

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА

Навчально науковий інститут високих технологій

Кафедра супрамолекулярної хімії



«ЗАТВЕРДЖУЮ»
Заступник директора
науково – педагогічної роботи
Галина ГРАБЧУК
«24» травня 2022 року

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Дизайн та розробка сучасних каталізаторів

(повна назва навчальної дисципліни)

для студентів

галузь знань	10 Природничі науки
спеціальність	102 Хімія
освітній рівень	магістр
освітня програма	Високі технології (Хімія та наноматеріали)
вид дисципліни	<u>вибіркова</u>

Форма навчання	денна
Навчальний рік	<u>2022/2023</u>
Семестр	третій
Кількість кредитів ECTS	3
Мова викладання, навчання та оцінювання	українська
Форма заключного контролю	іспит

Викладач: Рябухін С.В.

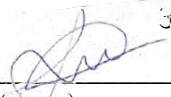
(Науково-педагогічні працівники, які забезпечують викладання даної дисципліни у відповідному навчальному році)

Пролонговано: на 20__/20__ н.р. _____ (_____) «__» 20__ р.
(підпис, ПІБ, дата)

на 20__/20__ н.р. _____ (_____) «__» 20__ р.
(підпис, ПІБ, дата)

Розробник: д.х.н., проф. Волочнюк Д.М., д.х.н., проф. Рябухін С.В.

ЗАТВЕРДЖЕНО:



Зав. кафедри

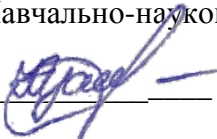
Сергій РЯБУХІН
(прізвище та ініціали)

Протокол № 7 від «19» серпня 2022 року

Схвалено науково - методичною комісією Навчально-наукового інституту високих технологій

Протокол 1 від «09» вересня 2022 року

Голова науково-методичної комісії _____



Наталія РУСІНЧУК

ВСТУП

1. Мета дисципліни :

Ознайомлення студентів з предметом гомогенного та гетерогенного каталізу. розробки лікарських засобів та їх тестування в різноманітних системах. Створення теоретичної бази для розуміння природи каталітичної активності та каталітичної дії сполук на хімічні процеси. Ознайомлення з поточною ситуацією в галузі та методами створення каталізаторів та дослідження їх активності, ефективності та меж застосування.

2. Попередні вимоги до опанування або вибору навчальної дисципліни :

Студент повинен знати:

фундаментальні основи загальної, неорганічної та органічної хімії, координаційної хімії, фізики, нанофізики, фізичної хімії та супрамолекулярної хімії, а також основ фізичних методів дослідження.

Студент повинен вміти:

Користуватися сучасними електронними базами даних в галузі хімії і біології, іншими Інтернет-ресурсами.

3. Анотація навчальної дисципліни

Курс з дисципліни «Дизайн і розробка сучасних каталізаторів» поділяється на розділи. У першому розділі після викладення історії виникнення та базової термінології відповідної галузі науки основна увага приділяється каталізу як явищу, і загальним принципам створення і дизайну каталізаторів. Розглядається відмінність гомогенного і гетерогенного каталізу, пояснюються основні принципи природи цього явища та механістичні основи його дії. В другій частині курсу засвоєні принципи підтверджуються практичними прикладами вдосконалення каталітичних систем як в тонкому органічному синтезі, так і в промисловості. Пояснюється сучасна проблематика пошуку нових каталізаторів та потреба в ньому. Розглядаються найбільш сучасні напрямки каталізу, для яких наводяться приклади вирішення задач, що постали перед галуззю.

4. Завдання (навчальні цілі)

Навчання дисципліні має на меті розвивати у студентів такі компетентності:

ІК. Здатність розв'язувати складні задачі і проблеми у галузі професійної діяльності або у процесі навчання в новому або незнайомому середовищі, що передбачає проведення досліджень та/або здійснення інновацій та характеризується невизначеністю умов та вимог.

ЗК1. Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності

ЗК2. Здатність вчитися та оволодівати сучасними знаннями.

ЗК3. Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу.

ЗК4. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.

ЗК5. Здатність до адаптації та дії в новій ситуації.

ЗК6. Здатність генерувати нові ідеї (креативність), а також формулювати судження, маючи неповну або обмежену інформацію.

ЗК7. Навички використання інформаційних і комунікаційних технологій в хімічних дослідженнях та професійній діяльності.

ЗК8. Здатність оцінювати та забезпечувати якість виконуваних робіт.

ЗК9. Здатність спілкуватися з представниками інших професійних груп різного рівня (з експертами з інших галузей знань/видів економічної діяльності).

ЗК10. Здатність спілкуватися англійською та (за можливості) іншою іноземною мовою, як усно, так і письмово.

ЗК11. Здатність нести етичну відповідальність за дії, пов'язані із застосуванням власних знань та суджень.

ЗК12. Здатність працювати автономно, брати участь у командній роботі, здійснювати проектну діяльність під керівництвом.

ЗК14. Здатність до пошуку, критичного аналізу та обробки інформації з різних джерел проблем:

ФК1. Здатність використовувати закони, теорії та концепції хімії у поєднанні із відповідними математичними інструментами для опису природних явищ.

ФК2. Здатність будувати адекватні моделі хімічних явищ, досліджувати їх для отримання нових висновків та поглиблення розуміння природи, в тому числі з використанням методів молекулярного, математичного і комп'ютерного моделювання.

ФК3. Здатність організовувати, планувати та реалізовувати хімічний експеримент.

ФК4. Здатність інтерпретувати, об'єктивно оцінювати і презентувати результати свого дослідження.

ФК5. Здатність застосовувати методи комп'ютерного моделювання для вирішення наукових, хіміко-технологічних проблем та проблем хімічного матеріалознавства.

ФК6. Здатність здобувати нові знання в галузі хімії та інтегрувати їх із уже наявними.

ФК7. Здатність дотримуватися етичних стандартів досліджень і професійної діяльності в галузі хімії (академічна доброчесність, ризики для людей і довкілля тощо).

ФК8. Здатність формулювати нові гіпотези та наукові задачі в галузі хімії, вибирати напрями та відповідні методи для їх розв'язання на основі розуміння сучасної проблематики досліджень в галузі хімії та беручи до уваги наявні ресурси.

ФК9. Здатність обирати оптимальні методи та методики дослідження.

ФК10. Володіння загальною методологією здійснення наукового дослідження.

ФК11. Здатність формулювати нові гіпотези та наукові задачі в галузі хімії, вибирати належні напрями та відповідні методи для їх розв'язання, беручи до уваги наявні ресурси.

ФК12. Розуміння етичних стандартів досліджень і професійної діяльності в галузі хімії (наукова доброчесність).

5. Результати навчання за дисципліною:

Результат навчання (1. знати; 2. вміти; 3. комунікація; 4. автономність та відповідальність)		Форми (та/або методи і технології) викладання і навчання	Методи оцінювання та пороговий критерій оцінювання	Відсоток у підсумковій оцінці з дисципліни
Код	Результат навчання			
1.	Знати: 1.1. Поняття каталізу. Основні принципи дії каталізаторів. Різницю між гомогенним та гетерогенним каталізом.	Лекції	Контрольні роботи	20%
	1.2. Сучасну проблематику дизайну та синтезу каталізаторів. Основні напрями розвитку та задачі, що потребують вирішення.	Лекції	Контрольні роботи	20%
2.	Вміти: 2.1. Визначати механізми, шляхи та принципи дії каталітичних систем.	Практичні заняття	Контрольні роботи	20%
	2.2. планувати експериментальні шляхи розробки нових каталізаторів.	Практичні заняття	Контрольні роботи	20%
3.	Комунікація: 3.1. Працювати в групі на семінарах та практичних роботах.	Практичні заняття	Звіти	10%
4.	Автономність та Відповідальність: 4.1. Самостійно працювати з науковою та навчально-методичною літературою, здійснювати пошук та узагальнення науково-технічної інформації.	Самостійна робота	Контрольна робота	10%

6. Співвідношення результатів навчання дисципліни із програмними результатами навчання

Результати навчання дисципліни	Програмні результати навчання			
	1	2	3	4
P1. Знати та розуміти наукові концепції та сучасні теорії хімії, а також фундаментальні основи суміжних наук.	+	+	+	+
P2. Глибоко розуміти основні факти, концепції, принципи і теорії, що стосуються предметної області, опанованої у ході магістерської програми, використовувати їх для розв'язання складних задач і проблем, а також проведення досліджень з відповідного напрямку хімії.	+	+	+	+

P3. Застосовувати отримані знання і розуміння для вирішення нових якісних та кількісних задач хімії.	+	+		+
P4. Синтезувати хімічні сполуки із заданими властивостями, аналізувати їх і оцінювати відповідність заданим вимогам.	+	+		+
P5. Володіти методами комп'ютерного моделювання структури, параметрів і динаміки хімічних систем.		+	+	+
P6. Знати методологію та організації наукового дослідження.				
P7. Вільно спілкуватися англійською та (за можливості) іншою іноземною мовою з професійних питань, усно і письмово презентувати результати досліджень з хімії іноземною мовою, брати участь в обговоренні проблем хімії.			+	
P8. Вміти ясно і однозначно донести результати власного дослідження до фахової аудиторії та/або нефакхівців.			+	
P9. Збирати, оцінювати та аналізувати дані, необхідні для розв'язання складних задач хімії, використовуючи відповідні методи та інструменти роботи з даними.	+	+	+	+
P10. Планувати, організувати та здійснювати експериментальні дослідження з хімії з використанням сучасного обладнання, грамотно обробляти їх результати та робити обґрунтовані висновки.		+	+	+
P11. Складати технічне завдання до проекту, розподіляти час, організувати свою роботу і роботу колективу, складати звіт.	+	+	+	+
P12. Оцінювати ризики у професійній діяльності та здійснювати запобіжні дії.			+	+
P13. Аналізувати наукові проблеми та пропонувати їх вирішення на абстрактному рівні шляхом декомпозиції їх на складові, які можна дослідити окремо.	+	+	+	+
P14. Інтерпретувати експериментально отримані дані та співвідносити їх з відповідними теоріями в хімії.	+	+	+	+
P15. Володіння загальною методологією здійснення наукового дослідження.	+	+		
P16. Використовувати інформаційно-комунікаційні технології для вирішення загальних професійних задач.	+	+	+	+
P17. Працювати з хімічними та біологічними базами даних.	+	+		
P18. Проводити молекулярний дизайн каталізаторів, фотопровідних полімерних композитів та колоїдних розчинів наноматеріалів.	+	+		
P19. Проводити швидкий синтез та комп'ютерну генерацію різних структурно споріднених біологічно активних сполук чи матеріалів для високопродуктивного біологічного скринінгу одержаних речовин.	+	+		+
P20. Знати основні принципи виведення на ринок нового фармацевтичного препарату.	+	+	+	+
P21. Знати основні принципи роботи напівпровідникових хімічних сенсорів на основі наноматеріалів та розуміти алгоритми їх створення	+	+	+	+

7. Схема формування оцінки.

7.1 Форми оцінювання:

- семестрове оцінювання:

1. Модульна контрольна робота 1 – РН 2. – 12 балів
2. Підсумкова контрольна робота 1 – РН 1. – 12 балів
3. Модульна контрольна робота 2 – РН 2. – 12 балів
4. Підсумкова контрольна робота 2 – РН 1. – 12 балів
5. Практичний звіт – РН 3. – 6 балів
6. Домашня контрольна робота. – РН 4. – 6 балів

- підсумкове оцінювання: у формі іспиту

Формою проведення іспиту є тестова контрольна робота та співбесіда на основі неї. Результатами навчання, які оцінюються в тестовій контрольній роботі, є РН 1. Максимальна кількість балів, які можуть бути отримані студентом, становить 40 балів.

- умови допуску до підсумкового іспиту:

Студент допускається до іспиту за умови виконання всіх передбачених планом практичних робіт. Студент недопускається до іспиту, якщо під час семестру набрав менше, ніж 36 балів.

7.2 Організація оцінювання:

Модульні контрольні роботи проводяться після завершення лекцій з відповідних розділів. Проміжне тестування проводиться упродовж лекційного курсу. Оцінювання роботи студента з рішення задач проводиться на практичних заняттях у формі контрольної роботи.

7.3 Шкала відповідності оцінок

Відмінно / Excellent	90-100
Добре / Good	75-89
Задовільно / Satisfactory	60-74
Незадовільно / Fail	0-59

8. Структура навчальної дисципліни.

Тематичний план лекцій та лабораторних занять

№ п/п	Номер і назва теми*	Кількість годин		
		лекції	практичні заняття	самостійна робота
1	Тема 1. Вступ до курсу «Дизайн і розробка сучасних каталізаторів». Визначення термінів «каталіз», «каталізатор», «прекаталізатор» короткий опис основних типів каталізу, таких як «гомогенний/гетерогенний каталіз», «кисотно-основний каталіз», «окисно-відновний каталіз». Фізико-хімічні аспекти каталітичної активності, способи її кількісної характеристики та фактори, що на неї впливають. Повторення основ координаційної хімії, з розглядом складових металовмісних комплексів (центральний йон металу, ліганди) як об'єктів молекулярного дизайну.	2		
	Практичне заняття 1. Розгляд теорії кристалічного поля і зв'язок сили поля лігандів з їх донорно-акцепторними властивостями.		2	
	Самостійна робота. Найбільш вагоме відкриття у каталізі. Вивчення лекцій Нобелівських лауреатів, які отримали премії в області каталізу.			6
2	Тема 2. Найбільш розповсюджені каталітичні системи: від тонкого органічного синтезу до промисловості. Коротка історія каталізу. Вплив впровадження нових каталітичних систем на розвиток людства на прикладі синтезу аммоніаку. Приклади основних каталітичних реакцій: кисотно-основні, гідрування, крос-сполучення, метатезису. Загальний огляд каталітичних систем, які в них використовуються. Прикладні аспекти підбору каталізатору в тонкому органічному синтезі і промисловості.	2		

	Самостійна робота. Особливості масштабування каталітичних процесів для створення промислового синтезу органічних сполук.			8
3	Тема 3. Поширені металопрécurсори для одержання каталізаторів і прекаталізаторів. Переваги і недоліки використання прекаталізаторів. Визначення терміну «прécurсор» і «металопрécurсор». Одержання каталізаторів <i>in situ</i> : переваги і недоліки. Основні комерційно-доступні типи сполук металів, які можуть виступати металопрécurсорами: галогеніди, ацетати, ацетилацетонати, циклоктадієн-вмісні комплекси. Фактори, що впливають на підбір металопрécurсора: стійкість до компонентів атмосферного повітря, температурний режим зберігання, розчинність в органічних розчинниках. Приклади металопрécurсорів, що містять паладій, рутеній, родій, нікель і мідь; їх використання в основних каталітичних реакціях.	2		
	Самостійна робота. Пошук нових типів металопрécurсорів, що містять метали у низьких ступенях окиснення і стійкі до умов зберігання за кімнатної температури і відсутності інертної атмосфери.			6
4	Тема 4. Загальні аспекти дизайну каталізаторів. Ключові стадії механізмів каталітичних реакцій. Енергетичний профіль реакції. Термодинамічний і кінетичний параметри енергетики реакції. Вплив внесення каталізатора на енергетичний профіль реакцій. Способи модифікації металокомплексного каталізатора: заміна металоцентра, протийона чи ліганда-глядача; регулювання електронних та/чи стеричних характеристик компонентів координаційної сполуки. Наслідки модифікації фрагментів металокомплексного каталізатору на кінетичні і термодинамічні аспекти ключових стадій механізмів каталітичних реакцій. Висновки щодо впливу таких модифікацій на активність каталізатору на прикладі основних каталітичних реакцій.	2		
	Самостійна робота. Особливості механізмів гетерогенних каталітичних реакцій. Фактори, що впливають на каталітичну активність композитів, що містять метали платинової групи.			8
5	Тема 5. Особливості обладнання для одержання каталізаторів і аналізу їх якості. Робота в інертній атмосфері і відмінності від звичайних технік органічного синтезу. Система Шленка. Вплив необхідності збереження інертної атмосфери на методи виділення і очистки прекаталізаторів (перекристалізація і фільтрування, хроматографія, екстракція і т.п.). Відмінності аналізу чистоти металокомплексних сполук від органічних сполук. Контроль якості каталізаторів за допомогою інструментальних методів (ядерно-магнітний резонанс, рентгенівські методи дослідження, елементний аналіз, мікроскопічні методи аналізу, спектрофотометрія).	2		
	Самостійна робота. Вплив одержання гетерогенного каталізатору на його каталітичні властивості. Способи одержання і контролю якості іммобілізованих каталізаторів.			8
6	Тема 6. Особливості дизайну каталізаторів гідрування. Місце реакцій гідрування в сучасному світі. Переваги і недоліки гетерогенних і гомогенних каталізаторів даного типу реакцій. Каталізатор Уілкінсона як перший широкоживаний металокомплексний каталізатор. Детальний розгляд механізму гомогенного гідрування ненасичених вуглеводнів. Вдосконалення каталітичних систем гідрування органічних сполук як класичний приклад молекулярного дизайну. Розгляд впливу заміни ліганда та протийона (каталізатор Осборна) і центрального йону металу (каталізатор Крабтрі) на активність каталізатора. Асиметричне гідрування. Приклади використання металокомплексного гідрування в тонкому органічному синтезі і промисловості.	2		
	Практична робота 2. Детальний розгляд синтезу L-DOPA та інвермектину.		2	

	Самостійна робота. Використання гомогенного каталітичного гідрування для синтезу клінічних кандидатів, які пройшли фазу II клінічних випробувань.			4
7	Тема 7. Особливості дизайну і розробки каталізаторів крос-сполучення... Місце реакцій крос-сполучення в сучасному світі. Детальний розгляд механізму реакцій крос-сполучення. Використання принципів дизайну каталізаторів на прикладі реакцій Сузукі і Бухвальда-Хартвіга. Розгляд впливу електронних і стеричних характеристик ліганду і методу активації прекаталізатору на каталітичну активність. Особливості проведення реакцій крос-сполучення з використанням гетерогенних чи гетерогенізованих каталізаторів. Приклади використання реакцій крос-сполучення в тонкому органічному синтезі і промисловості.	2		
	Практичне заняття 3. Детальний розгляд синтезу прекаталізаторів Бухвальда G3 і PEPPSI.		2	
	Самостійна робота. Використання реакцій крос-сполучення для синтезу клінічних кандидатів, які пройшли фазу II клінічних випробувань.			6
8	Тема 8. Особливості дизайну і розробки кислотно-основних каталізаторів. Кисотно-основні взаємодії в органічній хімії. Теорія ЖМКО. Стехіометричні кислоти Льюїса. Кислоти Льюїса в каталітичних кількостях – трифлати рідкоземельних металів. Розгляд впливу кислотних каталізаторів на вихід реакції Дільса-Альдера. Гетерогенні кислоти Льюїса – SiO ₂ , полівольфрамат і полмерні сульфонові кислоти.	2		
	Самостійна робота. Новітні розробки щодо використання кислот Льюїса у воді.			6
9	Тема 9. Новітні каталітичні системи: фотоокисновідновні реакції.. Світло як рушійна сила хімічних реакцій. Фізичні основи переведення фотосенсибілізатора у збуджений стан за допомогою світла. Вплив електронної будови центрального атому на квантовий вихід фотосенсибілізатора: порівняння іридієвих і рутенієвих каталізаторів. Відмінність окисно-відновних властивостей і реакційної здатності даних сполук в основному і збудженому станах. Приклади використання фотоактивних сполук в органічному синтезі та перші спроби масштабування фотохімічних процесів.	2		
	Практичне заняття 4. Сучасне апаратне забезпечення для проведення реакцій фоторедоксу.		2	
	Самостійна робота. Пошук та аналіз нових фотосенсибілізаторів на основі інших металів.			4
10	Тема 10. Новітні каталітичні системи: заміна сполук металів платинової групи на легші метали та органокаталіз. Недоліки використання сполук металів платинової групи в каталітичних системах. Способи зменшення використання сполук платинових металів: гетерогенізація каталізатору з можливістю повторного використання, заміна на сполуки інших металів і органокаталіз. Ключові відмінності електронної будови 3d-елементів від 4d і 5d елементів, вплив на хімічні властивості їх сполук. Особливості впровадження сполук нікелю, кобальту, заліза і міді в реакції гідрування і крос-сполучення. Органокаталізатори як альтернатива металокомплексам. Пролін як хіральної кислота Льюїса в реакції Дільса-Альдера. Органокаталізатори в реакціях гідрування, крос-сполучення і фотоокисновідновних реакціях.	2		
	Практичне заняття 5. Детальне порівняння комплексів нікелю і паладію в реакції Сузукі-Міяури, а також заміна комплексів іридію на фотосенсибілізатори органічної природи в реакціях фотокаталізу.		2	

Загальний обсяг 90 год., в тому числі:

Лекції – 20 год.

Практичні – 10 год.

Самостійна робота - 60 год.

9. Рекомендовані літературні джерела:

Основна:

- [1] Catalysis: An Integrated Textbook for Students. Ulf Hanefeld (Editor), Leon Lefferts (Editor); 2008 Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA
- [2] Active Pharmaceutical Ingredients in Synthesis. Catalytic Processes in Research and Development, Anthony J. Burke, Carolina S. Marques, Nicholas J. Turner, Gesine J. Hermann; 2018 Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA
- [3] Catalysis. Concepts and Green Applications, Gadi Rothenberg; 2008 Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA

10. Додаткові джерела та інформація:

Контрольні запитання до курсу:

1. Визначення каталізу та його класифікація.
2. Переваги і недоліки гетерогенного і гомогенного каталізу.
3. TOF і TON як кількісні характеристики каталітичної активності.
4. Теорія кристалічного поля, сила поля лігандів і електронні характеристики, що на неї впливають.
5. Розрахунок кількості електронів на зовнішньому енергетичному рівні металу. Правило 18 електронів і його використання для перебачення механізмів каталітичних реакцій.
6. Синтез Борна-Габера як важлива віха впровадження каталітичних процесів в промисловість.
7. Загальний опис реакцій гідрування, крос-сполучення, метатезису і приклади каталізаторів, які в них використовуються.
8. Особливості підбору каталізатору в тонкому органічному синтезі і промисловості.
9. Синтез адіпонітрилу.
10. Синтез оцтової кислоти.
11. Прекаталізатори: переваги та недоліки.
12. Одержання каталізатору *in situ*: переваги та недоліки.
13. Основні металопрécurсори паладію, умови їх зберігання, розчинність в різних розчинниках і особливості використання.
14. Основні металопрécurсори родію, умови їх зберігання, розчинність в різних розчинниках і особливості використання.
15. Основні металопрécurсори міді, умови їх зберігання, розчинність в різних розчинниках і особливості використання.
16. Вплив каталізатора на енергетичний профіль реакції. Кінетичні і термодинамічні параметри реакції на її енергетичному профілі.
17. Основні елементарні стадії каталітичних реакцій: окиснювальне приєднання, відновлювальне елімінування, переметалювання та інші.
18. Вплив електронних і стеричних властивостей ліганда-глядача на основні елементарні стадії каталітичних реакцій.

19. Вплив заміни аніону в металокомплексному катализаторі на основні стадії каталітичних реакцій.
20. Фактори, що можуть впливати на активність гетерогенних катализаторів.
21. Порівняльна характеристика лінії Шленка і глоубоксу для роботи в інертній атмосфері.
22. Особливості виділення і зберігання речовин, що чутливі до компонентів атмосферного повітря.
23. Відмінність аналізу чистоти металокомплексних катализаторів від більшості органічних речовин.
24. Дані, які можна отримати за допомогою методів ядерно-магнітного резонансу, рентгенівських методи дослідження, елементного аналізу, мікроскопічних методів дослідження, спектрофотометрії. Межі застосування даних методів.
25. Особливості контролю якості гетерогенних катализаторів.
26. Переваги і недоліки гетерогенного і гомогенного гідрування.
27. Каталітичний цикл реакції гомогенного гідрування за участі катализатору Уілкінсона.
28. Принципи молекулярного дизайну для модифікації металокомплексного катализатору на прикладі катализаторів Уілкінсона, Озборна і Крабтрі.
29. Гомогенне гідрування у синтезі L-DOPA
30. Гомогенне гідрування у синтезі інверміктину.
31. Теоретичні засади асиметричного гідрування.
32. Каталітичний цикл реакції Сузукі-Міяури за участі тетракістрифенілфосфінпаладію.
33. Синтез прекатализаторів Бухвальда G3 і механізм утворення каталітично активної частинки.
34. Стеричні і електронні особливості лігандів dppf і XPhos як приклад лігандного дизайну.
35. Фосфіни vs NHC-карбени: спільні і відмінні риси як лігандів-глядачів для паладій-вмісних катализаторів реакцій крос-сполучення.
36. Приклади використання реакцій крос-сполучення в отриманні сполук-кандидатів II фази клінічних досліджень.
37. Теорія жорстких і м'яких кислот і основ в каталізі.
38. Вплив додавання кислот Льюїса на реакцію Дільса-Альдера.
39. Перехід від стехіометричних до каталітичних кількостей кислот Льюїса в органічному синтезі.
40. Гетерогенні кислоти Льюїса.
41. Особливості використання кислот Льюїса у воді.
42. Механізм переведення фотоактивних комплексів металів у збуджений стан за допомогою світла.
43. Відмінності іридій- і рутенійвмісних катализаторів у фотокаталізі.
44. Приклади фотоокисновідновних реакцій за участі іридій- і рутенійвмісних катализаторів.
45. Обладнання для проведення реакцій під дією світла.
46. Фотокатализатори органічної природи.
47. Проблема використання сполук металів платинової групи в каталізі і загальні способи її подолання.
48. Особливості хімії 3d-елементів у порівнянні з більш важкими металами релевантно до сфери каталізу.
49. Порівняння комплексів нікелю і паладію в реакції Сузукі-Міяури.
50. Пролін як органічна хіральна кислота Льюїса в реакції Дільса-Альдера.