

БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ



ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА КАТАЛИЗА

Учебная программа учреждения высшего образования
по учебной дисциплине для специальности

1-31 05 03 Химия высоких энергий

2017 г.

Учебная программа составлена на основе Образовательного стандарта первой ступени высшего образования ОСВО 1-31 05 03-2013 и учебного плана G 31-146/уч.-2013 г.

СОСТАВИТЕЛИ:

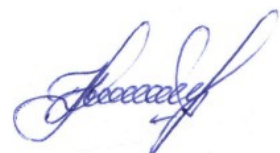
А. Е. Усенко, доцент кафедры физической химии, кандидат химических наук

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой физической химии Белорусского государственного университета
(протокол № 9 от 24 мая 2017 г.)

Учебно-методической комиссией химического факультета Белорусского
государственного университета

(протокол № 7 от 06 июня 2017 г.)



ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Дисциплина по выбору «Теория и практика катализа» предназначена для студентов 5 курса специальности 1-31 05 03 Химия высоких энергий.

Катализаторы имеют широкое применение в современной промышленности. Каталитические процессы составляют до 80–90 % от общего числа промышленных процессов: например, получение аммиака, серной и азотной кислот, каталитический крекинг, нефтехимический синтез и очистка нефтепродуктов, получение синтетических полимеров, красок, лекарственных средств, строительных материалов и др. Большинство биохимических процессов протекает при участии катализаторов высокого избирательного действия – ферментов. Кроме того, катализаторы и процессы с их участием находят применение в нетрадиционной энергетике, утилизации и конверсии возобновляемого сырья и угля. Поэтому изучение данной дисциплины является актуальным и представляет интерес для студентов химических специальностей.

Целью дисциплины является формирование системы знаний и представлений у студентов о физико-химических закономерностях возникновения каталитических эффектов, принципах каталитического действия веществ разной природы, механизмах протекания на этих катализаторах процессов, применяющихся в крупно- и малотоннажной химии, а также знакомство студентов с каталитическими технологиями защиты окружающей среды от техногенного воздействия.

Задача дисциплины состоит в ознакомлении студентов с методами расчета кинетических параметров и подходами к обоснованию возможных кинетических моделей практически значимых каталитических процессов, а также изучении методов исследования физико-химических свойств катализаторов

Для освоения дисциплины студент должен иметь представления о современном состоянии теорий химической кинетики, уметь применять формально-кинетический аппарат для анализа химических реакций различного типа, владеть навыками проведения кинетического эксперимента и методами обработки его результатов. Таким образом, в процессе освоения студентами дисциплины «Теория и практика катализа» особое внимание уделяется умению корректно применять знания, навыки и компетенции, полученные в рамках дисциплины специальности «Физическая химия (в частности, раздел «Химическая кинетика и катализ»)), изучаемой на предыдущих курсах. Междисциплинарный характер каталитической химии предусматривает освоение студентами ряда предшествующих дисциплин специальности учебного плана: «Органическая химия», «Химия твёрдого тела», «Коллоидная химия».

Содержательная часть дисциплины включает традиционный комплекс научных знаний в области гомогенного и гетерогенного катализа, а также актуальные результаты исследований, проводимые, в том числе, научными сотрудниками химического факультета и научно-исследовательского института физико-химических проблем БГУ.

В результате изучения дисциплины обучаемый должен

знать:

- основные понятия, принципы и теории катализа
- причины каталитического действия различных классов веществ
- физико-химические характеристики практически значимых катализаторов и методы их определения
- общие представления о механизмах и условиях протекания важнейших промышленных каталитических процессов

уметь:

- рассчитывать кинетические параметры практически значимых каталитических процессов при изменении количественного состава системы и внешних условий
- прогнозировать изменение каталитических свойств важнейших классов катализаторов
- корректно выбирать методы исследования физико-химических свойств катализаторов

владеть:

- методами расчета кинетических параметров и подходами к обоснованию возможных кинетических моделей практически значимых каталитических процессов

Студент должен закрепить и развить следующие компетенции, предусмотренные образовательным стандартом высшего образования ОСВО 1-31 05 03 «Химия высоких энергий»:

академические компетенции

АК-1. Уметь применять базовые научно-теоретические знания для решения теоретических и практических задач.

АК-2. Владеть системным и сравнительным анализом.

АК-3. Владеть исследовательскими навыками.

АК-4. Уметь работать самостоятельно.

АК-5. Быть способным вырабатывать новые идеи (креативность).

АК-6. Владеть междисциплинарным подходом при решении проблем.

АК-7. Иметь навыки, связанные с использованием технических устройств, управлением информацией и работой с компьютером.

социально-личностные компетенции

СЛК-3. Обладать способностью к межличностным коммуникациям.

СЛК-6. Уметь работать в команде.

профессиональные компетенции

ПК-1. Использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, анализировать перспективы и направления развития отдельных областей химической науки.

ПК-2. Принимать участие в научных исследованиях, связанных с совершенствованием и развитием химии, современных ее направлений и физико-химических методов исследования.

ПК-3. Формулировать цели и задачи научно-исследовательской деятельности, осуществлять ее планирование.

ПК-4. Применять методы прикладной квантовой химии, молекулярной динамики и математического моделирования для предсказания свойств химических систем и их поведения в химических процессах.

ПК-5. Формулировать и решать задачи, возникающие в ходе производственно-технологической деятельности.

ПК-7. В составе группы специалистов разрабатывать технологическую документацию, принимать участие в разработке стандартов и нормативов.

ПК-8. Осуществлять поиск, систематизацию и анализ информации по перспективам развития отрасли, инновационным технологиям, проектам и решениям.

ПК-9. Работать с научной, технической и патентной литературой, электронными базами данных.

ПК-10. Оценивать конкурентоспособность и экономическую эффективность разрабатываемых технологических процессов.

ПК-15. Взаимодействовать со специалистами смежных профилей.

ПК-17. Готовить доклады, материалы к презентациям и председательствовать на них.

ПК-18. Пользоваться глобальными информационными ресурсами.

Дисциплина преподается в девятом семестре пятого курса. Общее количество часов для изучения дисциплины – 82, аудиторных – 34 (лекции – 22, практические занятия – 8, УСП – 4).

Форма получения высшего образования – очная.

Форма текущей аттестации по учебной дисциплине – экзамен.

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

1. Общие представления о катализе. Определение катализа и катализатора. Предмет каталитической химии. Междисциплинарные связи. Краткий исторический экскурс развития представлений о катализе. Каталитические процессы в природе. Роль катализа в современной промышленности.

Принципы классификации катализаторов и каталитических процессов.

Реакционный путь в присутствии катализатора. Промежуточные соединения в катализе. Каталитический цикл. Слитный и стадийный механизмы каталитических превращений. Термодинамические и кинетические аспекты в катализе.

Основные характеристики катализаторов: активность, селективность, стабильность; субстратная селективность, региоселективность и энантиоселективность. Методы определения активности катализаторов. Сравнение характеристик гомогенных и гетерогенных катализаторов.

Реакторы катализа.

2. Гомогенный катализ. Классификация гомогенных катализаторов. Гомогенный катализ в газовой фазе. Гомогенный катализ в жидкой фазе. Особенности протекания каталитических реакций в растворах: клеточный эффект, взаимодействие с растворителем, реакции с участием ионов. Автокатализ.

Кислотно-основный гомогенный катализ. Теории кислот и оснований. Функция кислотности Гаммета. Корреляционные соотношения. Особенности кинетики специфического и общего кислотно-основного катализа. Нуклеофильный (катализ основаниями Льюиса) и электрофильный (катализ кислотами Льюиса) катализ. Солевые эффекты в катализе.

Металлокомплексный катализ. Примеры реакций, катализируемых комплексами металлов: гидрирование, карбонилирование; окисление и метатезис олефинов, изомеризация, олигомеризация и полимеризация олефинов. Правила Хиггинсона и Толмена. Модель Басоло-Пирсона. Правило Чатта.

Окислительно-восстановительный гомогенный катализ.

3. Межфазный катализ. Катализ межфазного переноса (МФП). Ионные пары в органической фазе. Экстракция ионных пар из водной фазы. Механизм реакций в нейтральных средах. Практическое использование катализа МФП: алкилирование, изомеризация, реакции присоединения, конденсации, элиминирования, гидролиз, нуклеофильное ароматическое замещение и другие реакции, проходящие в присутствии оснований.

4. Мицеллярный катализ (микрогетерогенный катализ). Физико-химические свойства водных растворов ПАВ. Модели распределения низкомолекулярных веществ между водной и мицеллярной фазами. Кинетика химических реакций n -го порядка в присутствии мицелл ПАВ.

5. Ферментативный катализ. Структурная организация ферментов. Активность ферментов. Кинетика ферментативных реакций: уравнение Михаэлиса-Ментен. Типы ингибирования. Обратимое конкурентное, неконкурентное и бесконкурентное ингибирование. Субстратное ингибирование.

6. Гетерогенный катализ. Особенности катализа твёрдыми катализаторами. Теории гетерогенного катализа: мультиплетная теория катализа Баландина А.А.; теория ансамблей Кобозева Н.И.; теория активных центров Тейлора Х.С.; теория промежуточных соединений; электронная теория катализа Волькенштейна Ф.Ф.; теория кристаллического поля лигандов; радикальная теория катализа; теория пресыщения Рогинского С.З.; теория катализа полиэдрами Колесникова И.М.

Стадии гетерогенного каталитического процесса. Методы определения скорость-лимитирующей стадии гетерогенно-каталитического процесса. Потенциальная кривая гетерогенной каталитической реакции. Энергия активации гетерогенно- каталитического процесса.

Роль адсорбции в гетерогенных каталитических процессах. Адсорбция на энергетически однородной поверхности. Адсорбционная теория Лэнгмюра. Нелэнгмюровские изотермы адсорбции. Кинетические модели Лэнгмюра-Хиншельвуда и Риделя-Или гетерогенной каталитической реакции на границе газ-твёрдое тело. Адсорбция на энергетически неоднородной поверхности. Методы определения неоднородности поверхности.

Макрокинетика гетерогенно-каталитических процессов. Внешне- и внутридиффузионная области гетерогенно-каталитической реакции.

Некоторые типы гетерогенных катализаторов: металлы и сплавы; оксиды и сульфиды переходных металлов; кислотно-основные катализаторы; цеолиты (молекулярные сита).

Формы твердых катализаторов и методы их приготовления. Методы осаждения. Носители катализаторов. Методы нанесения. Пропитка. Особенности приготовления нанесенных многокомпонентных катализаторов. Механохимический метод. Термическая обработка катализаторов. Спекание пористых тел. Полиморфные превращения. Твердофазные реакции.

7. Нанокатализ. Определение термина «нанокатализ». Влияние размерного эффекта на активность, селективность, стабильность катализатора. Методы получения наночастиц металлов и их применение в реакциях различного типа.

8. Примеры применения катализаторов в промышленных процессах.

Области применения катализаторов: производство неорганических и органических веществ; нефтепереработка и нефтехимия; процессы преобразования энергии; катализ и проблемы экологии.

Получение водорода и синтез-газа каталитической конверсией углеводородов. Синтез аммиака. Окисление неорганических соединений. Получение серной и азотной кислот.

Гидрирование и дегидрирование органических соединений. Полимеризация олефинов. Каталитические процессы окисления органических веществ, окислительный аммонолиз.

Каталитические процессы в нефтепереработке и переработке природного газа. Каталитический риформинг. Изомеризация и алкилирование. Синтез Фишера-Тропша. Каталитическая очистка природного газа.

Экологический катализ. Каталитическая нейтрализация выхлопных газов. «Катализатор трёх путей». Селективное каталитическое восстановление оксидов азота. Зелёная химия и катализ.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА ДИСЦИПЛИНЫ

№ п/ п	Наименование разделов	Количество часов аудиторных			Количество часов УСР	Форма контроля знаний
		Лек- ции	Практи- ческие	Лаб ора тор ные		
1	Общие представления о катализе. Предмет каталитической химии. Основные определения. Краткий исторический экскурс развития представлений о катализе. Принципы классификации катализаторов и каталитических процессов. Промежуточные соединения в катализе. Термодинамический и кинетический аспект каталитического процесса. Основные характеристики катализаторов и методы определения их характеристик.	3				контрольн ая работа
2	Гомогенный катализ. Гомогенный катализ в газовой и в жидкой фазах. Влияние растворителя на кинетические параметры химической реакции. Кислотно-основный гомогенный катализ.	2				контрольн ая работа
3	Металлокомплексный гомогенный катализ. Окислительно-восстановительный гомогенный катализ.	2	1		1	контрольн ая работа реферат
4	Межфазный катализ. Катализ межфазного переноса (МФП). Мицеллярный катализ.	2				экспресс- опрос, контрольн ая работа
5	Ферментативный катализ. Структурная организация ферментов и их активность. Кинетика ферментативных реакций. Типы ингибирования. Определение параметров уравнения Михаэлиса-Ментен.	2				контрольн ая работа
6	Гетерогенный катализ. Основные теории и положения гетерогенного катализа.	2	2		1	контрольн ая работа, доклад
7	Гетерогенный катализ. Адсорбция в гетерогенных каталитических процессах на однородной и неоднородной поверхности	2				контрольн ая работа
8	Гетерогенный катализ. Макрокинетика гетерогенно-каталитических процессов	2	1			контрольн ая работа
9	Гетерогенный катализ. Некоторые типы гетерогенных катализаторов. Формы твердых катализаторов и методы их приготовления.	2	2		1	контрольн ая работа, доклад
11	Нанокатализ. Влияние размерного эффекта на активность, селективность, стабильность катализатора.	1	1			контрольн ая работа
12	Примеры применения катализаторов в промышленных процессах. Экологический катализ.	2	1		1	контрольн ая работа, доклад
	Итого:	22	8		4	экзамен

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

РЕКОМЕНДУЕМАЯ УЧЕБНАЯ ЛИТЕРАТУРА

ОСНОВНАЯ:

1. Романовский, Б. В. Основы катализа [Электронный ресурс] : учебное пособие / Б. В. Романовский. – Эл. изд. – Электрон. текстовые дан. (1 файл pdf : 175 с.). – М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2014.
2. Накамура, А., Цуцуи, М. Принципы и применение гомогенного и гетерогенного катализа. – М. : Мир, 1983. – 232 с.
3. Байрамов, В. М. Основы химической кинетики и катализа: учебное пособие для студентов высших учебных заведений. – М. : ИЦ «Академия», 2003. – 256 с.
4. Чоркендорф, И., Наймантсведрайт, Х. Современный катализ и химическая кинетика: научное издание. – Долгопрудный : ИД «Интеллект», 2010. – 504 с.
5. Демлов, Э., Демлов, З. Межфазный катализ. – М. : Мир, 1987. – 486 с.
6. Крылов, О. В. Гетерогенный катализ. – М. : ИКЦ «Академкнига», 2004. – 679 с.
7. Боресков, Г. К. Гетерогенный катализ. – М. : Наука, 1988. – 304 с.
8. Попов, Ю. В., Мохов, В. М., Небыков, Д. Н., Латышова, С. Е., Панов, А. О. Нанокатализ в современной химии и химической технологии: монография. – Волгоград : ВолгГТУ, 2016. – 272 с.
9. Краснов, К. С., Воробьев, Н. К., Годнев, И. Н. и [др]. Физическая химия. В 2 кн. Кн. 2: Электрохимия. Химическая кинетика и катализ: Учебн. для вузов./ под.ред. К.С. Краснова – 3-е изд., испр. – М. : Высшая школа, 2001. – 319 с.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ:

10. Колесников, И.М. Катализ и производство катализаторов. – М. : Техника, 2004. – 399 с.
11. Беркман, С., Моррелл, Д., Эглофф, Г. Катализ в неорганической и органической химии: 2 кн.. – М., Л. : ГНТИ Нефтяной и горно-топливной литературы, 1949. – Кн. 1.–1949. – 752 с.; – Кн. 2.–1949. – 620 с.
12. Хенрици-Оливэ, Г., Оливэ, С. Координация и катализ. – М. : Мир, 1980. – 422 с.
13. Бендер, М. Бергерон, Р. Комияма, М. Биоорганическая химия ферментативного катализа. – М. : Мир, 1987. – 352 с.
14. Nanocatalysis / Nanoscience and Technology / Heiz U., Landman U. (ed.). – Berlin Heidelberg : Springer, 2007. – 504 p.

15. Романовский, Б. В. Нанокатализ // Материалы Всероссийской школы-семинара "Нанобиотехнологии: проблемы и перспективы" / Под ред. проф. О.Е.Лебедевой. – Т. 1. – Белгород : ОАО "Белгородская областная типография", 2009. – С. 96.
16. Yang, X. F., Wang, A., Qiao, B., Li, J., Liu, J., Zhang, T. Single-atom catalysts: a new frontier in heterogeneous catalysis // *Accounts of chemical research*. – 2013. – Vol. 46, Iss. 8. – P. 1740–1748.
17. Khan, M. N. Micellar catalysis / Surfactant Science Series – CRC Press, 2006. – V. 133.– 482 p.
18. Grison, C., Escande, V., Biton, J. Ecocatalysis: A New Integrated Approach to Scientific Ecology. –Elsevier, 2015. –
19. Почему химия «зеленеет» и где учат «зеленой» химии / Т.А.Савицкая. И.М. Кимленко, Е.А. Матюшенков, М.А. Лукашевич // *Хімія: проблеми викладання*. – 2009. – № 2. – С.3 – 19.
20. Ustinovich, E.A., Shchukin, D.G., Sviridov, D.V. Heterogeneous photocatalysis in titania-stabilized perfluorocarbon-in-water emulsions: urea photosynthesis and chloroform photodegradation. // *J. Photochem. Photobiol. A: Chem.* –2005. –Vol. 175. – P. 249–252.
21. Rothenberg, G. Catalysis: Concepts and Green Applications – WILEY-VCH Verlag, 2008. – 275 p.
22. Preparation and some properties of Pd nanoparticles capped with tetrazole-5-thiols / M.N. Nichick, S.V. Voitekhovich, O.A. Ivashkevich // *Physics, chemistry and applications of nanostructures: Int. conf. Nanomeeting-2011*,– Minsk, 2011. – P. 377–380.
23. Пивоварова, Н.А., Кириллова, Л.Б., Морозов, А.Ю. Гетерогенный катализ в нефтепереработке: учебное пособие. – Астрахань : АГТУ, 2015. – 196с.

ЭЛЕКТРОННЫЕ РЕСУРСЫ:

База данных (БД) EBSCO

БД издательств Springer, Elsevier, Royal Society of Chemistry, Science, Cambridge University Press, Oxford University Press, American Chemical Society

Российский информационный портал e-library.ru

Портал фундаментального химического образования России
<http://www.chem.msu.ru/>

ПРИМЕРНЫЙ ПЕРЕЧЕНЬ ЗАДАНИЙ УПРАВЛЯЕМОЙ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ

Тема «ОКИСЛИТЕЛЬНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫЙ ГОМОГЕННЫЙ КАТАЛИЗ И ГОМОГЕННЫЙ МЕТАЛЛОКОМПЛЕКСНЫЙ КАТАЛИЗ»

1. Поясните термины «гомолитический процесс гомогенного окисления» и «гетеролитический процесс гомогенного окисления». Приведите примеры таких процессов.
2. Приведите примеры реакций, относящихся к гомогенному окислительно-восстановительному катализу а) в растворе, б) в газовой фазе.
3. Запишите механизм процессов фотодеструкции галогенуглеводородов и оксидов азота в озоновом слое. Получите выражение для скорости разложения одного из них, применяя соответствующий приближенный метод химической кинетики.
4. Перечислите и поясните элементарные стадии в реакциях металлокомплексных соединений. Проиллюстрируйте реакции, протекающие по внутри- и внешнесферному механизму металлокомплексного катализа.
5. Назовите важнейшие типы реакций, катализируемые металлокомплексами.
6. Прокомментируйте следующие лигандообменные реакции:
$$[\text{W}(\text{CO})_6] + \text{Si}_2\text{Br}_6 \rightarrow [\text{W}(\text{CO})_5\text{SiBr}_2] + \text{SiBr}_4 + \text{CO}$$
$$[\text{Pt}(\text{PPh}_3)_4] + \text{Si}_2\text{Cl}_6 \rightarrow [\text{Pt}(\text{PPh}_3)_2(\text{SiCl}_3)_2] + 2\text{PPh}_3$$
$$[\text{Fe}(\text{CO})_5] + \text{PtEt}_3 \rightarrow [(\text{PtEt}_3)\text{Fe}(\text{CO})_4] + \text{CO}$$
7. Каковы различия в процессах окислительного сочетания и окислительного присоединения?
8. Какие продукты образуются при никель-катализируемой димеризации этилена?
9. Какими методами исследуют каталитически активные системы?
10. Подготовьте доклад по одному из пунктов 1–8 из предлагаемого списка тем рефератов.

Тема «ГЕТЕРОГЕННЫЙ КАТАЛИЗ. ОСНОВНЫЕ ТЕОРИИ И ПОЛОЖЕНИЯ ГЕТЕРОГЕННОГО КАТАЛИЗА. НЕКОТОРЫЕ ТИПЫ ГЕТЕРОГЕННЫХ КАТАЛИЗАТОРОВ»

1. Ознакомьтесь с основными теориями гетерогенного катализа? Поясните их достоинства и недостатки.
2. При изучении гетерогенных каталитических реакций говорят о «микрокинетике» и «макрокинетике» процесса. Поясните эти термины. Какие элементарные стадии включает микрокинетическое рассмотрение процесса?

3. Объясните связь между порядком каталитической реакции по определенному компоненту и степенью заполнения им поверхности.
4. Изобразите потенциальные кривые для реакции типа $A \rightarrow P$ с участием гетерогенного катализатора. Поясните термин «кажущаяся энергия активации» и «истинная энергия активации».
5. При помощи каких кинетических моделей (механизмов) можно описать гетерогенный процесс $A+B \rightarrow P$? По какой(му) модели (механизму) будет протекать восстановление CO_2 водородом на платине? Получите выражение для скорости процесса.
6. Зависит ли порядок гетерогенной каталитической реакции от давления и температуры?
7. Зависит ли кажущаяся энергия активации гетерогенной каталитической реакции от давления и температуры?
8. Изучите процесс окисления CO кислородом O_2 на поверхности катализатора из Pt ($CO + 0,5O_2 \rightarrow CO_2$). Получите выражения для порядков реакции по CO , O_2 и CO_2 , а также для кажущейся энергии активации этого процесса.
9. В таблице приведены данные по адсорбции CO на активированном угле при $0^\circ C$:

p, (мбар)	133	267	400	533	667	800	933
V, (см ³)	10.3	19.3	27.3	34.1	40.0	45.5	48.0

Определите, подчиняются ли полученные данные изотерме Лэнгмюра? Рассчитайте параметры изотермы.

10. Объясните изменение порядка реакции по алкену при изменении его начальной концентрации в процессе олигомеризации алкена на макропористом катализаторе.
11. Изобразите структуру поверхностей (111), (100) и (110) ГЦК-кристаллов металла, поверхностей (110) и (100) ОЦК-кристаллов металла и поверхность (001) ГПУ-кристалла.
12. Почему молекулы типа CO легко диссоциируют на металлической поверхности и не диссоциируют в газовой фазе?
13. В научной литературе упоминается, что ароматизация углеводородов происходит с большей скоростью на поверхности $Pt(111)$, чем на поверхности $Pt(100)$. Объясните это явление.
14. Энергия активации гидрирования этилена на микродисперсной платине, платиновой пленке и фольге, а также на платине, нанесённой на различные носители, имеет значение ~ 45 кДж/моль. Объясните это явление.
15. Расскажите о наиболее важных различиях между поверхностями металлов и оксидов.

16. Приведите возможные классификации следующих веществ как катализаторов: Pd, Al₂O₃, ZnO, MgO, CoO, цеолиты, алюмосиликаты
17. С каким из веществ преимущественно будет взаимодействовать катализатор Cu₂O: H₂, O₂, O⁻, CO?
18. Оксиды Cu₂O, NiO и CoO обладают высокой адсорбционной способностью по отношению к CO. Объясните природу этого явления. Как изменятся свойства оксидов при легировании их Li₂O?
19. Объясните наличие кислотных свойств у твердых веществ на примере Al₂O₃.
20. Как можно оценить кислотность алюмосиликатов?
21. Поверхность алюмосиликатов можно отнести к сильным кислотам Бренстеда, а силикагеля – к слабым. Почему введение Al³⁺ в SiO₂ приводит к увеличению кислотности?
22. Что такое цеолиты? Чем они отличаются от носителей катализаторов?
23. Подготовьте доклад по одному из пунктов 9–12, 17–23 из предлагаемого списка тем рефератов.

Тема «ГЕТЕРОГЕННЫЙ КАТАЛИЗ. ПРИМЕНЕНИЕ КАТАЛИЗАТОРОВ В ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРОЦЕССАХ. ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ КАТАЛИЗ»

1. Сформулируйте основные требования, предъявляемые к твердым катализаторам, используемым в промышленности.
2. Зачем порошок катализатора спрессовывается в тела определенной формы?
3. В чем состоит разница между электронными и структурными промоторами?
4. Необходимо определить следующие свойства твердого катализатора:
а) поверхностные комплексы; б) число и тип активных центров; в) удельную поверхность и размер пор; г) распределение элементов на поверхности; д) элементный состав объема катализатора; е) фазовый состав; ж) размер кристаллитов.
Какими методами можно определить каждую из характеристик?
5. Какую информацию о свойствах катализатора позволяет получить температурно-программируемая десорбция?
6. Необходимо провести следующие промышленные процессы:
а) алкилирование бензола этиленом, б) крекинг высших УВ, в) дегидрирование амидов до аминов, г) дегидрирование этилбензола в стирол, д) этерификация, е) гидрирование CO до метанола; ж) гидрирование растительных масел; з) изомеризация пентана в изопентан, и) окисление аммиака до оксидов азота, к) окисление SO₂ до SO₃, л) риформинг для получения ароматических УВ, м) окисление метанола до формальдегида.

Выберите наиболее подходящие катализаторы для каждого из процессов: Pt/носитель, ZnCr_2O_4 , V_2O_5 , Pt, Al_2O_3 , Ag, алюмосилкаты, цеолиты, Ni, оксиды железа/промотор, ионообменные смолы, CuO.

7. Почему сера является ядом при синтезе аммиака?
8. Приведите несколько примеров производств синтез-газа, а также областей его практического использования.
9. Что является основным загрязняющим элементом сырой нефти?
10. Какие катализаторы применяют в процессах гидрокрекинга?
11. Процесс крекинга на цеолитах происходит по иному механизму, чем на поверхности металлов. В чем состоит различие и с чем оно связано?
12. Почему в процессе гидроизомеризации алканов применяют бифункциональные катализаторы?
13. Что такое E-фактор, атомная эффективность?
14. Что представляет собой «катализатор трёх путей», предназначенный для нейтрализации выхлопных газов?
15. Опишите суть процессов селективного каталитического восстановления оксидов азота. Для каких типов отходов они применяются.
16. Какие катализаторы используют в устройствах каталитического дожигания.
17. Предложите альтернативы традиционным катализаторам реакции нитрования ароматических соединений, которые позволят сделать этот процесс более «экологичным».
18. Назовите преимущества использования в каталитических процессах ионных жидкостей по сравнению с солями неорганических веществ.
19. Подготовьте доклад по одному из пунктов 13–16, 24–32 из предлагаемого списка тем рефератов.

ПЕРЕЧЕНЬ ИСПОЛЬЗУЕМЫХ СРЕДСТВ ДИАГНОСТИКИ

Перечень средств диагностики компетенций студентов:

1. Устный экспресс-опрос в формате вопрос – ответ.
2. Контрольные работы по разделам 1–12.
3. Рефераты и доклады по выбору студента.
4. Экзамен по дисциплине.

МЕТОДИКА ФОРМИРОВАНИЯ ОЦЕНКИ ЗНАНИЙ СТУДЕНТА

1. Правила проведения аттестации (Постановление МО Республики

Беларусь № 53 от 29 мая 2012 г.).

2. Положение о рейтинговой системе оценки знаний студентов по дисциплине БГУ (№ 38-ОД от 04 февраля 2008 г.).

3. Критерии оценки знаний и компетенций студентов по 10-балльной шкале.

ПРИМЕРНЫЕ ТЕМЫ РЕФЕРАТОВ *

- 1.Metalлокомплексный гомогенный катализ: изомеризация алкенов.
2. Metalлокомплексный гомогенный катализ: олигомеризация алкенов, алкадиенов.
3. Metalлокомплексный гомогенный катализ: гидрирование алкенов.
4. Metalлокомплексный гомогенный катализ: метатезис алкенов.
5. Metalлокомплексный гомогенный катализ: окисление алкенов.
6. Metalлокомплексный гомогенный катализ: гидроформилирование алкенов.
7. Metalлокомплексный гомогенный катализ: карбонилирование ненасыщенных углеводородов.
8. Получение уксусной кислоты карбонилированием метанола (BASF, Monsanto, Cativa процессы).
9. Радикальная теория катализа.
10. Теория пресыщения Рогинского С.З.
11. Электронная теория катализа Волькенштейна Ф.Ф.
12. Теория катализа полиэдрами Колесникова И.М.
13. Методы определения химического состава поверхности гетерогенного катализатора.
14. Методы определения химического состава объёма гетерогенного катализатора.
15. Оценка микроструктуры и удельной поверхности гетерогенного катализатора.
16. Термический анализ гетерогенного катализатора.
17. Сверхкислоты и их применение в каталитических процессах
18. Сверхоснования и их применение в каталитических процессах
19. Катализаторы дегидратации спиртов
20. Катализаторы синтеза углеводородов из метанола
21. Каталитический крекинг углеводородов.
22. Каталитическое гидрирование металлами: гидрирование жиров
23. Каталитическое гидрирование металлами: гидрирование ацетилена (для отделения от этилена)
24. Синтез метанола.
25. Синтез Фишера-Тропша
26. Синтез аммиака.

* Доклад оформляется в виде реферата на бумажном и электронном носителе и презентации

27. Окисление этилена в этиленоксид.
28. Окисление SO_2 и получение серной кислоты.
29. Каталитическое окисление аммиака и получение азотной кислоты.
30. Каталитическое окисление монооксида углерода.
31. Селективное каталитическое восстановление оксидов азота.
32. Каталитическая очистка природного газа от серы.

ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ УВО

Название учебной дисциплины, с которой требуется согласование	Название кафедры	Предложения об изменениях в содержании учебной программы учреждения высшего образования по учебной дисциплине	Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола) [†]
Физическая химия	Кафедра физической химии	Нет изменений	Вносить изменения не требуется. Протокол № 9 от 24.05.2017 г.
Коллоидная химия	Кафедра физической химии	Нет изменений	Вносить изменения не требуется. Протокол № 9 от 24.05.2017 г.
Химия твердого тела	Кафедра неорганической химии	Нет изменений	Вносить изменения не требуется. Протокол № 12 от 22.05.2017 г.
Органическая химия	Кафедра органической химии	Нет изменений	Вносить изменения не требуется. Протокол № 10 от 05.05.2017 г.

ДОПОЛНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ К УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЕ УВО

на ____/____ учебный год

№ п/п	Дополнения и изменения	Основание

Учебная программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры
физической химии Белорусского государственного университета (протокол №
____ от _____ 20 ____ г.)

Заведующий кафедрой

доктор химических наук,

профессор _____ В.В. Паньков

(ученая степень, ученое звание) (подпись) (И.О.Фамилия)

УТВЕРЖДАЮ

Декан химического факультета

член-корр. НАН Беларуси,

доктор хим. наук,

профессор _____ Д.В. Свиридов

(ученая степень, ученое звание)

(подпись)

(И.О.Фамилия)