

ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД  
«УЖГОРОДСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»  
Навчально-науковий інститут хімії та екології  
Кафедра неорганічної хімії



«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Директор ІНІ хімії та екології

проф. Василь ЛЕНДЄЛ

«27» серпня 2023 року

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ  
«СИМЕТРІЯ ТА ВЛАСТИВОСТІ КРИСТАЛІВ»

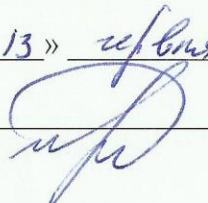
Рівень вищої освіти	другий
Галузь знань	10 Природничі науки
Спеціальність	102 Хімія
Освітня програма	Хімія
Статус дисципліни	вибіркова
Мова навчання	українська

Робоча програма навчальної дисципліни «Симетрія та властивості кристалів» для здобувачів другого рівня вищої освіти галузі знань 10 Природничі науки спеціальності 102 Хімія освітньої програми Хімія

**Розробник:** Кохан Олександр Павлович, доцент, кандидат хімічних наук, доцент кафедри неорганічної хімії ДВНЗ «Ужгородський національний університет»

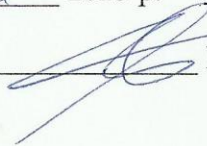
Робочу програму розглянуто та затверджено на засіданні кафедри неорганічної хімії

протокол № 12 від «13» серпня 2023 р.

Завідувач кафедри  Ігор БАРЧІЙ

Схвалено науково-методичною комісією Навчально-наукового інституту хімії та екології

протокол № 10 від «26» серпня 2023 р.

Голова науково-методичної комісії  Михайло СЛИВКА

© \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

© ДВНЗ «Ужгородський національний університет 20\_\_ р.

## 1. ОПИС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

<b>Найменування показників</b>	<b>Розподіл годин за навчальним планом</b>	
	Денна форма навчання	Заочна форма навчання
Кількість кредитів ЄКТС – 4	Рік підготовки	
Загальна кількість годин – 120	1	–
Кількість модулів – 2	Семестр:	
Тижневих годин для денної форми навчання:  аудиторних – 3  самостійної роботи студента – 4	1	–
	Лекції:	
	18	–
	Практичні (семінарські):	
		–
Вид підсумкового контролю: залік	Лабораторні:	
	24	–
Форма підсумкового контролю: усний залік	Самостійна робота:	
	78	–

## 2. МЕТА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Метою вивчення навчальної дисципліни «Симетрія та властивості кристалів» є глибоке вивчення та засвоєння студентами знань про елементи та операції симетрії кристалів, матричного аналізу при вивченні взаємних симетричних перетворень; вивчення граничних груп симетрії і їх зв'язок із 32 класами симетрії; вивчення фізичних властивостей речовин виходячи з їх кристалічної структури, прогнозування фізичних властивостей і рекомендації окремих матеріалів в ролі робочих елементів у різних приладах електронної техніки; засвоєння методів встановлення просторового розміщення атомів – складових сполук у їхніх кристалах, вивчення фізичних властивостей речовин виходячи з їх кристалічної будови.

Відповідно до освітньої програми, вивчення дисципліни сприяє формуванню у здобувачів вищої освіти таких компетентностей:

- ЗК 1. Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності
- ЗК 3. Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу.
- ЗК 4. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.
- ЗК 7. Здатність використовувати інформаційні та комунікаційні технології.
- ЗК 14. Здатність до пошуку, критичного аналізу та обробки інформації з різних джерел.
- ФК 1. Здатність використовувати закони, теорії та концепції хімії у поєднанні із відповідними математичними інструментами для опису природних явищ.
- ФК 2. 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.
- ФК 5. Здатність застосовувати методи комп'ютерного моделювання для вирішення наукових, хіміко-технологічних проблем та проблем хімічного матеріалознавства
- ФК 6. Здатність здобувати нові знання в галузі хімії та інтегрувати їх із уже наявними

## 3. ПЕРЕДУМОВИ ДЛЯ ВИВЧЕННЯ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Передумовою вивчення навчальної дисципліни «Симетрія та властивості кристалів» є наявність у здобувача освітнього ступеня бакалавра хімії.

## 4. ОЧІКУВАНІ РЕЗУЛЬТАТИ НАВЧАННЯ

Відповідно до освітньої програми «Хімія», вивчення навчальної дисципліни повинно забезпечити досягнення здобувачами освіти таких результатів навчання:

Знання та розуміння основних законів кристалографії; вміння виводити 32 види симетрії і орієнтуватися в їх номенклатурі; засвоєння морфології кристалів всіх сингоній; знання внутрішньої будови кристалів, ґраток Браве, просторових груп, уміння описати структуру різних речовин та відслідковувати генетичний зв'язок між різними типами структур. Одержання кристалофізичних уявлень про обумовлені симетрією кристалів властивості, головні з яких зумовлюють практичне використання речовин; Належне володіння методами комп'ютерного моделювання структури; користування комп'ютерною технікою та програмним забезпеченням для проведення обчислень та моделювання властивостей.

Уміння передбачати фізичні властивості сполуки виходячи із структури її кристалів. Засвоєння методів встановлення просторового розміщення атомів – складових сполук у їхніх кристалах. Спроможність пояснення скалярних, векторних, тензорних електричних

та оптичних властивостей кристалів, виходячи з їх кристалохімічних характеристик. Вміння прогнозувати фізичні властивості і рекомендації окремих матеріалів як робочих елементів у різних приладах електронної техніки; вивчення фізичних властивостей речовин виходячи з їх кристалічної будови.

## **5. ЗАСОБИ ДІАГНОСТИКИ ТА КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ НАВЧАННЯ**

### **Засоби оцінювання та методи демонстрування результатів навчання**

Засобом оцінювання результатів навчання з навчальної дисципліни слугує накопичувальна бально-рейтингова система, що передбачає оцінювання знань студентів за усі види аудиторної та позааудиторної навчальної діяльності, спрямовані на опанування навчального навантаження з освітньої програми. Оцінювання здійснюється шляхом проведення поточного, модульного та підсумкового контролю знань. Поточне оцінювання рівня засвоєння теми здійснюється на кожному лабораторному занятті. Модульний контроль знань уявляє собою рейтингову оцінку, що формується на основі поточних оцінок та результатів виконання модульних контрольних робіт. Підсумкова оцінка дорівнює сумарній рейтинговій та може бути встановлена за підсумками складання екзамену.

Методом демонстрування результатів навчання є застосування рейтингової системи контролю знань, згідно з якою протягом семестру кожен студент набирає певну кількість балів за виконані завдання при проведенні лабораторних занять та написання контрольних робіт. Інформація про набрану суму балів на кожному занятті доступна протягом семестру кожному студенту. Успішність визначається відсотком набраної студентом сумарної кількості балів від максимально можливої.

Перевід відсотку набраної студентом суми балів від максимально можливої в оцінку здійснюється згідно наступної шкали:

Відсоток набраної суми балів за всі види навчальної діяльності від максимально можливої	Оцінка ECTS	Оцінка за національною шкалою
		для заліку
90 – 100	A	зараховано
82-89	B	
74-81	C	
64-73	D	
60-63	E	
35-59	FX	не зараховано з можливістю повторного складання
0-34	F	не зараховано з обов'язковим повторним вивченням дисципліни

### **Форми контролю та критерії оцінювання результатів навчання**

Форми поточного контролю: усне тематичне опитування та оцінювання написаних на кожному лабораторному занятті поточних тематичних завдань здійснюється виходячи із максимально можливої кількості набраних балів.

Форми модульного контролю: модульна оцінка знань визначається наступним чином: сума балів поточного тестування перераховується у відсотки з урахуванням того, що максимально можлива кількість балів приймається за 50%; сума балів за виконання модульної контрольної роботи теж перераховується у відсотки з урахуванням того, що максимально можлива кількість балів приймається за 50%; набрані студентом відсотки додаються і переводяться в оцінку у відповідності з вказаною вище шкалою. Студенту надається можливість підвищувати оцінку шляхом додаткового письмового тестування чи усного опитування.

Форми підсумкового семестрового контролю: відсотки набраної студентом суми балів при 1-ому та 2-му модульному контролі усереднюються; одержаний середній відсоток може бути підвищений шляхом складання студентом заліку.

#### Розподіл балів, які отримують здобувачі вищої освіти (модуль 1)

Поточне оцінювання та самостійна робота					Модульна контрольна робота	Сума
T1	T2	T3	T4	T5		
10	10	10	10	10	50 балів	<b>100 балів</b>
50%					50 %	<b>100 %</b>

#### Розподіл балів, які отримують здобувачі вищої освіти (модуль 2)

Поточне оцінювання та самостійна робота				Модульна контрольна робота	Сума
T1	T2	T3	T4		
10	10	15	15	50 балів	<b>100 балів</b>
50 %				50%	<b>100 %</b>

#### Оцінювання окремих видів навчальної роботи з дисципліни

Вид діяльності здобувача вищої освіти	Модуль 1		Модуль 2	
	Кількість	Максимальна кількість балів (сумарна)	Кількість	Максимальна кількість балів (сумарна)
Практичні (семінарські) заняття				
Лабораторні заняття (допуск, виконання та захист)	5	50	3	50
Модульна контрольна робота	1	50	1	50
<b>Разом</b>		<b>100 балів</b>		<b>100 балів</b>

#### Критерії оцінювання модульної контрольної роботи

Модульна контрольна робота складається з запитань різної складності, за надання відповідей на які студент набирає певну суму балів. За правильну і повну відповідь – максимальну кількість – 50; за правильну, але не зовсім повну відповідь або за фрагментарну – відповідно меншу кількість балів.

#### Критерії оцінювання підсумкового семестрового контролю

Залік з дисципліни складається в усній формі шляхом надання студентом відповідей на питання білета. Критерії оцінювання є наступними:

### Критерії оцінювання підсумкового семестрового контролю

Відсоток набраної суми балів за всі види навчальної діяльності від максимально можливої	Оцінка ECTS	Оцінка за національною шкалою
		для заліку
90 – 100	A	зараховано
82-89	B	
74-81	C	
64-73	D	
60-63	E	
35-59	FX	не зараховано з можливістю повторного складання
0-34	F	не зараховано з обов'язковим повторним вивченням дисципліни

На **“відмінно”** оцінюється відповідь студента, коли він виявив глибокі теоретичні знання, логічно та послідовно їх виклав, знає і розуміє програмовий матеріал, правильно аналізує конкретні факти, вміє робити обґрунтовані висновки, може використати теоретичні знання для розв'язування задач і тестових завдань.

На **“добре”** оцінюється відповідь студента, коли він виявив глибокі теоретичні знання, логічно і послідовно їх виклав, однак допустив деякі неточності у викладенні фактичного матеріалу.

На **“задовільно”** оцінюється відповідь студента, коли він володіє програмовим матеріалом, але викладає його не в повній мірі, не володіє окремими деталями матеріалу, допускає не грубі помилки в визначеннях, важко робить висновки, узагальнення, при розв'язуванні задач допускає помилки.

На **“незадовільно”** оцінюється відповідь студента, коли він проявив лише фрагментарні знання, допустив грубі помилки при викладенні матеріалу, не розуміє і не оперує основними поняттями, фрагментарно володіє окремими розділами курсу, не може використати теоретичний матеріал для розв'язування задач.

## 6. ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

### 6.1. Зміст навчальної дисципліни

#### Модуль 1

Тема 1. Внутрішня будова та властивості кристалів, їх вирощування. Вимірювання та проектування кристалів.

Вступ. Кристалічний стан речовин. Внутрішня будова кристалів: вузловий ряд, плоска сітка, елементарна комірка, просторова ґратка. Однорідність та анізотропія кристалів. Рівноважна форма кристалів. Відомості про методи вирощування кристалів. Закон сталості кутів. Вимірювання кутів між гранями за допомогою гоніометра. Формула Вульфа-Брега. Кристалографічні проекції. Сітка Вульфа.

Тема 2. Елементи симетрії закритого простору та їх взаємодія. Точкові групи симетрії. Центросиметричні та ацентричні групи.

Елементи симетрії кінцевих фігур та їх позначення на стереографічній проекції. Умовні символи елементів симетрії: міжнародний символ та символи, що базуються на формулах симетрії. Площина симетрії, осі симетрії, порядок осей симетрії, центр симетрії. Полярні і неполярні напрямки у кристалах. Симетричні перетворення. Кінцеві операції симетрії 1-го і 2-го порядку. Інверсійні осі симетрії, дзеркально-поворотні осі симетрії. Теореми взаємодії елементів симетрії. Кристалографічні категорії, сингонії і системи координат. Клас або вид симетрії. Формула класу симетрії. Міжнародні символи класів симетрії. Координатні і діагональні елементи симетрії. Правила запису міжнародного символу точкової групи. Вивід та опис 32 класів симетрії. Примітивні, центральні, планальні, аксіальні, планаксіальні, інверсійно-примітивні, інверсійно-планальні види симетрії. Класи симетрії кристалів вищої категорії. Центросиметричні і ацентричні точкові групи. Енантіоморфізм. Лауевські класи симетрії. Поняття про теорію груп. Аксиоми математичної групи. Кратність точкових груп.

Тема 3. Морфологія кристалів, їх розподіл по сингоніях. Проектування граней.

Прості форми і комбінації. Гномостереографічна проекція граней простих форм і комбінацій. Окремі і загальні прості форми. Прості форми нижчої і середньої категорії. Прості форми вищої категорії. Назви простих груп. Правила роботи із сіткою Вульфа. Приклади розв'язування задач з допомогою сітки Вульфа: побудова стереографічної проекції точки, заданої координатами  $\phi$  і  $\rho$ ; визначити сферичні координати заданої точки на стереографічній проекції; вимірювати кутові віддалі між двома заданими точками тощо.

Тема 4. Закон раціональних співвідношень параметрів. Правила вибору кристалографічних осей для різних сингоній. Символи граней і ребер. Закон зон. Ґратки Браве.

Символи вузла, вузлового ряду, плоскої сітки. Закон цілих чисел Гаюї. Параметри Вейса. Індокси Міллера. Визначення символів граней по методу косинусів. Про індексування кристалів гексагональної і тригональної сингонії. Символи ребер. Зв'язок між символами граней і ребер (Правило перехресного множення). Закон зон. Фізико-відмінні (різні) форми кристалів. Типи плоских сіток, їх симетрія. Типи елементарних комірок, які можливі в плоских сітках. Типи ґраток Браве, розподіл по сингоніях. Симетрія ґраток. Число та координати вузлів у різних типах ґраток Браве.

Тема 5. Елементи симетрії нескінченного простору та їх взаємодія. Просторові групи симетрії і їх номенклатура.

Трансляція, період трансляції. Площини ковзкого відбиття. Типи площин ковзкого відбиття. Гвинтові осі симетрії. Праві і ліві гвинтові осі. Теореми додавання елементів симетрії нескінченного простору: послідовне відбиття в двох паралельних площинах, взаємодія площин симетрії і трансляції, направленої площини під кутом

$\alpha$ , відбиття в двох площинах симетрії, що перетинаються під кутом  $\beta$ , взаємодія трансляції перпендикулярною до неї віссю симетрії.

Визначення просторової групи симетрії. Перехід від просторової до точкової групи симетрії. Принцип виводу просторових груп з точкових груп симетрії. Правильна система точок. Окрема і загальна система точок. Кратність правильної системи точок. Міжнародні символи просторових груп. Координатні і діагональні елементи симетрії. Правила запису міжнародних символів просторових груп для різних сингоній. Поняття оберненої решітки. Основні формули структурної кристалографії.

## Модуль 2

Тема 1. Кристалічна структура і структурний тип речовин. Принцип опису кристалічних структур. Основні структурні типи речовин – простих, бінарних і складних.

Генетичний зв'язок між різними структурними типами.

Атомні та іонні радіуси. Координаційне число і координаційний багатогранник. Число атомів у комірці. Визначення стехіометричної формули речовини. Поляризація іонів. Типи зв'язку у структурах. Межі стійкості структур. Побудова структур з допомогою координаційних поліедрів (багатогранників). Фактори, що обумовлюють кристалічну структуру речовин.

Основні типи структур: структура міді, алмазу, графіту,  $\alpha$ -заліза. Структури сполук типу АВ (NaCl, CsCl, ZnS (сфалерит, вюрцит), NiAs),  $A_2B$  ( $Cu_2O$ ,  $CdI_2$ ,  $CaF_2$ ,  $FeS_2$ ), структура перовскіту ( $CaTiO_3$ ), шпінелі ( $MgAl_2O_4$ ), халькопіриту ( $CuFeS_2$ ). Політипія, ізоморфізм, поліморфізм.

Тема 2. Явища у кристалах. Принципи Кюрі і Неймана. Граничні групи симетрії.

Скалярні, векторні і тензорні властивості речовин. Діелектрична проникність.

Граничні групи симетрії в кристалофізиці. (Принцип симетрії Кюрі). Вказівні поверхні. Принцип Неймана. Принцип суперпозиції Кюрі. Скалярні властивості речовин: питома вага кристалів, об'ємний коефіцієнт теплового розширення при постійному тиску ( $\alpha_p$ ), коефіцієнт усестороннього стиснення, теплоємність, температури фазових переходів, об'ємний коефіцієнт теплового розширення при постійному об'ємі ( $\alpha_v$ ).

Тема 3. Векторні і тензорні фізичні властивості речовин. Піро-, п'єзо- та сегнетоелектрики.

Тензорний опис фізичних властивостей кристалів. Кристалофізичні системи координат. Векторні властивості речовин (піроелектричний ефект). Діелектричні властивості. Теплопровідність. Теплове розширення.

Піроелектричний ефект. Коефіцієнти піроелектричного ефекту. Класи симетрії, які містять полярні одиничні напрямки (полярні класи симетрії). Вказівна поверхня піроелектричного коефіцієнту. Використання піроелектричних кристалів. Прямий і обернений п'єзоелектричний ефект. Тензор п'єзоелектричних модулів. Вплив симетрії на вигляд матриці п'єзомодуля. Вказівні поверхні п'єзоелектричного ефекту. П'єзоелектричні кристали. Сегнетоелектричні властивості. П'єзоелектричні класи симетрії. Залежність спонтанної поляризації сегнетоелектриків від напруги зовнішнього електричного поля. Фазові переходи в сегнетоелектриках (Температура Кюрі, сегнето-, параелектрична фаза). Доменна будова сегнетоелектриків Приклади сегнетоелектричних кристалів: сегнетова сіль ( $NaKC_4H_4O_6 \cdot H_2O$ ), титанат барію ( $BaTiO_3$ ).

Тема 4. Оптичні властивості кристалів. Оптично-нелінійні, електрооптичні та акустооптичні, гіротропні матеріали. Взаємовплив ефектів у кристалах.

Двопроменезаломлення світла в кристалах. Електрооптичний ефект. Електрооптичні кристали: дигідрофосфат алюмінію або калію (АДП, КДП). П'єзооптичний ефект. Взаємозв'язок фізичних властивостей і явищ у кристалах.

## 6.2. Структура навчальної дисципліни

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин					
	усього	у тому числі				
		л	п	ла б	ін д	с.р.
<b>Модуль 1</b>						
Тема 1. Внутрішня будова та властивості кристалів, їх вирощування. Вимірювання та проектування кристалів.	12	2		2		8
Тема 2. Елементи симетрії закритого простору та їх взаємодія. Точкові групи симетрії. Центросиметричні та ацентричні групи.	14	2		4		8
Тема 3. Морфологія кристалів, їх розподіл по сингоніях. Проектування граней.	12	2		2		8
Тема 4. Закон раціональних співвідношень параметрів. Правила вибору кристалографічних осей для різних сингоній. Символи граней і ребер. Закон зон. Гратки Браве.	12	2		2		8
Тема 5. Елементи симетрії нескінченного простору та їх взаємодія. Просторові групи симетрії і їх номенклатура.	12	2		2		8
Модульна контрольна робота						
Разом за модулем 1	<b>62</b>	<b>10</b>		<b>12</b>		<b>40</b>
<b>Модуль 2</b>						
Тема 1. Кристалічна структура і структурний тип речовин. Основні структурні типи речовин – простих, бінарних і складних. Генетичний зв'язок між різними структурними типами.	12	2		2		8
Тема 2. Явища у кристалах. Принципи Кюрі і Неймана. Граничні групи симетрії. Скалярні, векторні і тензорні властивості речовин. Діелектрична проникність.	16	2		4		10
Тема 3. Векторні і тензорні фізичні властивості речовин. Піро-, п'єзо- та сегнетоелектрики.	16	2		4		10
Тема 4. Оптичні властивості кристалів. Оптично-нелінійні, електрооптичні та акустооптичні, гіротропні матеріали. Взаємовплив ефектів у кристалах.	14	2		2		10
Модульна контрольна робота						
Разом за з модулем 2	<b>58</b>	<b>8</b>		<b>12</b>		<b>38</b>
<b>Усього годин</b>	<b>120</b>	<b>18</b>		<b>24</b>		<b>78</b>

### 6.3. Теми лабораторних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Аналіз симетрії кристалів. Елементи та операції симетрії. Розмножуюча дія елементів симетрії. Визначення елементів симетрії кристалів нижчої та середньої категорій та нанесення їх на стереографічну проекцію	2
2	Визначення елементів симетрії кристалів вищої категорії та нанесення їх на стереографічну проекцію	2
3	Теореми взаємодії елементів симетрії. Розв'язування задач для сингоній нижчої та середньої категорій. Теореми взаємодії елементів симетрії. Розв'язування задач для сингонії вищої категорії.	4
4	Види симетрії. Принцип виводу видів симетрії групи А та їх номенклатура Види симетрії. Принцип виводу видів симетрії групи В та їх номенклатура	2
5	Морфологія кристалів та їх розподіл по сингоніях. Проектування граней кристалів.	2
6	Визначення символів граней і ребер кристалів. Правила установки кристалів різних сингоній. Гратки Браве. Просторові групи симетрії, вивчення символіки.	4
7	Характеристика кристалічних структур простих, бінарних і складних речовин. Генетичний зв'язок між різними структурними типами.	4
8	Пояснення фізичних властивостей речовин виходячи з їх кристалічної структури.	4
	<b>Разом</b>	<b>24</b>

### 6.4. Самостійна робота

№ з/п	Назва теми	Кільк. годин
1.	Внутрішня будова та властивості кристалів, їх вирощування. Вимірювання та проектування кристалів.	8
2.	Елементи симетрії закритого простору та їх взаємодія .	4
3.	Точкові групи симетрії. Центросиметричні та ацентричні групи.	4
4.	Морфологія кристалів, їх розподіл по сингоніях. Проектування граней.	6
5.	Закон раціональних співвідношень параметрів. Правила вибору кристалографічних осей для різних сингоній. Символи граней і ребер. Закон зон.	6
6.	Гратки Браве.	4
8.	Елементи симетрії нескінченного простору та їх взаємодія. Просторові групи симетрії і їх номенклатура.	8
9.	Кристалічна структура і структурний тип речовин. Принцип опису кристалічних структур.	4
10.	Основні структурні типи речовин – простих, бінарних і складних. Генетичний зв'язок між різними структурними типами.	4
11	Явища у кристалах. Принципи Кюрі і Неймана. Граничні групи симетрії.	4

12	Скалярні, векторні і тензорні властивості речовин. Діелектрична проникність.	6
13	Векторні і тензорні фізичні властивості речовин. Піро-, п'єзо- та сегнетоелектрики.	10
14	Оптичні властивості кристалів. Оптично-нелінійні, електрооптичні та акустооптичні, гіротропні матеріали.	4
15	Взаємовплив ефектів у кристалах. Принципи вибору матеріалів для використання в електронній техніці.	6
	<b>Разом</b>	<b>78</b>

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

Технічні засоби: моделі кристалічних багатогранників, моделі простих форм, моделі ґраток Браве, моделі кристалічних структур простих, бінарних і деяких тернарних сполук.

Обладнання: вимірювальні засоби, поляризаційний мікроскоп, комп'ютери  
Програмне забезпечення: програми VESTA, Powder Cell -2.4, EXPO – 2014

## **8. РЕКОМЕНДОВАНІ ДЖЕРЕЛА ІНФОРМАЦІЇ**

### **Основна література**

- 3.3. Зиман Основи структурної кристалографії: Навч. посібник для студентів вищих навчальних закладів. – Х.: ХНУ ім. В. Н. Каразіна, 2008. – 212 с.
- І.М. Фодчук, О.О. Ткач. Основи кристалографії: навч. посібник/ Укл.: І.М. Фодчук, – Чернівці: ЧНУ, 2007 - 108 с.
- W. Borchardt-Ott. Crystallography. 3-rd edition. Springer Heidelberg Dordrecht London New York, 2011 – 367 p.
- Л. О. Бірюкович. Кристалографія, кристалохімія та мінералогія [Електронний ресурс]: підручник – К. : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 234 с.
- М.В.Поторій, П.М.Милян. Навчальний посібник з курсу «Кристалохімія». Ужгород, «Говерла», 2014. – 165 с.
- Ю.В. Ворошилов, В.Ю.Сливка. Основи кристалографії та кристалохімії: навч. посібник/ Укл.: Ю.В. Ворошилов, – Ужгород: Вид-во УжНУ, 2001 - 114 с.

### **Допоміжна література**

- F. Hoffman. Introduction to Crystallography. Springer Nature Switzerland AG 2020. 313 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-35110-6>
- Ю.В. Ворошилов, В.И.Павлишин. Основы кристаллографии и кристаллохимии. Рентгенография кристаллов. Киев: КНТ, 2011. – 563 с.
- В.О. Пчелінцев. Кристалографія, кристалохімія та мінералогія. Суми, Вид-во СумДУ, 2008.- 232 с.
- Скубенич К., Біланич В., Погодін А., Філеп М. Електричні, структурні та механічні властивості суперіонних провідників: монографія. Ужгород: Вид-во УжНУ «Говерла», 2023. 334 с. ISBN 978-617-8321-01-7.
- І.П. Студеняк, Л.М. Сусліков. Оптичні властивості кристалічних та некристалічних матеріалів: навчальний посібник. Ужгород: Вид-во УжНУ «Говерла», 2021 – 272 с. ISBN 978-617-7825-44-8
- Crystallography Open Database (COD)
- International Tables for Crystallography

## Інформаційні ресурси в мережі Інтернет

1. Crystallography Open Database <https://www.crystallography.net/>
2. Journal of Applied Crystallography <https://onlinelibrary.wiley.com/journal/s16005767>
3. J. Phys Photonics <https://iopscience.iop.org/journal/2515-7647>
4. J. Applied Optics <https://opg.optica.org/ao/home.cfm>
5. VESTA <https://jp-minerals.org/vesta/en/>

## Результати перегляду робочої програми навчальної дисципліни

Робоча програма перезатверджена на 20\_\_/20\_\_ н.р. без змін; зі змінами (Додаток \_\_\_\_ )  
(потрібне підкреслити)

протокол № \_\_ від «\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р. Завідувач кафедри \_\_\_\_\_  
(І.Є.Барчій)

Робоча програма перезатверджена на 20\_\_ /20\_\_ н.р. без змін; зі змінами (Додаток \_\_\_\_ )  
(потрібне підкреслити)

протокол № \_\_ від «\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р. Завідувач кафедри \_\_\_\_\_  
(І.Є.Барчій)

Робоча програма перезатверджена на 20\_\_ /20\_\_ н.р. без змін; зі змінами (Додаток \_\_\_\_ )  
(потрібне підкреслити)

протокол № \_\_ від «\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р. Завідувач кафедри \_\_\_\_\_  
(І.Є.Барчій)

Робоча програма перезатверджена на 20\_\_ /20\_\_ н.р. без змін; зі змінами (Додаток \_\_\_\_ )  
(потрібне підкреслити)

протокол № \_\_ від «\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р. Завідувач кафедри \_\_\_\_\_  
(І.Є.Барчій)