

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА**

Фізичний факультет
(назва факультету)

Кафедра загальної фізики



РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ¹

Фізичні основи рентгеноструктурного аналізу та експериментальні методи

рентгеноструктурних досліджень ВК 2.1.2.

(повна назва навчальної дисципліни)

для студентів

галузь знань	<u>10 Природничі науки</u> (шифр і назва)
спеціальність	<u>104 Фізика та астрономія</u> (шифр і назва спеціальності)
освітній рівень	<u>бакалавр</u> (молодший бакалавр, бакалавр, магістр)
освітня програма	<u>Фізичне матеріалознавство/Неметалічне матеріалознавство</u> (назва освітньої програми)
спеціалізація (за наявності)	_____ (назва спеціалізації)
вид дисципліни	<u>вибіркова</u>

Форма навчання	<u>очна</u>
Навчальний рік	_____
Семестр	<u>7</u>
Кількість кредитів ECTS	<u>7</u>
Мова викладання, навчання та оцінювання	<u>українська</u>
Форма заключного контролю	<u>іспит</u>

Викладачі: зав. кафедри загальної фізики, професор Боровий М.О.

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

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

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

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

КИЇВ – 2022

¹ Робоча програма навчальної дисципліни є нормативним документом вищого навчального закладу і містить виклад конкретного змісту навчальної дисципліни, послідовність, організаційні форми її вивчення та їх обсяг, визначає форми та засоби поточного і підсумкового контролю.

Розробники²: Боровий Микола Олександрович, доктор фіз.-мат. наук, професор,
зав. кафедри загальної фізики
(вказати авторів: ПІБ, науковий ступінь, вчене звання, посада, кафедра)

ЗАТВЕРДЖЕНО

Зав. кафедри

(підпис)

(Боровий М.О.)

(прізвище та ініціали)

Протокол № 7 від 19 травня 2022 р.

Схвалено науково-методичною комісією фізичного факультету

протокол №11 від 10 червня 2022 року

Голова науково-методичної комісії

(підпис)

(Оліх О.Я.)

(прізвище та ініціали)

² Розробляється лектором. Робоча програма навчальної дисципліни розглядається на засіданні кафедри (циклової комісії – для коледжів), науково-методичної комісії факультету/інституту (радї навчального закладу - коледжу), підписується завідувачем кафедри (головою циклової комісії), головою науково-методичної комісії факультету/інституту (головою ради) і затверджується заступником декана/директора інституту з навчальної роботи (заступником директора коледжу).

ВСТУП

1. Мета дисципліни – отримання глибоких та систематичних знань щодо процесів дифракції рентгенівських променів на атомних просторових структурах, зокрема, кристалах, аморфних тілах та рідинах, низькорозмірних структурах, а також експериментальних рентгенодифракційних методів дослідження структури на усіх етапах дослідження – від з'ясування координат атомів у елементарній комірці кристалу до методів дослідження структурної досконалості твердих тіл та параметрів атомно-просторової структури низькорозмірних та нанорозмірних матеріалів.

2. Попередні вимоги до опанування або вибору навчальної дисципліни:

1. Знати закони класичної електродинаміки, оптики, атомної фізики та квантової механіки, а також основи математичного аналізу та теорії функції комплексної змінної.
2. Вміти застосовувати попередні знання з курсів математичного аналізу, диференціальних та інтегральних рівнянь та математичної фізики для розв'язку задач електродинаміки, атомної фізики та квантової механіки.
3. Володіти навичками інтегрування раціональних функцій, перетворення комплексних чисел, розв'язування рівнянь у частинних похідних, обробки експериментальних даних та побудови графіків з використанням програмного пакету «Origin».

3. Анотація навчальної дисципліни / референс:

У рамках курсу Фізичні основи рентгеноструктурного аналізу та експериментальні методи рентгеноструктурних досліджень розглядається коло явищ, які виникають при дифракції рентгенівських променів на атомних просторових структурах у кристалах, аморфних речовинах, рідинах та низькорозмірних структурах і дозволяють отримувати інформацію про атомно-просторову будову таких об'єктів. Навчальна задача курсу полягає в оволодінні методами і принципами практичного застосування рентгенівської дифракції: визначення параметрів елементарної комірки, просторової групи кристалу, координат атомів в елементарній комірці, з'ясування фазового складу зразків та ступеню їх структурної досконалості, розмірів блоків когерентного розсіювання та залишкових мікронапруг. Результати навчання полягають в умінні застосовувати методи рентгеноструктурного аналізу для опису структурних властивостей конденсованих систем. Методи викладання: лекції, лабораторні заняття, консультації, екзамен. Методи оцінювання: опитування в процесі лекції, контрольні роботи після основних розділів спецкурсу, звіт по лабораторних роботах, екзамен. Підсумкова оцінка складається з семестрових модульних оцінок (60%) та оцінки підсумкового контролю знань (40%).

4. Завдання (навчальні цілі) – засвоєння сучасних теоретичних підходів до опису кінематичної та динамічної дифракції в ідеальних та реальних кристалах, оволодіння методами та принципами як теоретичного розв'язку рентгеноструктурних задач, так і виконання експериментальних досліджень з використанням сучасних рентгенівських дифрактометрів різних типів.

Згідно вимог Стандарту вищої освіти України, перший (бакалаврський) рівень вищої освіти, галузь знань 10 «Природничі науки», спеціальність 104 «Фізика та астрономія», ОПП «Фізичне матеріалознавство/Неметалічне матеріалознавство» дисципліна забезпечує набуття здобувачами освіти наступних **компетентностей**:

Інтегральних:

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:

ЗК3. Навички використання інформаційних і комунікаційних технологій.

ЗК5. Здатність приймати обґрунтовані рішення.

Фахових:

ФК2. Здатність використовувати на практиці базові знання з математики як математичного апарату фізики і астрономії при вивченні та дослідженні фізичних та астрономічних явищ і процесів.

ФК3. Здатність оцінювати порядок величин у різних дослідженнях, так само як точності та значимості результатів.

ФК4. Здатність працювати із науковим обладнанням та вимірювальними приладами, обробляти та аналізувати результати досліджень.

ФК9. Здатність працювати з джерелами навчальної та наукової інформації.

ФК14. Здатність здобувати додаткові компетентності через вибіркові складові освітньої програми, самоосвіту, неформальну та інформальну освіту.

5. Результати навчання за дисципліною: (описуються з детальною достовірністю для розробки заходів оцінювання)

Результат навчання (1. знати; 2. вміти; 3. комунікація*; 4. автономність та відповідальність*)		Методи викладання і навчання	Методи оцінювання	Відсоток у підсумковій оцінці з дисципліни
Ко д	Результат навчання			
1.1	Знати фізичний зміст основних процесів, що супроводжують розсіювання поляризованого та неполяризованого рентгенівського випромінення електронами окремого атому, кристалами з різними типами елементарних комірок, а також аморфними системами та рідинами. Виконувати математичне формулювання вказаних фізичних процесів. Знати і володіти основними методами розв'язку фізичних задач, що стосуються процесів розсіювання рентгенівських променів атомами періодичних та неперіодичних структур.	лекції	Модульна контрольна робота	14
1.2	Знати принципи дії, призначення та точність основних типів рентгенівських дифрактометрів та	лекції	Модульна контрольна робота	14

* заповнюється за необхідністю, наприклад для практик, лабораторних курсів тощо.

	рентгенографічних камер, а також можливості і межі їх застосування. Знати основні методики кількісного та якісного рентгенівського фазового аналізу, методи визначення розмірів блоків когерентного розсіювання та мікронапруг, методи діагностики структурної досконалості реальних кристалів, основні сучасні досягнення та проблеми рентгеноструктурного аналізу.			
2.1	Засвоїти навички проведення вимірювань дифракції рентгенівських променів з використанням дифрактометра ДРОН-4-07. Вміти експериментально визначати параметри рентгенівського емісійного $K\alpha$ -спектру та гальмівного рентгенівського випромінювання, тип та параметри елементарної комірки кристалів, прецизійно вимірювати параметри елементарної комірки кристалів кубічної сингонії.	лабораторні роботи 1 - 4	Захист лабораторних робіт	16
2.2	Вміти експериментально визначати рентгенівську характеристичну температуру кремнію. Виконувати рентгенівський фазовий аналіз, визначати параметри первинної і вторинної екстинції, визначати розміри блоків когерентного розсіювання та мікронапруг у полікристалах рентгенівським методом	лабораторні роботи 5 - 8	Захист лабораторних робіт	16

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

Результати навчання дисципліни				
Програмні результати навчання	1.1	1.2	2.1	2.2
ПРН1. Знати, розуміти та вміти застосовувати 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 8 фізичних явищ і процесів для розв'язування складних спеціалізованих задач та практичних проблем з фізики.	+	+		
ПРН3. Знати і розуміти експериментальні основи фізики: аналізувати, описувати, тлумачити та пояснювати основні експериментальні підтвердження існуючих фізичних теорій.			+	+
ПРН4. Вміти застосовувати базові математичні знання, які	+	+		

використовуються у фізиці та астрономії: з аналітичної геометрії, лінійної алгебри, математичного аналізу, диференціальних та інтегральних рівнянь, теорії ймовірностей та математичної статистики, теорії груп, методів математичної фізики, теорії функцій комплексної змінної, математичного моделювання.				
ПРН7. Розуміти, аналізувати і пояснювати нові наукові результати, одержані у ході проведення фізичних та астрономічних досліджень відповідно до спеціалізації.		+		+
ПРН8. Мати базові навички самостійного навчання: вміти відшукувати потрібну інформацію в друкованих та електронних джерелах, аналізувати, систематизувати, розуміти, тлумачити та використовувати її для вирішення наукових і прикладних завдань.	+	+		
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			+	+
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.		+		+
ПРН26. Знати основні сучасні фізичні теорії, що пов'язані з поясненням властивостей матеріалів; вміти застосовувати їх до пояснення властивостей неметалічних систем з різним функціональним призначенням.	+		+	
ПРН28. Розуміти міждисциплінарні шляхи розвитку науки та мати навички міждисциплінарних матеріалознавчих досліджень.	+		+	

Структура курсу

Курс складається з 2-х змістових модулів: 1.) «Теоретичні основи рентгеноструктурних досліджень: кінематичне та динамічне наближення», який включає в себе 8 лекцій та 4 лабораторні роботи; 2.) «Експериментальні методи визначення структури кристалів та неупорядкованих систем», який складається з 6 лекцій та 4 лабораторних робіт.

7. Схема формування оцінки:

7.1. Форми оцінювання студентів: (зазначається перелік видів робіт та форм їх контролю / оцінювання із зазначенням Min. – рубіжної та Max. кількості балів чи відсотків)

- семестрове оцінювання:

1. Модульна контрольна робота 1 (8 балів – 14 балів).
2. Захист лабораторних робіт 1 – 4 (10 балів – 16 балів). П. 1 та п2. Формують загальну оцінку першого змістового модулю.
3. Модульна контрольна робота 2 (8 балів – 14 балів).
4. Захист лабораторних робіт 5 – 8 (10 балів – 16 балів). П. 1 та п2. Формують загальну оцінку другого змістового модулю.

- підсумкове оцінювання у формі екзамену

Підсумкове оцінювання у формі екзамену¹: (обов'язкове проведення екзаменаційного оцінювання в письмовій формі)

¹ Семестрову кількість балів формують бали, отримані студентом у процесі теоретичного засвоєння матеріалу з усіх розділів дисципліни, семінарських занять, виконання практичних, лабораторних, індивідуальних, підсумкових

	ЗМ1/Частина 1 (за наявності)	ЗМ2/Частина 2 (за наявності)	Екзамен	Підсумкова оцінка
Мінімум	<u>18</u>	<u>18</u>	<u>24</u>	<u>60</u>
Максимум	<u>30</u>	<u>30</u>	<u>40</u>	<u>100</u>

у випадку комплексного екзамену слід вказати питому вагу складових
Студент не допускається до екзамену, якщо під час семестру набрав менше 36 балів.
(слід чітко прописати умови, які висуваються викладачами даної дисципліни).

Оцінка за іспит не може бути меншою **24 балів** для отримання загальної позитивної оцінки за курс.

7.2. Організація оцінювання: (обов'язково зазначається порядок організації передбачених робочою навчальною програмою форм оцінювання із зазначенням, у тому числі, результатів навчання, опанування яких перевіряється конкретним оцінюванням).

7.3 Шкала відповідності

Відмінно / Excellent	90-100
Добре / Good	75-89
Задовільно / Satisfactory	60-74
Незадовільно з можливістю повторного складання / Fail	35-59
Незадовільно з обов'язковим повторним вивченням дисципліни / Fail	0-34
Зараховано / Passed	60-100
Не зараховано / Fail	0-59

8. СТРУКТУРА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ ТЕМАТИЧНИЙ ПЛАН ЛЕКЦІЙ І ЛАБОРАТОРНИХ ЗАНЯТЬ

№ п/п	Назва теми	Кількість годин		
		лекції	лабораторні	Самостійна робота
Частина 1. Змістовий модуль 1. Теоретичні основи рентгеноструктурних досліджень: кінематичне та динамічне наближення				
1	Тема 1. Загальні умови дифракційних максимумів та основні експериментальні методи структурного аналізу. с.р.с. Вивчення матеріалу лекції.	2		11
2	Тема 2. Розсіювання рентгенівських променів вільним електроном та атомом. с.р.с. Вивчення матеріалу лекції. Виконання лабораторної роботи "Вивчення принципу роботи рентгенівського дифрактометра" а	2	5	10

контрольних робіт, творчих робіт впродовж семестру, передбачених робочою навчальною програмою (**100** балів - для залікових дисциплін, у випадку, якщо дисципліна завершується екзаменом, то розподіл здійснюється за таким алгоритмом: **60 балів (60%) – семестровий контроль і 40 балів (40%) – екзамен**).

3	Тема 3. Розсіювання рентгенівських променів кристалом з примітивною коміркою. с.р.с. Вивчення матеріалу лекції. Виконання лабораторної роботи «Дослідження флуоресцентного К α -спектру та гальмівного рентгенівського випромінення Си-аноду»	2	6	11
4	Тема 4. Дифракція рентгенівських променів на кристалі з непримітивною елементарною коміркою. с.р.с. Вивчення матеріалу лекції.	2		10
5	Тема 5. Вплив теплових коливань на інтенсивність розсіювання рентгенівських променів. с.р.с. Вивчення матеріалу лекції. Виконання лабораторної роботи «Визначення типу та параметру елементарної комірки кристалів кубічної сингонії»	2	5	10
6	Тема 6. Інтенсивність відбивання рентгенівських променів напівнескінченим ідеальним монокристалом. с.р.с. Вивчення матеріалу лекції.	2		10
7	Тема 7. Загальні рівняння розповсюдження хвиль у періодичному середовищі. с.р.с. Вивчення матеріалу лекції. Виконання лабораторної роботи «Прецизійне визначення параметру елементарної комірки кристалів кубічної сингонії»	2	5	10
8	Тема 8. Інтегральна інтенсивність відбивання рентгенівських променів від моно- та полікристалу. с.р.с. Вивчення матеріалу лекції.	2		10
<i>Підсумкова модульна контрольна робота 1</i>				
Частина 2.				
Змістовий модуль 2. Експериментальні методи рентгеноструктурного аналізу				
9	Тема 9. Метод Лауе: експериментальна реалізація та основні задачі. Метод обертання (гойдання) монокристалу. с.р.с. Вивчення матеріалу лекції.	2		10
10	Тема 10. Метод Дебая-Шерера. Рентгенівські камери та дифрактометри. с.р.с. Вивчення матеріалу лекції. Виконання лабораторної роботи «Експериментальне визначення рентгенівської характеристичної температури кремнію»	2	5	10
11	Тема 11. Методи визначення координат атомів	2		8

	в елементарній комірці. Метод міжатомної функції (F^2 –рядів). с.р.с. Вивчення матеріалу лекції.			
12	Тема 12. Рентгенівський кількісний та якісний фазовий аналіз. Дослідження мікронапруг та розмірів блоків когерентного розсіювання у полікристалах. с.р.с. Вивчення матеріалу лекції. Виконання лабораторної роботи «Рентгенівський фазовий аналіз бінарної суміші»	2	6	9
13	Тема 13. Дослідження структурної досконалості та субструктури кристалів рентгено-дифрактометричними методами. с.р.с. Вивчення матеріалу лекції.	2		8
14	Тема 14. Рентгеноструктурні та нейтронографічні дослідження рідин та аморфних сплавів с.р.с. Вивчення матеріалу лекції. Виконання лабораторної роботи «Дослідження явищ первинної та вторинної екстинції»	1	5	6
15	Тема 15. Рентгеноструктурні дослідження низько- та нанорозмірних структур. Нейтронографічні дослідження низько- та нанорозмірних структур с.р.с. Вивчення матеріалу лекції. Виконання лабораторної роботи «Визначення розмірів блоків когерентного розсіювання та мікронапруг у полікристалах рентгенівським методом»	1	5	6
	Підсумкова модульна контрольна робота			
	ВСЬОГО	28	42	139

Примітка: слід зазначити теми, винесені на самостійне вивчення

Загальний обсяг 7 кредитів = 210 годин год.², в тому числі:

Лекцій – **28 год.**

Семінари – **0 год.**

Практичні заняття – **0 год.**

Лабораторні заняття – **42 год.**

Тренінги – **0 год.**

Консультації - **1 год.**

Самостійна робота - **139 год.**

ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТІВ

² Загальна кількість годин, відведених на дану дисципліну згідно навчального плану.

1. Загальна постановка задачі структурного аналізу.
2. Умови дифракційних максимумів. Рівняння Брегів та Лауе, побудова Евальда.
3. Загальна характеристика основних експериментальних методів структурного аналізу.
4. Поляризаційний множник.
5. Дисперсійні поправки.
6. Атомна амплітуда, атомний множник.
7. Інтерференційна функція Лауе.
8. Ширина дифракційного максимуму та її залежність від розмірів кристала.
9. Структурна амплітуда та її залежність від елементів симетрії кристала.
10. Інтегральні, зональні та серіальні згасання.
11. Приклади обчислення структурної амплітуди кристалів з різними типами елементарних комірок.
12. Структурна амплітуда деяких наносистем (фулерени, графен, нанотрубки).
13. Фактор Дебая-Валлера.
14. Характеристична рентгенівська температура та методика її визначення
15. Інтегральна інтенсивність відбивання від моно- та полікристалу.
16. Фактор повторювання та фактор поглинання.
17. Загальні формули для коефіцієнта відбивання у кінематичному наближенні.
18. Інтенсивність відбивання рентгенівських променів напівнескінченим ідеальним монокристалом.
19. Первинна та вторинна екстинція.
20. Загальні рівняння розповсюдження хвиль у періодичному середовищі. (наближення Евальда-Лауе).
21. Двохвильове наближення.
22. Границі застосування кінематичного та динамічного наближення.
23. Основні задачі першого і другого етапів структурного аналізу та методи їх розв'язку.
24. Метод Лауе. Експериментальна реалізація методу та його основні задачі.
25. Побудова гномостереографічних проекцій кристалів за лауеграмою та епіграмою.
26. Визначення лауевського класу симетрії.
27. Метод обертання (гойдання) монокристала.
28. Індицирування рентгенограм обертання та гойдання.
29. Сітка Бернала.
30. Метод Дебая-Шерера.
31. Рентгенівські камери та рентгенівський дифрактометр.
32. Індицирування рентгенограм полікристалів.
33. Номограми Б'єрнстрема.
34. Метод Іто.
35. Поняття про методи визначення знаків структурних амплітуд.
36. Застосування рядів Фур'є у рентгеноспектральному аналізі.
37. Розклад електронної густини у ряд Фур'є.
38. Перерізи та проекції електронної густини.
39. Метод міжатомної функції (F^2 –рядів).
40. Властивості міжатомної функції.
41. Визначення структури кристала за розподілом електронної густини методом послідовних наближень.
42. Рентгенівський кількісний та якісний фазовий аналіз.
43. Методи кількісного фазового аналізу (внутрішнього та зовнішнього стандарту, порівняння інтенсивності аналітичних ліній різних фаз).
44. Чутливість та точність методу.
45. Дослідження мікронапруг та розмірів блоків когерентного розсіювання у полікристалах методом апроксимації та методом гармонічного аналізу форми структурних максимумів.

46. Дослідження впливу дефектів упаковки на інтенсивність розсіювання. Визначення імовірності дефектів упаковки та їх енергій.
47. Вплив точкових дефектів та дислокацій на картину рентгенівської дифракції.
48. Дефекти першого та другого роду.
49. Дослідження структурної досконалості кристалів рентгенодифрактометричними методами. Ефект Бормана та його застосування.
50. Поняття про рентгенівську топографію. Методи дослідження субструктури кристалів.
51. Метод Ланга, метод Шульца, метод Берга-Барета.
52. Рентгеноструктурні дослідження рідин та аморфних сплавів.
53. Загальний вираз для розрахунку інтенсивності дифракції рентгенівських променів на сукупності ідентичних об'єктів з випадковою орієнтацією у просторі.
54. Визначення міжатомних відстаней в аморфних та дрібнокристалічних зразках.
55. Функції радіального розподілу атомів, що розсіюють (РРА). Використання функцій РРА для дослідження аморфних систем та рідин.
56. Малокутове розсіювання нейтронів. Використання малокутового розсіювання нейтронів для характеристика аморфних систем та рідин.
57. Загальний підхід до опису дифракції рентгенівських променів та нейтронів ізольованими наночастинками, об'ємними нанокристалічними матеріалами, дво- та одновимірними наносистемами.
58. Вплив дефектності структури на характер розсіювання рентгенівського випромінювання та нейтронів низькорозмірними системами.
59. Структура графітоподібних матеріалів та інтеркальованих графітів. Ступінь графітизації. Турбостратна модель.
60. Вплив тангенційних відхилень та дефектів чергування шарів на дифракційну картину графітоподібних матеріалів.
61. Дифракція рентгенівських променів на вуглецевих нанотрубках та фулеренах.
62. Структурна амплітуда одностінної нанотрубки та фулерену.
63. Розмірні ефекти у дифракційних картинах наноструктур.
64. Методи багатопроменевої динамічної дифракції рентгенівських променів.
65. Рентгенографічні методи дослідження точкових дефектів та дислокацій у реальних кристалах.
66. Ефект Бормана та його застосування для дослідження структурної досконалості кристалів.
67. Сучасні методи дослідження субструктури кристалів.
68. Рентгенографічні дослідження фазових переходів у твердих тілах. Рентгенівська дилатометрія.
69. Методи малокутового розсіювання рентгенівських променів та нейтронів низькорозмірними та нанорозмірними системами.

9. РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА³:

Основна: (Базова)

1. П.В. Петренко. Дифракційні методи структурного аналізу. Кінематичне наближення. ВПЦ Київського національного університету імені Тараса Шевченка. 2005. 249с.
2. W. Massa. Crystal Structure Determination. Springer. 2000. 569 p.
3. Jens Als-Nielsen, Des McMorrow. Elements of Modern X-ray Physics. Wiley. 2001. 408 p.
4. Tsybulya S.V., Cherepanova S.V., Kryukova G.N. Full profile analysis of X-ray diffraction patterns for investigation of nanocrystalline systems /Diffraction analysis of

³ В тому числі Інтернет ресурси

the microstructure of materials (Mittemejer E.J., Scardi P. Eds.), Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg. 2004. P.453

5. Сидоренко С.І., Барабаш Р.І. Сучасний рентгеноструктурний аналіз реальних кристалів. // Київ. Наукова думка. 1997. 288 с.
6. А.П. Шпак, В.Л.Карбівський, Ю.А.Куницький, О.М. Пошелюжний. Сучасні методи дослідження структури матеріалів. Київ. Академперіодика. 2001. 342 с.

Додаткова:

1. А.А.Русаков. Рентгенографія металів. М. 1977.
2. Я.С.Уманський, Ю.А.Скаков, М.М.Расторгуєв. Кристалографія, рентгенографія та електронна мікроскопія., М.1982.
3. М.А. Порай-Кошиць. Практичний курс рентгеноструктурного аналізу М., МДУ.
4. Г.В.Бокій, М.А.Порай-Кошиць. Рентгеноструктурний аналіз. Т.1, М., МДУ, 1964.
5. В.І.Іверонова, Г.П.Ревкевич. Теорія розсіювання рентгенівських променів. М., МДУ, 1972.
6. Л.І.Даценко, В.П.Кладько, В.Ф.Мачулін, В.Б.Молодкін. Динамічне розсіювання рентгенівських променів реальними кристалами у сфері аномальної дисперсії. Київ, Академперіодика, 2002.
7. Кривоглаз М.А. Дифузне розсіювання рентгенівських променів та нейтронів на флуктуаційних неоднорідностях у неідеальних кристалах. Київ: Наук. Думка. 1984. 287 с.
8. Berliner R., Лісойван В.І., Громілов С.В. Аспекти точності у дифрактометрії полікристалів. Новосибірськ: Наука, 1989, 242 с.
9. Суздальов І.П. Нанотехнологія: фізико-хімія нанокластерів, наноструктур та наноматеріалів. М: КомКнига, 2006.