического анализа, обобщения и систематизации научной информации, постановки целей исследования и выбора оптимальных путей и методов их достижения</p>
<p>СПК-1.С. Способность использовать теоретические основы современных физико-химических методов исследования и анализа систем различной природы при решении практических задач</p>	<p>Знать: основы современных теорий гетерогенного катализа Знать: основные характеристики гетерогенных катализаторов и гетерогенно-каталитических процессов Знать: основные механизмы реакций в присутствии гетерогенных катализаторов Знать: принципы построения макрокинетических моделей, описывающих изменения концентрации вещества во времени и в пространстве в химических реакторах и массообменных колоннах. Знать: принципы построения макрокинетических моделей переноса энергии и импульса в пространстве. Знать: типы краевых условий при построении макрокинетических моделей химических процессов с переносом вещества в пространстве. Уметь: объяснять причины и механизмы каталитического действия для каталитических систем различных типов Уметь: построить математические модели химического процесса с переносом вещества в пространстве для конкретных процессов – каталитических, сорбционных и ректификационных. Владеть: представлениями о способах физико-химического исследования каталитических систем различных типов</p>

	<p>Владеть: знаниями о закономерностях протекания каталитических, сорбционных и ректификационных процессов в проточных аппаратах.</p>
<p>СПК-2.С. Способность проводить экспериментальные исследования в избранной области физической химии (кинетика и катализ, химическая термодинамика, молекулярная спектроскопия, химия поверхности)</p>	<p>Знать: основные мировые достижения в области гетерогенного катализа Знать: принципы проведения промышленных химических процессов в проточных аппаратах. Уметь: компетентно ориентироваться в основных направлениях гетерогенного катализа и типах катализаторов Уметь: компетентно ориентироваться в информации о макрокинетическом моделировании химических процессов. Владеть: навыками обсуждения явления катализа с точки зрения современных подходов к описанию механизмов каталитических реакций и данных физико-химических методов Владеть: целостной системой знаний о промышленно-важных каталитических реакциях и гетерогенно-каталитических системах, применяемых для их проведения Владеть: навыками обсуждения условий и закономерностей протекания химических процессов с переносом в пространстве. Владеть: целостной системой знаний о проведении промышленно-важных химических процессов с переносом в пространстве.</p>
<p>СПК-3.С. Способность использовать серийные и оригинальные установки (приборы, комплексы) для определения физико-химических свойств веществ</p>	<p>Знать: научные основы и принципы работы физико-химических методов, применяемых для исследований гетерогенных катализаторов Уметь: квалифицированно выбирать методы для определения активности и физико-химических характеристик гетерогенных катализаторов Владеть: навыками обработки и научного обсуждения результатов физико-химических исследований гетерогенных катализаторов</p>
<p>СПК-4.С. Способность использовать физические и математические модели с учетом их возможностей и ограничений при обработке и интерпретации экспериментальных данных в избранной области физической химии</p>	<p>Знать: научные основы причин каталитического действия гетерогенных катализаторов Знать: научные основы термодинамики, кинетики и макрокинетики Уметь: применять основные законы химии для обсуждения свойств и характеристик гетерогенно-каталитических систем. Уметь: применять основные законы термодинамики и кинетики химических процессов для макрокинетического описания химических процессов с переносом вещества и энергии в пространстве..</p>

	<p>Владеть: навыками анализа взаимосвязи между структурными, текстурными, химическими свойствами гетерогенных катализаторов и механизмами каталитических реакций</p> <p>Владеть: навыками анализа взаимосвязи между закономерностями термодинамики и феноменологической кинетики с одной стороны и закономерностями макрокинетики химических процессов.</p>
<p>СПК-5.С. Способность проводить квантовохимические, термодинамические и кинетические расчеты с использованием современных программных комплексов и баз данных</p>	<p>Знать: основные законы химии, которые лежат в основе каталитических процессов и физико-химических исследований гетерогенных катализаторов.</p> <p>Знать: основные законы химии, которые лежат в основе макрокинетического описания химических процессов с переносом вещества и энергии в пространстве.</p> <p>Уметь: анализировать механизмы основных промышленно-важных каталитических, сорбционных, ректификационных и других процессов с применением основных законов химии.</p> <p>Владеть: навыками компетентного анализа механизмов гетерогенно-каталитических реакций, протекающих в присутствии металлосодержащих и оксидных катализаторов электронного и кислотно-основного катализа</p>

6. Объем дисциплины 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 4 зачетных единицы, всего 144 часа, из которых 80 часов составляет контактная работа студента с преподавателем (36 часов занятия лекционного типа, 36 часа – занятия семинарского типа, 4 часа – групповые консультации, 4 часа – промежуточный контроль успеваемости), 64 часа составляет самостоятельная работа студента.

7. Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия.

Обучающийся должен

Знать: основы теории фундаментальных разделов химии; основные законы химической термодинамики и химической кинетики. Место и роль каталитических реакций в химической науке; понимать необходимость развития и разработки промышленно-важных химических реакций

Уметь: обобщать и систематизировать химические проблемы и понятия, теоретический материал; применять ранее усвоенный материал для решения новых задач

Владеть: навыками сбора, обработки, анализа и систематизации информации, выделения областей применимости законов и принципов, излагаемых в основных разделах химии

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 из них						Самостоятельная работа обучающегося, часы 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	Подготовка рефератов и т.п.	Всего
Тема 1-1. Феноменология катализа. Общие принципы катализа. Основные характеристики каталитического процесса. Современные тенденции в развитии гетерогенного катализа.	6	2	2				4	2		2
Тема 1-2. Роль адсорбции в гетерогенном катализе.	12	4	4				8	4		4

Адсорбционные методы в изучении механизмов гетерогенно-каталитических реакций. Катализатор в реакционной среде. Физико-химические методы в изучении свойств гетерогенных каталитических систем. Макрокинетические аспекты гетерогенного катализа										
Тема 1-3. Катализ металлами. Особенности наноразмерных частиц в катализе. Гидрирование и дегидрирование. Синтез Фишера-Тропша. Получение синтез-газа. Дезактивация катализаторов.	10	4	4				8	2		2
Тема 1-4. Кислотно-основной катализ. Бифункциональный катализ. Каталитические процессы в нефтепереработке и нефтехимии.	12	4	4				8	4		4
Тема 1-5. Каталитическое окисление. Процессы экологического катализа. Каталитическая очистка отработавших газов. Промышленные катализаторы.	14	4	4	2			10	4		4
Тема 2-1. Введение в химическую макрокинетику. Представления о роли переноса массы вещества, энергии и импульса в химических технологических и иных процессах. История возникновения макрокинетики как научной	2	1	1				2			

дисциплины.										
Тема 2-2. Уравнения эволюции неравновесной системы во времени и в пространстве. Уравнения баланса вещества в многокомпонентной неравновесной системе, баланса энергии и баланса импульса.	11	4	4				8	3		3
Тема 2-3. Процессы в неподвижных средах (диффузионная кинетика). Математическое описание диффузионного переноса вещества.	11	4	4				8	3		3
Тема 2-4. Макроскопические модели переноса вещества в гомогенных системах и в гетерогенных системах с диспергированными фазами с движущимися потоками.	30	9	9	2			20	10		10
Промежуточная аттестация <i>экзамен</i>	36					4	4		32	32
Итого	144	36	36	4		4	80	32	32	64

9. Образовательные технологии:

- применение компьютерных симуляторов, обработка данных на компьютерах, использование компьютерных программ, управляющих приборами;
- использование средств дистанционного сопровождения учебного процесса;
- преподавание дисциплин в форме авторских курсов по программам, составленным на основе результатов исследований научных школ МГУ.

10. Учебно-методические материалы для самостоятельной работы по дисциплине (модулю):

программа курса, план занятий и перечень заданий для самостоятельной работы. По теме каждой лекции указывается материал в источниках из списков основной и вспомогательной литературы, а также из интернет-ресурсов.

11. Ресурсное обеспечение:

Перечень основной и вспомогательной учебной литературы ко всему курсу

Основная литература

1. Чоркендорф И., Наймантсведрайт Х. «Современный катализ и химическая кинетика», ISBN: 978-5-91559-044-0. Издательство: Интеллект, 2010 г., 501 стр.
2. Романовский Б.В. Основы катализа. М.: Бинوم. Лаборатория знаний, 2015. – 172 с.
3. Вудраф Д., Делчар Т.. Современные методы исследования поверхности, М., Мир, 1989
4. Фенелонов В.Б. Введение в физическую химию формирования супрамолекулярной структуры адсорбентов и катализаторов", Новосибирск, Изд-во УрО РАН, 2004.
5. Крылов О.В. Гетерогенный катализ, М., Академкнига, 2004.
6. Сетерфилд Ч. Практический курс гетерогенного катализа. М.: Мир, 1984.
7. Сафонов М.С. Избранные главы химической технологии. Дифференциальные уравнения сохранения массы, импульса и энергии. Учебное пособие для студентов и аспирантов университетов РФ. Химический факультет МГУ. Москва 2001 г. 65 с.
8. Хейфец Л.И., Зеленко В.Л. Химическая технология: Теоретические основы. Москва: изд. центр Академия. 2015 г. 464 с.

Дополнительная литература

По теме 1

1. O. Levenspiel Chemical Reaction Engineering, John Wiley & Sons, 1999, 688 p.
2. Handbook of Heterogeneous Catalysis, (G.Ertl, H.Knozinger and J.Weitkamp, Eds.), VCH Publ., 1997.
3. Экспериментальные методы исследования катализа (ред. Р.Андерсон), М., Мир, 1972
4. Thomas J.M., Thomas W. J. Principles and Practice of Heterogeneous Catalysis» Wiley-VCH, 1996
5. Киперман С.Л. Основы химической кинетики в гетерогенном катализе, М., Химия, 1979.
6. Farrauto R.J., Bartholomew C.H. Fundamentals of Industrial Catalytic Processes, Blackie Acad.&Profes., 1997.
7. D.Murzin. Engineering Catalysis. De Gruyter textbook. 2013. 364 p.
8. База данных NIST <http://www.nist.gov>

По теме 2

1. Берлин А.А. Макрокинетика. // Соросовский образовательный журнал. 1998. №3. С. 48-54.
2. Пригожин И., Кондепуди Д. Современная термодинамика. От тепловых двигателей до диссипативных структур. Москва: изд. Мир. 2002 г. 461 с. Гл. 15.
3. Воробьев А.Х. Диффузионные задачи в химической кинетике. Москва: изд. МГУ 2003 г. 98 с.
(<http://www.chem.msu.su/rus/teaching/vorobev1/welcome.html>)
4. Thiele E W. Relation between Catalytic Activity and Size of Particle”// *Industrial and Engineering Chemistry*, 31, 916 (1939).
5. Зельдович Я.Б. К теории реакции на пористом или порошкообразном материале. Ж. физ. химии. 1939, 13(2): 163-168.
6. Crank J. The mathematics of diffusion. Second edition, 1975. Clarendon Press: Oxford. 1975.
7. Boyd G.E. , Adamson A.W. , Myers L.S. . The Exchange Adsorption of Ions from Aqueous Solutions by Organic Zeolites. II. Kinetics. // J. Am. Chem. Soc. 1947. V. 69. No. 11. P. 2836-2848.
8. Glueckauf E. Theory of chromatography. 9. The “theoretical plate” concept in column separations // Trans. Faraday Soc. 1955. V.34. P.34–44.

12. Язык преподавания – русский

13. Преподаватели:

1. с.н.с., д.х.н. Иванов Владимир Александрович, кафедра физической химии химического факультета МГУ, ivanov@physch.chem.msu.su, 8-495-939-34-59
2. в.н.с., д.х.н. Локтева Екатерина Сергеевна, кафедра физической химии химического факультета МГУ, e.lokteva@rambler.ru, 8-495-939-33-37
3. доцент, к.х.н. Голубина Елена Владимировна, кафедра физической химии химического факультета МГУ, golubina@kge.msu.ru, +7 (495) 939-3337

Фонды оценочных средств, необходимые для оценки результатов обучения

Образцы оценочных средств для текущего контроля усвоения материала и промежуточной аттестации - экзамена. На экзамене проверяется достижение промежуточных индикаторов компетенций, перечисленных в п.5.

Вопросы для экзамена**К теме 1**

1. Определения катализа. Термодинамический и кинетический аспект действия катализаторов. Катализ с точки зрения теории активированного комплекса.
2. Ранние теории катализа. Теория промежуточных соединений. Теория активных центров Тейлора. Основные характеристики катализаторов: активность, селективность, стабильность, TOF. Каталитический цикл. Компоненты гетерогенного катализатора и их функции.
3. Катализ металлами. Мультиплетная теория Баландина. Связь химического строения с каталитической активностью. Правило Борескова.
4. Роль электронного строения в проявлении каталитических свойств. Химические промоторы.
5. Структурная чувствительность каталитических реакций. Изменение каталитических свойств с размером частиц.
6. Полифункциональные катализаторы. Использование явления спилловера для повышения активности катализаторов. Эффект сильного взаимодействия металл-носитель.
7. Взаимодействие между металлом и носителем. Реструктуризация поверхности. Формы наночастиц металла на носителе в зависимости от соотношений поверхностной свободной энергии. Сильное взаимодействие металл-носитель.
7. Определение площади удельной поверхности твердых тел. Классификация изотерм полимолекулярной адсорбции. Типы пор и вид изотермы адсорбции-десорбции. Капиллярная конденсация.
8. Учет адсорбции при исследовании кинетики гетерогенно-каталитических реакций. Кинетика реакции на гетерогенной поверхности, в том числе осложненной сильной адсорбцией продукта. Механизмы Ленгмюра-Хиншельвуда и Ридила-Или и способы их идентификации.
9. Влияние реакционной среды на состав поверхности гетерогенных катализаторов. Способы снижения поверхностной свободной энергии катализатора. Различие между модельным и реальным катализом.
10. Применение физико-химических методов для выявления причин дезактивации гетерогенных катализаторов.
11. Кисотно-основной катализ. Типы кислотных катализаторов. Цеолиты. Примеры реакций, протекающих на кислотных центрах. Примеры каталитических процессов, протекающих по механизму кислотного катализа.
12. Бифункциональный катализ. Бифункциональные катализаторы. Примеры. Каталитический риформинг.
13. Физико-химические методы в изучении свойств гетерогенных каталитических систем. Определение важных с точки зрения катализа параметров методами ТЕМ, СЭМ, РФА, РФЭС, EXAFS, ИК спектроскопии адсорбированных молекул.
14. Применение неизотермических методов исследования для оптимизации методик приготовления и определения параметров гетерогенных катализаторов.
15. Получение водорода и синтез-газа каталитической конверсией углеводородов
16. Синтез Фишера-Тропша. Термодинамика и условия проведения. Состав продуктов, влияние природы катализатора на селективность процесса.
17. Синтез Фишера-Тропша. Механизмы реакции, ассоциативный и диссоциативный. Схема Андерсона, распределение Шульца-Флори. Основные катализаторы и влияние их природы на селективность.

17. Гидрирование и дегидрирование органических соединений. Механизм гидрирования олефинов на примере гидрирования этилена.
18. Кислотный катализ. Каталитический крекинг. Катализаторы, механизм, организация процесса.
19. Основные реакции, происходящие в процессе гидрокрекинга. Типы каталитических центров, участвующих в реакции. Разобрать на примере гидрокрекинга конкретного углеводорода (например, додекана).
20. Полное и парциальное окисление. Термодинамический анализ. Примеры промышленных реакций полного окисления. Принципы дизайна катализаторов полного окисления. .
21. Каталитическое селективное окисление. Основные принципы проведения реакций селективного окисления и примеры. Механизм Марса ван Кревелена.
22. Полное и парциальное окисление. Механизмы Ленгмюра-Хиншельвуда и Марса-Ван-Кревелена. Металлсодержащие и оксидные катализаторы окисления. Теплота образования оксидов и сила связи металла с кислородом в дизайне катализаторов окисления.
23. Каталитическая очистка отработавших газов двигателей внутреннего сгорания и дизельных. Трехмаршрутные катализаторы: состав, структура, свойства, особенности компонентов. Механизмы каталитического окисления монооксида углерода на металлических и оксидных катализаторах.
24. Каталитический цикл. Активность и селективность гомогенных и гетерогенных катализаторов. Методы расчета активности и селективности в гетерогенном катализе.
27. Методы изучения активности катализаторов. Кинетика химических реакций в закрытых системах. Учет диффузии при изучении кинетики гетерогенно-каталитических реакций.
28. Дезактивация катализаторов. Причины, вызывающие дезактивацию. Выбор способов предотвращения, снижения дезактивации и регенерации катализаторов.
29. Требования, предъявляемые к промышленным катализаторам. Типы и особенности промышленных каталитических реакторов.
30. Способы модифицирования и повышения эффективности работы катализаторов. Катализ и экология. Роль катализа в зеленой химии.

К теме 2

1. Роль переноса массы вещества и энергии в химических технологических и иных процессах. История возникновения макрокинетики как научной дисциплины. Задачи химической макрокинетики.
2. Макроскопические параметры состояния неравновесной системы. Фундаментальное уравнение баланса экстенсивной величины в неравновесной системе. Вывод уравнения баланса экстенсивной величины.
3. Уравнения баланса вещества в многокомпонентной неравновесной системе. Уравнение сохранения массы. Частные формы уравнения баланса - однородные и стационарные процессы, термодинамическое равновесие, процессы переноса вещества. Диффузия вещества в неподвижной среде, коэффициент диффузии. Диффузия вещества в движущейся среде.
4. Уравнения баланса вещества в многокомпонентной неравновесной системе. Диффузия вещества в неподвижной среде, коэффициент диффузии. Диффузия вещества в движущейся среде.

5. Первый закон термодинамики в открытой и закрытой системах. Уравнение баланса энергии в неравновесной системе. Макроскопические параметры: плотность энергии, плотности конвективного и кондуктивного потоков энергии, мощность внутреннего источника (или стока) энергии. Частные формы уравнений баланса энергии: уравнения баланса при отсутствии и при протекании химических реакций.
6. Первый закон термодинамики в открытой и закрытой системах. Уравнение баланса энергии в неравновесной системе. Макроскопические параметры: плотность энергии, плотности конвективного и кондуктивного потоков энергии, мощность внутреннего источника (или стока) энергии. Частные формы уравнений баланса энергии: уравнение баланса энергии при химической реакции.
7. Количество движения. Второй закон Ньютона. Вектор плотности количества движения. Тензор конвективной составляющей плотности потока импульса. Кондуктивная (молекулярная) составляющая плотности потока импульса. Источник импульса - макроскопические силы, действующие на рассматриваемую систему. Уравнение сохранения (баланса) количества движения (импульса). Уравнение сохранения (баланса) количества движения (импульса) для несжимаемых жидкостей. Уравнения Навье-Стокса.
8. Уравнение сохранения (баланса) количества движения (импульса). Уравнение сохранения (баланса) количества движения (импульса) для несжимаемых жидкостей. Уравнения Навье-Стокса. Расчет профиля скорости в ламинарном потоке жидкости в цилиндрическом канале. Преобразование уравнения Навье Стокса для цилиндрического канала. Граничные условия. Решение задачи. Параболический профиль скоростей в цилиндрическом канале.
9. Примеры промышленных мембранных процессов переноса вещества. Задача о диффузии вещества через двухслойную мембрану – математическая постановка задачи, решение и анализ. Скорость определяющая стадия. Коэффициент массопереноса и сопротивление массопереносу. Внешнедиффузионный слой Нернста. Аддитивность составляющих сопротивления массопереноса.
10. Некоторые примеры промышленных катализаторов. Форма частиц катализаторов. Кинетика реакций во внутренней диффузионной области. Кинетическая задача Зельдовича - Тиле и ее решение для реакции первого порядка. Параметр Тиле. Характерное время диффузии и характерное время реакции. Кинетический и диффузионный режимы. Интегральная характеристика наблюдаемой скорости химической реакции в таблетке катализатора.
11. Некоторые примеры промышленных сорбентов. Форма частиц сорбентов. Примеры промышленных сорбционных процессов. Задача о сорбции вещества в сферическую частицу – математическая постановка задачи, преобразование в сферическую систему координат, анализ решения. Определение коэффициента диффузии в сферическом зерне сорбента.
12. Некоторые примеры промышленных каталитических процессов в гомогенных средах. Формулировка задачи о химической реакции в гомогенном реакторе идеального вытеснения. Решение задачи для реакций 1-ого и 0-ого порядков. Анализ решений. Время пребывания в реакторе. Сравнение с решением для реактора идеального смешения.

13. Формулировка задачи о химической реакции в гомогенном реакторе идеального вытеснения. Постановка задачи с учетом параболического профиля скоростей в канале. Учет усредненных по сечению концентраций и коэффициента продольной дисперсии. Проблема граничных условий при учете дисперсионной модели продольного переноса вещества.
14. Типы двухфазных систем в промышленных химических процессах. Примеры промышленных процессов разделения и очистки веществ в массообменных системах. Уравнения баланса вещества для гетерофазной системы с диспергированными фазами. Модели продольного переноса вещества - модель поршневого движения фаз (или модель идеального вытеснения) и диффузионная (дисперсионная) модель. Коэффициенты продольной дисперсии (диффузии). Кинетические модели межфазового переноса вещества (функция источника) – внутридиффузионная и внешнедиффузионная модели. Коэффициенты массоотдачи. Коэффициенты массопереноса. Движущая сила массопереноса.
15. Иерархия макроскопических одномерных моделей переноса вещества в двухфазных системах в колоннах. Равновесная модель идеального вытеснения. Внутридиффузионная и внешнедиффузионная неравновесные модели идеального вытеснения. Равновесная дисперсионная модель. Неравновесные дисперсионные модели.
16. Некоторые примеры промышленных сорбционных процессов в колоннах. Фронт сорбции – стационарный и размывающийся фронты. Основные типы уравнений адсорбции. Макрокинетическое исследование влияния формы изотермы равновесия на характер размывания сорбционного фронта (рассмотрение в рамках равновесной модели идеального вытеснения).
17. Макрокинетическая задача об описании стационарного фронта сорбции в рамках неравновесных моделей идеального вытеснения. Уравнение рабочей линии. Скорость движения стационарного фронта. Условие образования стационарного фронта. Высота единицы переноса (ВЕП). Способы определения ВЕП. Характер распределения компонента по фронту в зависимости от вида неравновесной модели идеального вытеснения.
18. Макрокинетическая задача об описании стационарного фронта сорбции в рамках равновесной дисперсионной модели. Сопоставление с решением в рамках неравновесных моделей идеального вытеснения. Описание стационарного фронта ионообменной сорбции в рамках представления о теоретической тарелке. Сравнение ВЭТС и ВЕП.
19. Сопоставление тарелочной теории с макрокинетическим моделированием в описании сорбционного фронта. Аддитивность вкладов сопротивления массопереносу и продольного перемешивания в значение ВЕП и ВЭТС.
20. Виды хроматографии – элюативная, вытеснительная и фронтальная хроматография. Причины разделения веществ при движении смеси по слою сорбента. Принципы макрокинетического моделирования процессов хроматографического разделения.
21. Задача о размывании импульсного сигнала в элюативной хроматографии в рамках равновесной диффузионной модели. Характерный линейный размер модели как аналог ВЭТС. Способ определения характерного линейного размера РД модели по элюативной кривой. Нахождение величины равновесного коэффициента разделения или коэффициента Генри по положению максимума хроматографической кривой.

22. Примеры процессов разделения веществ в колоннах: ректификация, химический изотопный обмен, фронтальное сорбционное разделение. Способы обращения потока. Макрокинетическая задача о разделения веществ в противоточной массообменной колонне с обращением потоков. Решение задачи. Расчет параметров колонны в зависимости от производительности и степени разделения.

Методические материалы для проведения процедур оценивания результатов обучения

Шкала оценивания знаний, умений и навыков является единой для всех дисциплин (приведена в таблице ниже)

ШКАЛА И КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТА ОБУЧЕНИЯ по дисциплине (модулю)				
Оценка	2	3	4	5
Результат				
Знания	Отсутствие знаний	Фрагментарные знания	Общие, но не структурированные знания	Сформированные систематические знания
Умения	Отсутствие умений	В целом успешное, но не систематическое умение	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение (допускает неточности непринципиального характера)	Успешное и систематическое умение
Навыки (владения)	Отсутствие навыков	Наличие отдельных навыков	В целом, сформированные навыки, но не в активной форме	Сформированные навыки, применяемые при решении задач

РЕЗУЛЬТАТ ОБУЧЕНИЯ по дисциплине (модулю)	ФОРМА ОЦЕНИВАНИЯ
<p>Знать: Знать: Основы современных теорий гетерогенного катализа Знать: Основные характеристики гетерогенных катализаторов и гетерогенно-каталитических процессов Знать: Основные механизмы реакций в присутствии гетерогенных катализаторов Знать: Принципы построения макрокинетических моделей, описывающих изменения концентрации вещества во времени и в пространстве в химических реакторах и массообменных колоннах. Знать: Типы краевых условий при построении макрокинетических моделей химических процессов с переносом вещества в пространстве. Знать: Основные мировые достижения в области гетерогенного катализа Знать: Принципы проведения промышленных химических процессов в проточных аппаратах. Знать: Принципы построения макрокинетических моделей переноса энергии и импульса в</p>	<p>мероприятия текущего контроля успеваемости, устный опрос на экзамене</p>

<p>пространстве.</p> <p>Знать: Научные основы и принципы работы физико-химических методов, применяемых для исследований гетерогенных катализаторов научные основы причин каталитического действия гетерогенных катализаторов</p> <p>Знать: Научные основы термодинамики, кинетики и макрокинетики</p> <p>Знать: Основные законы химии, которые лежат в основе каталитических процессов и физико-химических исследований гетерогенных катализаторов.</p> <p>Знать: Основные законы химии, которые лежат в основе макрокинетического описания химических процессов с переносом вещества и энергии в пространстве.</p>	
<p>Уметь: Анализировать научную литературу с целью выбора направления и методов, применяемых в исследовании по теме выпускной квалификационной работы</p> <p>Уметь: Самостоятельно составлять план исследования</p> <p>Уметь: Объяснять причины и механизмы каталитического действия для каталитических систем различных типов</p> <p>Уметь: Построить математические модели химического процесса с переносом вещества в пространстве для конкретных процессов – каталитических, сорбционных и ректификационных.</p> <p>Уметь: Компетентно ориентироваться в основных направлениях гетерогенного катализа и типах катализаторов</p> <p>Уметь: Компетентно ориентироваться в информации о макрокинетическом моделировании химических процессов. квалифицированно выбирать методы для определения активности и физико-химических характеристик гетерогенных катализаторов</p> <p>Уметь: Применять основные законы химии для обсуждения свойств и характеристик гетерогенно-каталитических систем.</p> <p>Уметь: Применять основные законы термодинамики и кинетики химических процессов для макрокинетического описания химических процессов с переносом вещества и энергии в пространстве.</p> <p>Уметь: Анализировать механизмы основных промышленно-важных каталитических, сорбционных, ректификационных и других процессов с применением основных законов химии.</p>	<p>мероприятия текущего контроля успеваемости, устный опрос на экзамене</p>
<p>Владеть: Навыками поиска, критического анализа, обобщения и систематизации научной информации, постановки целей исследования и выбора оптимальных путей и методов их достижения.</p> <p>Владеть: Представлениями о способах физико-химического исследования каталитических систем различных типов.</p>	<p>мероприятия текущего контроля успеваемости, устный опрос на экзамене</p>

Владеть: Знаниями о закономерностях протекания каталитических, сорбционных и ректификационных процессов в проточных аппаратах.

Владеть: Навыками обсуждения явления катализа с точки зрения современных подходов к описанию механизмов каталитических реакций и данных физико-химических методов.

Владеть: Целостной системой знаний о промышленно-важных каталитических реакциях и гетерогенно-каталитических системах, применяемых для их проведения.

Владеть: Навыками обсуждения условий и закономерностей протекания химических процессов с переносом в пространстве.

Владеть: Целостной системой знаний о проведении промышленно-важных химических процессов с переносом в пространстве.

Владеть: Навыками обработки и научного обсуждения результатов физико-химических исследований гетерогенных катализаторов.

Владеть: Навыками анализа взаимосвязи между структурными, текстурными, химическими свойствами гетерогенных катализаторов и механизмами каталитических реакций.

Владеть: Навыками анализа взаимосвязи между закономерностями термодинамики и феноменологической кинетики с одной стороны и закономерностями макрокинетики химических процессов. Навыками компетентного анализа механизмов гетерогенно-каталитических реакций, протекающих в присутствии металлсодержащих и оксидных катализаторов электронного и кислотно-основного катализа.