

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА

ФІЗИЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

Кафедра фізики металів



« 23 » серпня 2025 року

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ
Рентгенографія матеріалів
для студентів

галузь знань	10 Природничі науки
спеціальність	104 Фізика та астрономія
освітній рівень	Бакалавр
освітня програма	Фізика
спеціалізований вибірковий блок	Фізика металів
вид дисципліни	Вибіркова

Форма навчання	денна
Навчальний рік	2025/2026
Семестр	сьомий
Кількість кредитів ECTS	7
Мова викладання, навчання та оцінювання	українська
Форма заключного контролю	іспит

Викладачі: професор Семенко Михайло Петрович

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

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

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

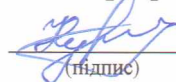
КИЇВ – 2025

Розробники: Семенко Михайло Петрович, доктор фіз.-мат. наук, професор,
професор кафедри фізики металів

(вказати авторів: ПІБ, науковий ступінь, вчене звання, посада, кафедра)

ЗАТВЕРДЖЕНО

Зав. кафедри фізики металів


(підпис)

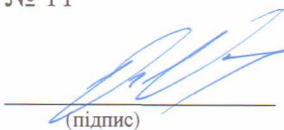
(Василь КУРИЛЮК)

Протокол № 12 від «22» травня 2025 р.

Схвалено науково-методичною комісією фізичного факультету

Протокол від «23» червня 2025 року № 11

Голова науково-методичної комісії


(підпис)

(Олег ОЛІХ)

ВСТУП

1. Мета дисципліни – подальше поглиблення систематичних знань у галузі розсіювання рентгенівських променів, електронів та нейтронів кристалічними та некристалічними тілами, одержаних при вивченні курсу "Дифракційних методів дослідження конденсованого стану" для засвоєння фізичних принципів та методів рентгеноструктурного аналізу полікристалів і рентгенографії, що застосовуються у рентгенографії полікристалів для визначення параметрів структури та властивостей фізичних об'єктів.

2. Попередні вимоги до опанування або вибору навчальної дисципліни:

1. Знати фізику рентгенівського випромінювання та методи одержання рентгенівських променів.
2. Знати основи дифракції рентгенівських променів на конденсованих середовищах.
3. Знати основні закони та поняття з курсів загальної фізики, квантової механіки та статистичної фізики, фізики твердого тіла, кристалографії, курсів вищої математики.
4. Вміти отримувати дифракційні спектри від найпростіших кристалічних матеріалів та вміти визначати параметри структури з цих експериментальних даних.
5. Вміти застосовувати набуті раніше знання з курсів загальної фізики, квантової механіки та статистичної фізики, фізики твердого тіла, кристалографії, дифракційних методів для розв'язку практичних задач.
6. Володіти елементарними навичками пошуку та опрацювання спеціалізованої літератури, розв'язку алгебраїчних і диференціальних рівнянь, побудови та аналізу графічних залежностей.

3. Анотація навчальної дисципліни: Вибіркова навчальна дисципліна «Рентгенографія матеріалів» є логічним продовженням дисципліни "Дифракційні методи дослідження конденсованого стану" в якій розглядаються практичні аспекти застосування явища дифракції для встановлення структурно-фазових параметрів та визначення деяких фізичних величин. Ця дисципліна є складовою циклу професійної підготовки фахівців освітньо-кваліфікаційного рівня "бакалавр". Зокрема її фундаментальні закони та поняття про явища дифракції на реальних фізичних об'єктах широко використовуються в ряді важливих дисциплін, які є складовими таких розділів фізики як фізика та теорії твердого тіла. Основна задача – розглянути особливості дифракції рентгенівських променів на впорядкованих та неупорядкованих структурах для встановлення параметрів структури та визначення фазового складу. Показати можливість визначення інформації про внутрішню будову в першу чергу кристалічних, а також різних неупорядкованих, середовищ. Розглянути специфіку впливу різних структурних станів на особливості дифракційних спектрів. Дати основні засади про дифракцію електронів та нейтронів на конденсованих та інших середовищах, та порівняти їх особливості з дифракцією рентгенівських променів. Результатом навчання є оволодіння знаннями про особливості дифракції на конденсованому середовищі та оволодіння методами встановлення параметрів структури конденсованого стану. Методи викладання: лекції, лабораторні роботи. Методи оцінювання: контрольні роботи, здача лабораторних робіт, підготовка рефератів, іспит.

4. Завдання (навчальні цілі) – застосування фізичних принципів розсіювання X-променів у рамках кінематичного та динамічного наближень для аналізу атомної структури конденсованого стану, визначення симетрії і метрики елементарної комірки, фазового стану, особливостей структури та визначення кількісних та якісних структурних параметрів реальних фізичних об'єктів.

Згідно вимог Стандарту вищої освіти України (перший (бакалаврський) рівень вищої освіти, галузь знань 10 «Природничі науки», спеціальність 104 «Фізика та астрономія», ОПП "Фізика", спеціалізований вибірковий блок «Фізика металів»), дисципліна забезпечує набуття здобувачами освіти наступних *компетентностей*:

інтегральної:

- § Здатність розв'язувати складні спеціалізовані задачі та практичні проблеми з фізики та астрономії у професійній діяльності або у процесі подальшого навчання, що передбачає застосування певних теорій і методів фізики та астрономії і характеризується комплексністю та невизначеністю умов.

загальних:

- § Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу. (ЗК1).
- § Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях. (ЗК2).
- § Навички використання інформаційних і комунікаційних технологій (ЗК3).
- § Здатність приймати обґрунтовані рішення (ЗК5).
- § Навички здійснення безпечної діяльності (ЗК7).
- § Здатність спілкуватися державною мовою як усно, так і письмово (ЗК12).

фахових:

- § Знання і розуміння теоретичного та експериментального базису сучасної фізики та астрономії. (ФК1).
- § Здатність оцінювати порядок величин у різних дослідженнях, так само як точності та значимості результатів. (ФК3).
- § Здатність працювати із науковим обладнанням та вимірювальними приладами, обробляти та аналізувати результати досліджень. (ФК4).
- § Здатність виконувати обчислювальні експерименти, використовувати чисельні методи для розв'язування фізичних та астрономічних задач і моделювання фізичних систем. (ФК5)
- § Здатність моделювати фізичні системи та астрономічні явища і процеси. (ФК6).
- § Здатність використовувати базові знання з фізики та астрономії для розуміння будови та поведінки природних і штучних об'єктів, законів існування та еволюції Всесвіту. (ФК7).
- § Здатність виконувати теоретичні та експериментальні дослідження автономно та у складі наукової групи (ФК8).
- § Здатність працювати з джерелами навчальної та наукової інформації. (ФК9).
- § Розвинуте відчуття особистої відповідальності за достовірність результатів досліджень та дотримання принципів академічної доброчесності разом з професійною гнучкістю (ФК11).

5. Результати навчання за дисципліною:

Результат навчання (1. знати; 2. вміти; 3. комунікація; 4. автономність та відповідальність)		Методи викладання і навчання	Методи оцінювання	Відсоток у підсумковій оцінці з дисципліни
Код	Результат навчання			
1.1	Знати фізику рентгенівського випромінювання на реальних фізичних об'єктах.	лекції, самостійна робота	Модульна контрольна робота, усне опитування, захист завдань для самостійного опрацювання, іспит	18
1.2	Знати теорію розсіювання рентгенівських променів і її застосування до реальних об'єктів.	лекції, самостійна робота	Модульна контрольна робота, усне опитування, захист завдань для самостійного опрацювання, іспит	18

1.3.	Знати основи аналізу атомної структури конденсованого стану та визначення параметрів, що визначають такий структурний стан	лекції, <i>самостійна робота</i>	Модульна контрольна робота, усне опитування, захист завдань для самостійного опрацювання, іспит	18
1.4	Знати основи техніки проведення дифракційного експерименту на реальних фізичних об'єктах	лекції, <i>самостійна робота</i>	Модульна контрольна робота, усне опитування, захист завдань для самостійного опрацювання, іспит	18
2.1	Вміти працювати з рентгенівською технікою та отримувати, аналізувати та обробляти результати дифракційних досліджень реальних фізичних об'єктів.	лабораторні роботи, <i>реферати</i>	Захист лабораторних робіт, захист завдань для самостійного опрацювання	14
2.2	Вміти визначати параметри структурно фазового стану реальних фізичних об'єктів.	лабораторні роботи, <i>реферати</i>	Захист лабораторних робіт, захист завдань для самостійного опрацювання	14

6. Співвідношення результатів навчання дисципліни із програмними результатами навчання (необов'язково для вибіркових дисциплін)

Результати навчання дисципліни						
Програмні результати навчання	1.1	1.2	1.3	1.4	2.1	2.2
ПРН1. Знати, розуміти та вміти застосовувати на базовому рівні основні положення загальної та теоретичної фізики, зокрема, класичної, релятивістської та квантової механіки, молекулярної фізики та термодинаміки, електромагнетизму, хвильової та квантової оптики, фізики атома та атомного ядра для встановлення, аналізу, тлумачення, пояснення й класифікації суті та механізмів різноманітних фізичних явищ і процесів для розв'язування складних спеціалізованих задач та практичних проблем з фізики та астрономії.	+	+	+			+
ПРН3. Знати і розуміти експериментальні основи фізики: аналізувати, описувати, тлумачити та пояснювати основні експериментальні підтвердження існуючих фізичних теорій.		+	+	+	+	+
ПРН7. Розуміти, аналізувати і пояснювати нові наукові результати, одержані у ході проведення фізичних досліджень	+	+	+	+	+	+

відповідно до спеціалізації.						
ПРН9. Мати базові навички проведення теоретичних та/або експериментальних наукових досліджень з окремих спеціальних розділів фізики або астрономії, що виконуються індивідуально (автономно) та/або у складі наукової групи.				+	+	+
ПРН10. Вміти планувати дослідження, обирати оптимальні методи та засоби досягнення мети дослідження, знаходити шляхи розв'язання наукових завдань та вдосконалення застосованих методів.					+	+
ПРН13. Розуміти зв'язок фізики та астрономії з іншими природничими та інженерними науками, бути обізнаним з окремими (відповідно до спеціалізації) основними поняттями прикладної фізики, матеріалознавства, інженерії, хімії, біології тощо, а також з окремими об'єктами (технологічними процесами) та природними явищами, що є предметом дослідження інших наук і, водночас, можуть бути предметами фізичних або астрономічних досліджень.	+	+	+		+	+
ПРН14. Знати і розуміти основні вимоги техніки безпеки при проведенні експериментальних досліджень, зокрема правила роботи з певними видами обладнання та речовинами, правила захисту персоналу від дії різноманітних чинників, небезпечних для здоров'я людини.					+	+

7. Схема формування оцінки.

7.1 Форми оцінювання студентів:

- семестрове оцінювання: (max/min)

1. Контрольна робота 1 за темами 1-6: – 8 балів / 4 бали
2. Контрольна робота 2 за темами 6-12: – 11 балів / 8 балів
3. Усне опитування та захист завдань для самостійного опрацювання – 6 балів / 3 бали
4. Лабораторні роботи (8 робіт) : – 10 балів / 6 балів
4. Підготовка рефератів: – 5 балів / 3 бали

- підсумкове оцінювання у формі іспиту.

Іспит проводиться в письмовій формі. Кожен екзаменаційний білет містить два теоретичні питання з необхідністю розгорнутої відповіді. Максимальна кількість балів, які можуть бути отримані студентом за складання іспиту дорівнює 60. Для отримання позитивної оцінки, оцінка за іспит не може бути меншою 36 балів. Студент не допускається до іспиту, якщо під час семестру набрав менше ніж 24 бали. Студент допускається до іспиту за умови виконання всіх передбачених планом лабораторних робіт та написання відповідної якості рефератів.

7.2 Організація оцінювання:

Модульні контрольні роботи 1 - 2 проводяться по завершенні тематичних лекцій. Захист звітів лабораторних робіт та доповіді по рефератам проводиться упродовж семестру.

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

№ п/п	Назва лекції	Кількість годин		
		лекції	лабораторні	С/Р
Змістовий модуль 1. Рентгенографічні методи дослідження твердого тіла.				
1	Вступ	2		
2	Тема 1. Прецизійні методи визначення періодів кристалічної ґратки.. Техніка отримання рентгенівських дифракційних спектрів. Прецизійні методи визначення періодів кристалічної ґратки. Джерела похибок та способи їх усунення. Методи екстраполяції.			4
3	Тема 2. Інтерпретація порошкових рентгенограм кристалів кубічної, тетрагональної та гексагональної сингоній. Інтерпретація порошкових рентгенограм, отриманих від кристалів, що належать до кубічної сингонії. Індесування рентгенівських дифракційних спектрів полікристалічних речовин тетрагональної та гексагональної сингонії. Метод різниць Хеса-Ліпсона та метод Іто. Прикладні пакети програм для комп'ютерного індесування дифракційних спектрів..	2		4
4	Тема 3. Рентгенівські методи дослідження діаграм стану багатокомпонентних систем. Місце рентгенографічних методів дослідження фазових рівноваг серед інших методів побудови діаграм стану подвійних і потрійних систем. Вивчення фазових рівноваг у подвійних системах. Визначення границь розчинності. Метод зникаючої фази та метод аналізу зміни міжплощинних відстаней. Дослідження потрійних систем. Визначення напрямків конод. Методика проведення рентгенграфічного експерименту. Дифракційні ефекти при утворенні твердих розчинів. Експериментальне визначення типу твердого розчину. Вплив ліквіації та початкових стадій розпаду твердих розчинів на картину розсіювання Х-променів. Структурна амплітуда для впорядкованих твердих розчинів. Структурні та надструктурні максимуми. Псевдопогасання. Зв'язок параметра далекого порядку з інтенсивністю надструктурних максимумів. Експериментальне визначення параметра далекого порядку за співвідношенням інтенсивностей структурного та надструктурного максимумів.	4		7
5	Тема 4. Методи рентгенівського фазового аналізу. Якісний рентгенівський фазовий аналіз. Використання баз даних про структурні типи та рентгенографічних характеристики (ASTM, ICDD) неорганічних речовин при проведенні якісного фазового аналізу. Графічно-аналітичний метод проведення якісного аналізу за еталонними графічними образами рентгенівських дифракційних спектрів неорганічних речовин (розробка кафедри фізики металів). Кількісний рентгенівський фазовий аналіз. Зв'язок між інтенсивністю дифракційного максимуму та масовою часткою фази у зразку. Методи кількісного рентгенівського фазового аналізу. Фактори, що визначають чутливість рентгенівського фазового аналізу. Похибки визначення вмісту фаз у багатофазному зразку	3		6
6	Тема 5. Рентгенівські методи аналізу текстур. Класифікація текстур Обмежені та необмежені текстури і їх опис. Розсіяні текстури, кут розсіювання текстури Поліосні фігури та принципи їх побудови. Рентгенівський аналіз аксіальних (необмежених текстур). Обмежені текстури та методи їх аналізу. Побудова полюсних фігур. Обернені полюсні фігури. Використання ЕОМ для побудови та аналізу полюсних фігур. Автоматизовані текстурдифрактометри	3		6
7	Тема 6. Рентгенівські методи дослідження напруженого стану речовини. Класифікація внутрішніх напружень. Дифракційні методи визначення макронапружень Еліпсоїд напружень та еліпсоїд	3		6

	напружень. Лінійно напружений стан. Плоско напружений стан. Визначення суми головних значень тензора напружень. Роздільне визначення головних напружень. Дослідження мікронапружень. Геометрична та фізична компоненти ширини дифракційного максимуму. Метод апроксимацій. Визначення статичних спотворень кристалічної ґратки навколо дислокацій та точкових дефектів.			
8	Модульна контрольна робота 1	1		2
Змістовий модуль 2. Рентгенографічні методи дослідження твердого тіла з різною ступінню впорядкованості, динамічна теорія розсіювання, особливості електронної та нейтронної дифракції.				
9	ТЕМА 7. Аналіз структури рідин та аморфних речовин. Інтенсивність розсіювання рентгенівського випромінювання простими (одноатомними) рідинами. Функція радіального розподілу атомів та її аналіз. Кутовий розподіл інтенсивності розсіювання рентгенівського випромінювання багатокомпонентними розплавами та аморфними сплавами Радіальні функції розподілу атомів та методи перетворення Фур'є. Парціальні функції розподілу атомів. Експериментальні методи дослідження структури некристалічних речовин. Особливості атомної структури аморфних металів.	4		8
10	Тема 8. Рентгенографічне визначення дисперсності полікристалічних речовин Метод підрахунку плям на дебаєвському кільці. Метод визначення розмірів кристалітів за ефектом первинної екстинкції. Визначення розмірів кристалітів за дифракційним розмиттям ліній (формула Селякова-Шерера). Малокутове розсіювання Х-променів. оздільне визначення розмірів кристалітів та мікронапружень методом апроксимацій. Виділення фізичної компоненти ширини дифракційної лінії методом Стокса. Метод гармонічного аналізу профілю дифракційних максимумів. Метод моментів.	4		8
11	Тема 9. Рентгенографічний аналіз структурних змін при термічній обробці металів і сплавів. Аналіз процесів розпаду пересичених твердих розчинів. Утворення модульованих структур та їх вплив на картину рентгенівської дифракції. Аналіз структурних змін, що відбуваються при нагріванні попередньо деформованих матеріалів (відновлення, рекристалізація).	4		8
12	Тема 10. Рентгенівські дифракційні методи дослідження структурних дефектів, що ґрунтуються на кінематичному наближенні. Порівняльна характеристика основних прямих та непрямих методів дослідження структурних дефектів твердих тіл. Різниця у постановці задач класичного структурного аналізу та дослідження реальної структури твердих тіл Інтенсивність відбивання у випадку Бреґівської дифракції для ідеального та ідеально-мозаїчного кристала. Екстинкційна довжина та її зв'язок із структурною досконалістю кристалу Двокристальний спектрометр, його властивості та геометричні умови. Власна крива відбивання. Напівширина власної кривої відбивання та її фізичний зміст. Модель малокутової границі по Бюргерсу та її експериментальна перевірка. Кут мозаїчності та його зв'язок з густиною дислокацій. Основи трикристальної рентгенівської спектрометрії	4		9
13	Тема 11. Фізичні принципи електроннографії та нейтронографії. Фізичні принципи дифракції електронів та її застосування для дослідження конденсованого стану речовини. Атомна амплітуда розсіювання електронів та її кутова залежність. Інтенсивність дифракційних максимумів. Побудова Евальда для електроннографії. Індексуння точкових та кільцевих електронogram. Мікродифракція електронів. Дифракція повільних електронів. Області застосування електроннографії. Фізичні принципи взаємодії нейтронів з речовиною. Застосування нейтронографічних методів для дослідження структури полікристалів. Взаємодія повільних нейтронів з магнетиком. Диференціальні перерізи розсіювання для неполяризованих та поляризованих нейтронів. Методи розділення ядерної та магнітної компонентів розсіювання. Методика нейтронографічного визначення	4		9

	магнітних структур. Результати нейтронографічного дослідження магнітних структур. Вивчення розподілу магнітного моменту в кристалах та аморфних сплавах			
14	Тема 12. Динамічна теорія розсіювання Х-променів та методи рентгеноструктурного дослідження полікристалів. Основи динамічної теорії розсіювання Х-променів Евальда-Лауе. Деякі експериментальні наслідки динамічної теорії розсіювання. Рентгенівські топографічні методи дослідження дефектів кристалічної будови.	3		8
12	Модульна контрольна робота 2	1		2
Перелік лабораторних робіт				
13	Робота 1. Визначення типу твердого розчину		3	6
	Робота 2. Визначення параметру дальнього порядку з порівняння структурних та надструктурних ліній		4	7
8	Робота 3. Рентгенографічне визначення макронапружень		3	6
	Робота 4. Роздільне визначення розміру кристалітів та мікронапружень методом апроксимації		4	6
9	Робота 5. Роздільне визначення мікронапружень та розміру блоків когерентного розсіювання методом гармонічного аналізу профілю дифракційної лінії.		5	8
	Робота 6. Рентгенівський аналіз текстур		4	6
	Робота 7. Якісний та кількісний фазовий аналіз.		4	6
	Робота 8. Використання програмних пакетів для обробки дифракційних спектрів (на прикладі програмного пакету FullProf)		3	6
	ВСЬОГО	42	30	138

Загальний обсяг **210 год.**, в тому числі:

Лекцій – **42 год.**

Лабораторні – **30 год.**

Консультації – **0 год.**

Самостійна робота - **138 год.**

9. РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА:

Основна:

1. M.A. Krivoglaz. Theory of X-Ray and Thermal-Neutron Scattering by Real Crystals. Plenum Press (New York), 1969. – 405p.
2. C. Suryanarayana, M. Grant Norton. X-Ray Diffraction. A Practical Approach. - Springer Science+Business Media, LLC. – 1998. – 273 c.
3. Y. Waseda, E. Matsubara, K. Shinoda. X-Ray Diffraction Crystallography. Introduction, Examples and Solved Problems. – Springer – 2011-322 p.
4. Захаренко М.І., Семенко М.П., „Методи структурного аналізу” (методичні вказівки до лабораторних робіт з курсу „Дифракційні методи дослідження конденсованого стану” Київ.- 2012.
5. Семенко М.П. „Структурна кристалографія” (вибрані лекції по кристалографії) для студентів фізичного факультету.// Київ. – 2019 р. – 63 с.

Додаткова:

1. Петренко П.В. Дифракційні методи структурного аналізу. Кінематичне наближення. К.:ВЦП «Київський університет». – 2005.
2. Методи структурного аналізу матеріалів.[Електронний ресурс] : навч. посіб. для здобувачів ступеня бакалавра за освіт. програмою «Інжиніринг та комп'ютерне моделювання в матеріалознавстві» спец. 132 Матеріалознавство / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: Г.Г. Лобачова, Є.В. Іващенко. – Електрон. текст. дані (1 файл). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2024. – 180 с.