

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА

ФІЗИЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

Кафедра фізики металів

«ЗАТВЕРДЖУЮ»  
Заступник декана  
з навчальної роботи  
Оксана МОМОТ  
« 25 » червня 2025 року

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Дифракційні методи дослідження конденсованого стану  
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                                    | шостий     |
| Кількість кредитів ECTS                    | 3          |
| Мова викладання, навчання<br>та оцінювання | українська |
| Форма заключного контролю                  | залік      |

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)

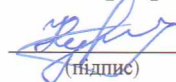
КИЇВ – 2025

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)

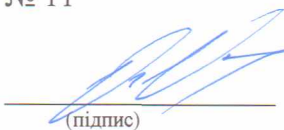
(Василь КУРИЛЮК)

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** – отримання глибоких та систематичних знань у галузі розсіювання рентгенівських променів кристалічними та некристалічними тілами, засвоєння фізичних принципів та методів рентгеноструктурного аналізу полікристалів і рентгенографії, вивчення основних експериментальних методів, що застосовуються у рентгенографії полікристалів.

### **2. Попередні вимоги до опанування або вибору навчальної дисципліни:**

1. Знати основні закони та поняття з курсів загальної фізики, квантової механіки та фізики твердого тіла, кристалографії, курсів вищої математики.
2. Вміти застосовувати набуті раніше знання з курсів загальної фізики, квантової механіки та фізики твердого тіла, кристалографії для розв'язку практичних задач.
3. 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 «Дифракційні методи дослідження конденсованого стану» є складовою циклу професійної підготовки фахівців освітньо-кваліфікаційного рівня "бакалавр". Зокрема її фундаментальні закони та поняття про неупорядкованість 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. 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. Результатом навчання є оволодіння знаннями про особливості дифракції на конденсованому середовищі та оволодіння методами встановлення параметрів структури конденсованого стану. Методи викладання: лекції, лабораторні роботи, самостійна робота. Методи оцінювання: модульні контрольні роботи, усне опитування, захист лабораторних робіт, захист завдань для самостійного опрацювання, залік.

**4. Завдання (навчальні цілі)** – оволодіння фізичними принципами розсіювання X-променів у рамках кінематичного наближень, методами аналізу атомної структури конденсованого стану та визначення симетрії і метрики елементарної комірки, основами техніки дифракційного експерименту.

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 використовувати на практиці базові знання з математики як математичного апарату фізики і астрономії при вивченні та дослідженні фізичних та астрономічних явищ і процесів. (ФК2).
- § 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 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).
- § Розвинуте відчуття особистої відповідальності за достовірність результатів досліджень та дотримання принципів академічної доброчесності разом з професійною гнучкістю (ФК11).
- § Здатність здобувати додаткові компетентності через вибіркові складові освітньої програми, самоосвіту, неформальну та інформальну освіту (ФК14).

## 5. Результати навчання за дисципліною:

| Результат навчання<br>(1. знати; 2. вміти; 3. комунікація; 4. автономність та відповідальність) |                                                                                                                   | Методи викладання і навчання | Методи оцінювання                                                                          | Відсоток у підсумковій оцінці з дисциплін |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|
| Код                                                                                             | Результат навчання                                                                                                |                              |                                                                                            |                                           |
| 1.1                                                                                             | Знати фізику рентгенівського випромінювання.                                                                      | лекції, самостійна робота    | Модульна контрольна робота, опитування, захист завдань для самостійного опрацювання, залік | 15                                        |
| 1.2                                                                                             | Знати теорію розсіювання рентгенівських променів.                                                                 | лекції, самостійна робота    | Модульна контрольна робота, опитування, захист завдань для самостійного опрацювання, залік | 15                                        |
| 1.3.                                                                                            | Знати основи аналізу атомної структури конденсованого стану та визначення симетрії і метрики елементарної комірки | лекції, самостійна робота    | Модульна контрольна робота, опитування, захист завдань для самостійного опрацювання, залік | 15                                        |

|     |                                                                                                                                                              |                                            |                                                                                                 |                                |
|-----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|
| 1.4 | Знати основи техніки дифракційного експерименту                                                                                                              | лекції, самостійна робота                  | Модульна контрольна робота, усне опитування, захист завдань для самостійного опрацювання, залік | 15                             |
| 2.1 | Вміти працювати з рентгенівською технікою.                                                                                                                   | лабораторні роботи, реферативні сповіщення | Захист лабораторних робіт, захист Завдань для самостійного опрацювання                          | 20                             |
| 2.2 | Вміти встановлювати тип симетрії та метрику найпростіших елементарних комірок.                                                                               | лабораторні роботи, реферативні сповіщення | Захист лабораторних робіт, захист завдань для самостійного опрацювання                          | 20                             |
| 4.1 | Знати і розуміти основні вимоги техніки безпеки при проведенні експериментальних досліджень, зокрема правила роботи з джерелами іонізаційного випромінювання | лабораторні роботи                         | Захист лабораторних робіт                                                                       | допуск до виконання лаб. робіт |

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

| Результати навчання дисципліни                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |     |     |     |     |     |     |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Програмні результати навчання                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 1.1 | 1.2 | 1.3 | 1.4 | 2.1 | 2.2 | 4.1 |
| 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.                                                                                                                                                                                                                                                                                                |     |     | +   | +   | +   | +   |     |
| 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: РН 1.1 – 17 балів / 11 балів
2. Контрольна робота 2 за темами 7-12: РН 1.2-1.4 – 17 балів / 11 балів
3. Усне опитування та захист завдань для самостійного опрацювання – 6 бали / 2 бали
3. Лабораторні роботи (4 робіт) : РН 2.1-4.1 – 15 балів / 9 балів
4. Підготовка рефератів: РН 2.1 – 5 балів / 3 бали

#### - підсумкове оцінювання у формі заліку.

Залік проводиться в письмовій формі. Максимальна кількість балів, які можуть бути отримані студентом за складання заліку дорівнює 40. Для отримання заліку оцінка за залік не може бути меншою 24 бали. Студент не допускається до заліку, якщо під час семестру набрав менше ніж 36 балів. Студент допускається до заліку 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

|                     |        |
|---------------------|--------|
| Зараховано / Passed | 60-100 |
| Не зараховано /     | 0-59   |

## 8 Структура навчальної дисципліни. Тематичний план лекцій

| №<br>п/п                                                                                                               | Назва<br>лекції                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Кількість годин |                       |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|-----------------------|-----|
|                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | лекції          | Лабо-<br>ратор-<br>ні | С/Р |
| Змістовий модуль 1. Фізика рентгенівського випромінювання                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                 |                       |     |
| 1                                                                                                                      | Вступ                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 2               |                       |     |
| 2                                                                                                                      | Тема 1. Гальмівні спектри Х-променів<br>Основні закономірності гальмівних спектрів Х-променів. Фізична природа короткохвильової границі. Вплив режиму роботи рентгенівської трубки на характеристики спектру.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                 |                       | 2   |
| 3                                                                                                                      | Тема 2. Емісійні характеристичні спектри Х-променів.<br>Основні закономірності емісійних характеристичних спектрів Х-променів. Спектральні серії. Структура К-серії ХС. Закон Мозлі.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 2               |                       | 2   |
| 4                                                                                                                      | Тема 3. Джерела рентгенівського випромінювання<br>Джерела рентгенівського випромінювання. Будова та принцип роботи рентгенівських трубок, їх номенклатура. Вибір оптимального режиму роботи рентгенівської трубки. Синхротронне випромінювання та його особливості. Загальна характеристика провідних європейських синхротронних центрів.                                                                                                                                                                                                                                                            | 2               |                       | 2   |
| 5                                                                                                                      | Тема 4. Механізми ослаблення Х-променів<br>Взаємодія рентгенівського випромінювання з речовиною. Механізми ослаблення Х-променів. Істинне (фотоелектричне) поглинання. Лінійний та масовий коефіцієнти поглинання. Край поглинання та його фізична природа. Флуоресцентні та абсорбційні характеристичні спектри. Селективно поглинаючі фільтри рентгенівського випромінювання.                                                                                                                                                                                                                      | 2               |                       | 2   |
| 6                                                                                                                      | Тема 5. Методи реєстрації Х-променів<br>Способи реєстрації рентгенівських променів. Принцип роботи детекторів рентгенівського випромінювання. Типи та характеристики детекторів.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 2               |                       | 4   |
| 7                                                                                                                      | Тема 6. Основи рентгенівської дефектоскопії. Рентгенівська дефектоскопія: її фізичні засади та використання в медицині, науці та техніці.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 2               |                       | 4   |
| 8                                                                                                                      | Модульна контрольна робота 1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 1               |                       | 2   |
| Змістовий модуль 2. Кінематична теорія розсіювання Х-променів та методи рентгеноструктурного дослідження полікристалів |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                 |                       |     |
| 9                                                                                                                      | ТЕМА 7. Розсіювання Х-випромінювання вільним електроном. Розсіювання рентгенівського випромінювання вільним електроном. Множник Томсона та поляризаційний множник. Індикатриси розсіювання при різній поляризації первинного пучка. Переріз розсіювання.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 2               |                       | 4   |
| 10                                                                                                                     | Тема 8. Когерентне розсіювання Х-випромінювання атомом. Когерентне розсіяння рентгенівського випромінювання атомом. Атомна амплітуда розсіювання та її зв'язок з електронною густиною. Атомний множник. Дисперсійні поправки до атомного множника.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 2               |                       | 4   |
| 11                                                                                                                     | ТЕМА 9. Формування дифракційних максимумів тривимірним періодичним середовищем. Розсіяння рентгенівського випромінювання ідеальним кристалом малого розміру. Інтерференційна функція Лауе та її аналіз Головні та побічні максимуми. Ширину головних максимумів. Рівняння Лауе. Формула Вульфа-Брегга. Запис інтерференційної функції в оберненому просторі. Інтерференційне рівняння та його графічна інтерпретація. Побудова Евальда для різних методів зйомки (метод Лауе, метод обертання, метод Дебая-Шерера). Зв'язок форми та розмірів вузла оберненої ґратки з формою та розмірами кристалу. | 3               |                       | 4   |
| 12                                                                                                                     | ТЕМА 10. Розсіювання Х-променів складними ґратками. Розсіяння рентгенівських променів непримітивною елементарною коміркою. Структурна амплітуда та структурний множник. Розрахунок                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 3               |                       | 4   |

|                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |           |           |           |
|-----------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|-----------|-----------|
|                                   | структурного множника для упорядкованих структур. Правила погасання. Псевдопогасання Множник повторюваності.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |           |           |           |
| 13                                | <b>ТЕМА 11.</b> Вплив теплових коливань атомів та дефектів на інтенсивність дифракційних максимумів. Вплив теплових коливань атомів на інтенсивність дифракційних максимумів. Температурний множник. Вплив параметрів міжатомного зв'язку на фактор Дебая-Валлера. Теплове дифузне розсіювання Х-випромінювання. Вплив дефектів на інтенсивність дифракційних максимумів. Статичний фактор Дебая-Валлера. Дифузне розсіювання Х-випромінювання на дефектах кристалічної структури. | 3         |           | 4         |
| 14                                | <b>ТЕМА 12.</b> Інтерпретація порошкових рентгенограм кристалів кубічної, тетрагональної та гексагональної сингоній. Інтерпретація порошкових рентгенограм, отриманих від кристалів, що належать до кубічної сингонії. Індування рентгенівських дифракційних спектрів полікристалічних речовин тетрагональної та гексагональної сингонії.                                                                                                                                          | 3         |           | 5         |
| 15                                | Модульна контрольна робота 2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 1         |           | 2         |
| <b>Перелік лабораторних робіт</b> |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |           |           |           |
|                                   | <b>Робота 1.</b> Техніка безпеки при роботі з джерелами іонізаційного випромінювання                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |           | 2         |           |
|                                   | <b>Робота 2.</b> Будова, параметри та режими роботи рентгенівських трубок                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |           | 3         |           |
|                                   | <b>Робота 3.</b> Ознайомлення з будовою та роботою рентгенівського дифрактометра ДРОН-4.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |           | 2         |           |
|                                   | <b>Робота 4.</b> Визначення коефіцієнту поглинання фольг та підбір селективно поглинаючого фільтру                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |           | 4         |           |
|                                   | <b>Робота 5.</b> Одержання та обробка дифрактограм кубічних кристалів                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |           | 4         |           |
|                                   | <b>ВСЬОГО</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | <b>30</b> | <b>15</b> | <b>45</b> |

Загальний обсяг **90** год., в тому числі:

Лекцій – **30** год.

Лабораторні – **15** год.

Консультації – **0** год.

Самостійна робота - **45** год.

## **9. РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА:**

### **Основна:**

1. C. Suryanarayana, M. GrantNorton. X-RayDiffraction. A Practical Approach. – Springer Science+Business Media, LLC. – 1998. – 273с.
2. Y. Waseda, E. Matsubara, K. Shinoda. X-Ray Diffraction Crystallography. Introduction, Examples and Solved Problems. – Springer – 2011-322р.
3. Гриневич Г.П., Захаренко М.І. Методичні вказівки до лабораторних робіт з курсу “Рентгенографія матеріалів”. Київ: РВЦ “Київський університет”.- 1997.
4. В.А.Макара, М.І.Захаренко, М.П. Семенко. Дифракційні методи дослідження твердого тіла. Лабораторний практикум для студентів фізичного ф-ту. Ч. 1. Основи рент. техніки. Київ, ВЦ “Київський ун-т”,1999.
5. Захаренко М.І., Семенко М.П., „Методи структурного аналізу” (методичні вказівки до лабораторних робіт з курсу „Дифракційні методи дослідження конденсованого стану” Київ.-2012.

### **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. Івашенко. – Електрон. текст. дані (1 файл). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2024. – 180 с.