

**ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
«УЖГОРОДСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ХІМІЇ ТА ЕКОЛОГІЇ
Кафедра фізичної та колоїдної хімії**



“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Директор ІНІХЕ ДВНЗ «УжНУ»

Василь ЛЕНДЄЛ

28 червня 2024 року

**РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ
ФІЗИЧНА ХІМІЯ КАТАЛІЗАТОРІВ**

Рівень вищої освіти	другий (магістерський) рівень
Галузь знань	01 Освіта/Педагогіка
Спеціальність	014 Середня освіта
Предметна спеціальність	014.06 Середня освіта (Хімія)
Освітньо-наукова програма	Хімія
Статус дисципліни	Дисципліна за вибором
Мова навчання	Українська

Ужгород 2024

Робоча програма навчальної дисципліни «**Фізична хімія каталізаторів**» для здобувачів вищої освіти галузі знань **01 Освіта/Педагогіка** спеціальності **014 Середня освіта**, предметної спеціальності **014.06 Середня освіта (Хімія)** освітньо-наукової програми **Хімія**.

Розробники: Козьма А.А., кандидат хімічних наук,
Голуб Н.П., доцент, кандидат хімічних наук.

Робочу програму розглянуто та затверджено на засіданні кафедри *фізичної та колоїдної хімії* протокол № 14 від 26 червня 2024 р.

Завідувач кафедри  _____ Неля ГОЛУБ

Схвалено науково-методичною комісією навчально-наукового інституту хімії та екології протокол № 11 від 28 червня 2024 р.

Голова науково-методичної комісії  _____ Михайло СЛИВКА

©Козьма А.А., Голуб Н.П., 2024 р.

© ДВНЗ «Ужгородський національний університет», 2024 р.

1. ОПИС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Найменування показників	Розподіл годин за навчальним планом
	Денна форма навчання
Кількість кредитів ЄКТС – 4	Рік підготовки: 2
Загальна кількість годин – 120	
Кількість модулів – 2	Семестр: 3
Тижневих годин: 2 аудиторних – 42 самостійної роботи студента – 78	Лекції:
	18
	Практичні (семінарські):
	0
Вид підсумкового контролю: залік	Лабораторні:
	24
Форма підсумкового контролю: усний	Самостійна робота:
	78

2. МЕТА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Метою вивчення навчальної дисципліни «**Фізична хімія каталізаторів**» є забезпечення необхідної хімічної підготовки студентів зі спеціальності 014 Середня освіта, предметної спеціальності 014.06 Середня освіта (Хімія), які здобувають вищу освіту другого (магістерського) рівня в Навчально-науковому інституті хімії та екології ДВНЗ «Ужгородський національний університет». Знання теоретичних основ зазначеної дисципліни необхідні для розуміння фізичної хімії каталізаторів, які широко використовуються у процесах генерації енергії з традиційних енергоносіїв (нафти, газу та ін.), альтернативних джерел (фотокаталітичного одержання водню), а також каталізаторів, що дозволяють знижувати антропогенний вплив на навколишнє середовище, очищуючи атмосферне повітря, воду, ґрунти. Вивчення вказаного предмету дозволить студентам освоїти різні сучасні методи фізико-хімічного дослідження каталізаторів: термічні; термодинамічні; інфрачервоної спектроскопії, атомно-абсорбційної спектроскопії, рентгенівської спектрометрії та ін., що забезпечить

високопрофесійну підготовку учителя хімії відповідно до сучасних вимог.

3. ПЕРЕДУМОВИ ДЛЯ ВИВЧЕННЯ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Вивчення навчальної дисципліни «**Фізична хімія каталізаторів**» базується на загальних компетентностях випускників ОС «Бакалавр», є самостійним компонентом і не пов'язане з попереднім вивченням інших навчальних дисциплін, згідно освітньо-наукової програми «Хімія» з предметною спеціальністю 014.06 Середня освіта (Хімія) підготовки здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти.

4. ОЧІКУВАНІ РЕЗУЛЬТАТИ НАВЧАННЯ

Відповідно до освітньо-наукової програми «Хімія» за спеціальності 014 Середня освіта, предметної спеціальності 014.06 Середня освіта (Хімія), вивчення дисципліни «**Фізична хімія каталізаторів**» сприяє формуванню у здобувачів вищої освіти таких компетентностей, та опануванню наступних знань та умінь: уміння класифікувати, упорядковувати і узагальнювати навчальний матеріал відповідно до умов навчального процесу, потреб формування ключових компетентностей та інтегрованого навчання; називати і аналізувати шляхи мотивації здобувачів освіти до саморозвитку; застосовувати принципи і методи наукового пізнання до визначення проблем у сфері науково-педагогічної діяльності, пропонувати шляхи їх вирішення; демонструвати дотримання прав інтелектуальної власності на результати дослідницької/інноваційної діяльності; уміти використовувати в освітньому процесі сучасні засоби навчання хімії, відкриті інформаційні ресурси, цифрові технології та демонструвати уміння створення власних інформаційних ресурсів з хімії дидактичного призначення; уміти організовувати та володіти методологією наукового дослідження в області сучасної фізичної хімії каталізаторів.

5. ЗАСОБИ ДІАГНОСТИКИ ТА КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ НАВЧАННЯ

Засоби оцінювання та методи демонстрування результатів навчання

Засобами оцінювання та методами демонстрування результатів навчання з навчальної дисципліни є якість виконання та оформлення лабораторних робіт з курсу та написання модульних контрольних робіт, залік.

Форми контролю та критерії оцінювання результатів навчання

Форми поточного контролю: лабораторні роботи (якість виконання, відповіді на контрольні питання).

Форма модульного контролю: модульні контрольні роботи №1 та №2 у тестовій формі системи Moodle.

Форма підсумкового семестрового контролю: залік.

Розподіл балів, які отримують здобувачі вищої освіти за Модуль 1

Поточне оцінювання та самостійна робота		Модульна контрольна робота 1	Сума
T1	T2	50	100
25	25		

T1, T2 ... – теми.

Розподіл балів, які отримують здобувачі вищої освіти за Модуль 2

Поточне оцінювання та самостійна робота		Модульна контрольна робота 2	Сума
T3	T4	50	100
25	25		

T3, T4 ... – теми.

Оцінювання окремих видів навчальної роботи з дисципліни «Фізична хімія каталізаторів»

Вид діяльності здобувача вищої освіти	Модуль 1		Модуль 2	
	Кількість	Максимальна кількість балів (сумарна)	Кількість	Максимальна кількість балів (сумарна)
Лабораторні заняття (допуск, виконання та захист)	2	10	2	10
Комп'ютерне тестування при тематичному оцінюванні	2	10	2	10
Есе (письмовий колоквіум)	2	10	2	10
Самостійна робота студента	2	20	2	20
Модульна контрольна робота	1	50	1	50
Разом	9	100	9	100

Критерії оцінювання підсумкового семестрового контролю

Завданням підсумкового контролю є перевірка розуміння здобувачем освіти програмового матеріалу в цілому, логіки та взаємозв'язків між окремими розділами, здатності творчого використання накопичених знань, уміння сформулювати своє ставлення до певної проблеми навчальної дисципліни.

Кількість балів, яку набрав студент з курсу «Фізична хімія каталізаторів», визначається сумою балів з відповідних модулів дисципліни. Загальна кількість балів складає 100%. Переведення кількості набраних балів в оцінку здійснюється згідно схеми:

Відсоток від загальної суми балів	Диференційована шкала	Шкала ECTS
90-100	відмінно	A
82-89	добре	B
74-81		C
64-73	задовільно	D
60-63		E
35-59	незадовільно	FX
0-34		F

Залік виставляється автоматично, якщо здобувачем освіти за результатами підсумкового балу було набрано мінімум 60 % від можливих балів і здобувач освіти погоджується із оцінкою. Відповідно, ті здобувачі, хто не набрав 60% балів, але отримав більше 34 % зобов'язані здавати залік. Студенти які не виконали навчальну програму та отримали 34 % і менше – до заліку не допускаються. Студенти, які не здали і не відпрацювали заняття експериментального циклу (лабораторні роботи), до заліку не допускаються, незалежно від кількості набраних балів за теоретичний цикл (колоквіуми, комп'ютерне тестування, презентації, модульні контрольні роботи). Результати навчання, отримані студентами в результаті неформального навчання (сертифікатні програми, тренінги (стажування), короткотермінові курси, літні школи під керівництвом тренерів, репетиторів та інших фахівців тощо) та інформального навчання (самоорганізоване здобуття певних компетентностей, зокрема під час повсякденної діяльності, пов'язаної з професійною (самостійне опрацювання тематичних наукових праць), громадською або іншою діяльністю), можуть бути зараховані рейтинговими балами як окремий зріз знань (тема).

Критерії оцінки поточної навчальної діяльності:

- повна і правильна відповідь на теоретичні запитання та виконані або не повністю виконані практичні завдання (при наявності) - оцінка 90-100 балів;
- достатня відповідь на теоретичні запитання з деякими неточностями та вірно виконане практичне завдання (при наявності) - оцінка 70-89 балів;
- поверхова відповідь на теоретичне запитання та виконане практичне завдання без достатніх пояснень (при наявності) - оцінка 60-69 балів.

Оцінка «незадовільно» виставляється у тому випадку, якщо у здобувача освіти:

- поверхова відповідь на теоретичне запитання;
- відсутність будь-якої відповіді на теоретичне запитання,
- здобувач освіти набрав 59 і менше балів.

Критерії оцінки модульної контрольної роботи:

- Оцінку «відмінно» (90-100 балів) одержує студент, який дав не менше 90 % правильних відповідей на стандартизовані тестові завдання, без помилок відповідей на письмові завдання.

- Оцінку «добре» (74-89 балів) одержує студент, який дав не менше 74 % правильних відповідей на стандартизовані тестові завдання, припустився окремих незначних помилок у відповідях на письмові завдання.
- Оцінку «задовільно» (60-73 бали) одержує студент, який дав не менше 60 % правильних відповідей на стандартизовані тестові завдання, припустився значних помилок у відповідях на письмові завдання.
- Оцінку «незадовільно» (0-59 балів) одержує студент, який дав менше 60 % правильних відповідей на стандартизовані тестові завдання, припустився грубих помилок у відповідях на письмові завдання або не надав відповіді на поставлені перед ним письмові завдання.

Критерії оцінки підсумкового модуля (іспит):

- оцінку «відмінно» (90-100 балів, А) заслуговує студент, який глибоко засвоїв навчально-програмовий матеріал; вміє самостійно виконувати передбачені програмою завдання, використовує набуті знання і вміння у нестандартних практичних ситуаціях; зразково засвоїв основну й ознайомлений з додатковою навчальною літературою; усвідомлює взаємозв'язок основних понять дисципліни та їх значення для його майбутньої професії; самостійно визначає важливі цілі власної навчальної діяльності; проявляє неординарні творчі підходи й використовує їх при вивченні навчально-програмового матеріалу; здібний до наукової роботи.
- оцінку «добре» (82-89 балів, В) – заслуговує студент, який добре опанував і застосовує на практиці навчально-програмовий матеріал; здібний до самостійного пошуку навчальної й наукової інформації; може аналізувати та розв'язувати професійно спрямовані проблеми, але у відповідях допускає незначні помилки, які, однак, самостійно виправляє;
- оцінку «добре» (74-81 бал, С) заслуговує студент, який загалом виконав роботу, але допускає певну кількість помилок; здатний порівнювати, узагальнювати, систематизувати навчальну інформацію під керівництвом викладача; досить добре опанував навчально-програмовий матеріал, засвоїв базову навчальну літературу;
- оцінку «задовільно» (64-73 бали, D) – заслуговує студент, який знає основний навчально-програмовий матеріал в достатньому обсязі, що дозволяє йому продовжувати своє навчання та самовдосконалюватись у майбутній професії; виконує завдання зі значною кількістю помилок, але з допомогою викладача знаходить шляхи їх виправлення; ознайомлений з основною навчальною літературою;
- оцінку «задовільно» (60-63 балів, E) – заслуговує студент, який освоїв основний навчально-програмовий матеріал в необхідному для подальшого навчання обсязі, зможе використовувати його у майбутній професії, а виконання ним навчальних завдань відповідає мінімальним критеріям;
- оцінку «незадовільно» (35-59 балів, FX) – отримує здобувач освіти, який має суттєві прогалини в знаннях основного програмового матеріалу, припускається вагомих помилок у виконанні навчальних завдань.

- оцінку «незадовільно» (0-34 балів, F) – заслуговує студент, який засвоїв навчальний матеріал лише на рівні елементарного розпізнавання; при виконанні завдань допускає грубі помилки; не спроможний продовжувати навчання і не може займатись професійною діяльністю без повторного вивчення даної дисципліни.

6. ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

6.1. Зміст навчальної дисципліни

Модуль 1. ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ТА ТЕРМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ КАТАЛІЗАТОРІВ

Змістовий модуль №1. Фізико-хімічні властивості каталізаторів.

Тема 1. Фізико-хімічні дослідження каталізаторів.

Густина та пористість каталізаторів. Гідростатичне визначення густини каталізаторів. Пікнометричне визначення густини каталізаторів. Рентгенівські дослідження густини. Методи наближеної оцінки густини. Дослідження пористості каталізаторів. Питома поверхня каталізаторів, її експериментальне визначення.

Кислотність та основність каталізаторів. Кислоти за Бренстедом та Лоурі. Кислоти за Льюїсом. Функція Гаммета. Бренстедівські та льюїсівські кислотні центри твердих каталізаторів. Визначення кислотності твердих каталізаторів.

Оптичні характеристики фосфатних каталізаторів. Методи визначення показників заломлювання фосфатних каталізаторів.

Змістовий модуль №2. ТЕРМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ КАТАЛІЗАТОРІВ

Тема 2. Термічні дослідження каталізаторів.

Термічні та термодинамічні властивості каталізаторів. Дослідження термічних властивостей каталізаторів. Фазові переходи каталізаторних зразків. Диференціальний термічний метод (ДТМ). Основні принципи, термопари та еталони ДТМ. Дериватографічний метод дослідження каталізаторів. Термогравіметричний аналіз.

Дослідження термодинамічних властивостей каталізаторів. Вимірювання теплоємності каталізаторів. Експериментальні методи визначення термодинамічних функцій каталізаторів. Емпіричні та напівемпіричні методи дослідження термодинамічних функцій твердих каталізаторів. Визначення ентальпії плавлення каталізаторів за різними методами.

Модуль 2. СПЕКТРАЛЬНІ ВЛАСТИВОСТІ КАТАЛІЗАТОРІВ

Змістовий модуль №3. СПЕКТРОСКОПІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ КАТАЛІЗАТОРІВ

Тема 3. Спектроскопічні методи дослідження каталізаторів.

Метод коливальної спектроскопії. Енергетичні рівні. Види коливальних частот. Класифікація нормальних коливань. Кінематична взаємодія. Нормальні

коливання. Коливання багатоатомних молекул. Ізодесмічні та анізодесмічні структури. Лібрація молекул.

Апаратура інфрачервоної спектроскопії. Будова та принцип роботи двопробного ІЧ-спектрофотометра. Пробопідготовка каталізаторних зразків. Експериментальні коливальні спектри. Аналіз фосфатних каталізаторів за ІЧ-спектрами поглинання. Ідентифікація амонійфосфатів та гідратних фосфатів за їх інфрачервоними спектрами.

Атомно-абсорбція спектроскопія (ААС) каталізаторів. Суть методу ААС. Аналіз зразків каталізаторів за методом ААС.

Змістовий модуль №4. РЕНТГЕНІВСЬКА ДИФРАКЦІЯ КАТАЛІЗАТОРІВ

Тема 4. Рентгенівські дослідження каталізаторів.

Рентгенівські спектри поглинання. Закон Мозлі. Закон Вульфа–Брегга. Рентгенівські методи дослідження твердих каталізаторів. Структура індивідуальних каталізаторів. Фазовий склад складних та комбінованих каталізаторних зразків. Рентгенівський фазовий аналіз. Будова та принцип роботи конвенційного рентгенівського дифрактометра. Комп'ютерні програми для аналізу експериментальних рентгенівських дифрактограм.

Рентгенівський фазовий аналіз фосфатних каталізаторів. Індексція експериментальних дифрактограм фосфатних зразків. Розрахунки параметрів кристалічної ґратки фосфатних каталізаторів.

6.2. Структура навчальної дисципліни

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин 120					
	Усього	у тому числі				
		лекції	практичні (семінарські)	лабораторні	індивідуальна робота	самостійна робота
Модуль 1. Фізико-хімічні та термічні властивості каталізаторів						
Змістовий модуль 1. Фізико-хімічні властивості каталізаторів						
Тема 1. Фізико-хімічні дослідження каталізаторів	30	4		6		20
Разом за змістовим модулем 1	30	4		6		20
Змістовий модуль 2. Термічні властивості каталізаторів						
Тема 2. Термічні дослідження каталізаторів	30	5		6		19
Разом за змістовим модулем 2	30	5		6		19
Модульна контрольна робота 1						
Разом за Модуль 1	60	9		12		39
Модуль 2. Спектральні властивості каталізаторів						
Змістовий модуль 3. Спектроскопічні властивості каталізаторів						
Тема 3. Спектроскопічні методи дослідження каталізаторів	30	4		6		20
Разом за змістовим модулем 3	30	4		6		20
Змістовий модуль 4. Рентгенівська дифракція каталізаторів						
Тема 4. Рентгенівські дослідження каталізаторів	30	5		6		19
Разом за змістовим модулем 4	30	5		6		19
Модульна контрольна робота 2						
Разом за Модуль 2	60	9		12		39
Разом за підсумковий модуль	120	18		24		78

6.3. Теми лабораторних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1.	Фізико-хімічні дослідження каталізаторів	6
2.	Термічні дослідження каталізаторів	6
3.	Спектроскопічні методи дослідження каталізаторів	6
4.	Рентгенівські дослідження каталізаторів	6
Разом		24

6.4. Самостійна робота

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1.	Оптичні характеристики фосфатних каталізаторів	20
2.	Дослідження термодинамічних властивостей каталізаторів	19
3.	Атомно-абсорбція спектроскопія (ААС) каталізаторів	20
4.	Рентгенівський фазовий аналіз фосфатних каталізаторів	19
Разом		78

7. ІНСТРУМЕНТИ, ОБЛАДНАННЯ ТА ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ, ВИКОРИСТАННЯ ЯКИХ ПЕРЕДБАЧАЄ НАВЧАЛЬНА ДИСЦИПЛІНА

Технічні засоби: мультимедійний проектор EPSON EB-X-400 – 3 шт., мультимедійний проектор EPSON EB-X05, персональний комп'ютер Samsung, персональний комп'ютер LG – 4 шт., комп'ютер портативний Samsung RV 518, комп'ютер портативний Acer E5-521, принтер – 2 шт.

Водночас використовуються реактиви та матеріали, згідно плану лабораторних робіт з навчальної дисципліни.

Обладнання: Навчальне та лабораторне обладнання, згідно з діючими нормами оснащення: атомно-адсорбційний спектрометр Aurora Instrument AI 1200, аналітичні терези WA-21- 2 шт., терези технічні ВКЛТ-160 - 8 шт., терези електронні AVAgo з 2 чашами 0,1-2000 г МНЗ – 2 шт., терези електронні Pocket Scale MH 200 TS-C06 - 4 шт., прилад для визначення кута змочування поверхні, рефрактометр П-161, фотоколориметр КФК- 2 – 2 шт., спектрофотометр СФ-46 – 2 шт., рН-метр-іономір ЕКОТЕСТ-120, стіл титрувальний, нефелометр, сталагмометр – 8 шт., пікнометр – 5 шт., віскозиметр – 4 шт., прилад Ребіндера – 4 шт., каталітична установка для визначення швидкості гомогенних каталітичних реакцій та енергії активації процесів – 3 шт., каталітична установка для визначення швидкості гетерогенних каталітичних реакцій та енергії активації процесів – 3 шт., каталітична установка для визначення швидкості фотохімічних реакцій та енергії активації процесів – 2 шт., установка для дослідження кінетики термічного розкладу речовини (у т.ч. реактор, термостат) – 2 шт., реохордний міст Р-4833– 4 шт., звуковий генератор – 2 шт., осцилограф – 2 шт., магазин опорів Р-33 – 4 шт., реохорди – 4 шт., електроди – 10 шт., терези технічні – 8 шт., насос Комовського – 2 шт., сушильна шафа, муфельна піч, електроплитки – 8 шт., тощо.

Штативи з пробірками, штативи з мірними пробірками, лабораторні залізні штативи, хімічний посуд та реактиви, гумові груші, наважки та інші.

Програмне забезпечення: Windows 10, Microsoft Power Point, Moodle (e-learn.uzhnu.edu.ua), Google Meet, Viber, Zoom (безкоштовна версія).

8. РЕКОМЕНДОВАНІ ДЖЕРЕЛА ІНФОРМАЦІЇ

Основна література

1. Фізична хімія каталізаторів: Методичні вказівки до лабораторного практикуму для студентів ОС «Магістр» (спеціальність 102 Хімія та спеціальність 014.06 Середня освіта. Хімія). Укладачі: А.А. Козьма, Н.П. Голуб; ДВНЗ «Ужгородський національний університет». Ужгород: ПП Роман О.І., 2024. 52 с.
<https://dspace.uzhnu.edu.ua/jspui/handle/lib/67223>
2. Kozma A.A. Employing Young's modulus and Debye temperature to calculate the elastic, thermodynamic and thermophysical properties of titanium oxynitrides. *Royal Society Open Science*, 2024, 11, 231797 (1–49). DOI: <https://doi.org/10.1098/rsos.231797>
3. Голуб Н.П., Голуб Є.О., Козьма А.А., Глебена Г.Ф., Михальчук Г.М., Кузнєцова А.О. Синтез та дослідження складної манган-нікельфосфатної каталітичної системи типу $x\text{Mn}_2\text{P}_2\text{O}_7 \cdot y\text{Ni}_3(\text{PO}_4)_2$ методом диференційного термічного аналізу. *Наук. вісник Ужгородського у-ту. Серія «Хімія»*. 2023, 2(50). 53-61. DOI: <https://doi.org/10.24144/2414-0260.2023.2.53-61>
4. Голуб Н.П., Голуб Є.О., Козьма А.А., Кузнєцова А.О., Гурч А.В. ІЧ-спектроскопічний аналіз складного оксидного каталізатора $50\%\text{Cu}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 50\%\text{Ni}_3(\text{PO}_4)_2$. *Наук. вісник Ужгородського у-ту. Серія «Хімія»*. 2022, 2(48). 95-99. <https://doi.org/10.24144/2414-0260.2022.2.95-99>
5. Голуб Н.П., Голуб Є.О., Козьма А.А., Кузнєцова А.О., Гурч А.В., Гернешій Я.М. Дослідження кислотних властивостей складного оксидного каталізатора $50\%\text{Cu}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 50\%\text{Ni}_3(\text{PO}_4)_2$. *Наук. вісник Ужгородського у-ту. Серія «Хімія»*. 2022, 2(48). 108-115. <https://doi.org/10.24144/2414-0260.2022.2.108-115>
6. Голуб Н.П., Голуб Є.О., Гурч А.В., Козьма А.А., Соломон А.М., Кузнєцова А.О., Рентгенівський фазовий аналіз складного оксидного каталізатора $50\%\text{Cu}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 50\%\text{Ni}_3(\text{PO}_4)_2$. *Наук. вісник Ужгородського у-ту. Серія «Хімія»*. 2021, 2(46). 92-97. <https://doi.org/10.24144/2414-0260.2021.2.92-97>
7. Kozma A., Golub N., Golub Ye., Sidey V., Solomon A., Kuznietsova A., Herneshii Ya. Thermodynamic and thermochemical properties of $\text{Cu}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$. *Chemija*, 2023, 34(1), 19–31. DOI: <https://doi.org/10.6001/chemija.2023.34.1.3>
8. Kozma A., Malinina A., Golub E., Rusyn V., Golub N., Dziamko Vit., Dziamko Vik., Malinin O., Solomon A. Thermodynamic, thermochemical and thermophysical properties of HgBr_2 . *Chemija*, 2023, 34(2), 71–82. DOI: <https://doi.org/10.6001/chemija.2023.34.2.1>

Допоміжна література

1. Козьма А.А., Голуб Н.П. Методичні вказівки до лабораторного практикуму з курсу «Сучасний каталіз» для студентів ОС «Магістр» (спеціальність 102 Хімія). Ужгород: ПП Роман О.І., 2024. 84 с.
<https://dspace.uzhnu.edu.ua/jspui/handle/lib/63679>
2. Козьма А.А., Голуб Н.П. Методичні вказівки до лабораторного практикуму зі спецкурсу «Каталіз в енергетиці та екології» для студентів ОС «Магістр» (спеціальність 102 Хімія та спеціальність 014.06 Середня освіта. Хімія). Ужгород: ПП Роман О.І., 2024. 20 с. <https://dspace.uzhnu.edu.ua/jspui/handle/lib/68715>

3. Козьма А.А., Голуб Н.П. Методичні вказівки до лабораторного практикуму зі спецкурсу «Виробничий потенціал Закарпаття на основі природних сорбентів та регіональної сировини» для студентів ОС «Магістр» (спеціальність 101 Екологія). Ужгород: ПП Роман О.І., 2024. 32 с.
<https://dspace.uzhnu.edu.ua/jspui/handle/lib/68716>
4. Інструментальні методи досліджень в технології кераміки та скла [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 161 «Хімічні технології та інженерія» спеціалізації «Хімічні технології неорганічних керамічних матеріалів» КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: Л.М. Спасьонова, А.П. Яценко. Електронні текстові дані (1 файл: 2,4 Мбайт). Київ: *КПІ ім. Ігоря Сікорського*, 2018. 85 с.
5. Барчій І.Є., Переш Є.Ю., Різак В.М., Худолій В.О. Гетерогенні рівноваги. Ужгород: *ТДВ «Патент»*, 2004. 278 с.
6. Переш Є.Ю., Різак В.М., Семрад О.О. Хімія твердого тіла. Ужгород: *ТДВ «Патент»*, 2011. 448 с.
7. Кохан О.П. Методичні вказівки до проведення лабораторних робіт з дисципліни «Фізичні методи дослідження». Ужгород: *УжНУ*, 2010. 40 с.
8. Nakamoto K. Infrared and Raman Spectra of Inorganic and Coordination Compounds: Theory and Applications in Inorganic Chemistry, 6th ed., *John Wiley & Sons, Hoboken, New Jersey* (2009).

Інформаційні ресурси в мережі Інтернет

1. Електронний репозитарій Ужгородського національного університету - dspace.uzhnu.edu.ua
2. Служба пошуку наукових статей та матеріалів Google Академія scholar.google.com.ua
3. www.nbu.gov.ua (бібліотека ім.В.І.Вернадського).
4. Система електронного навчання УжНУ - e-learn.uzhnu.edu.ua
5. Journal of Catalysis. (Elsevier, Netherlands).
<https://www.sciencedirect.com/journal/journal-of-catalysis>
6. Molecular Catalysis. (Elsevier, Netherlands)
<https://www.sciencedirect.com/journal/molecular-catalysis>
7. Catalysts. (Office Locations: Basel, Switzerland)
<https://www.mdpi.com/journal/catalysts>