

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА**

Фізичний факультет
(назва факультету)

Кафедра загальної фізики

«ЗАТВЕРДЖУЮ»
Заступник декана
з навчальної роботи
Момот О.В.

« ____ » _____ 2020 року

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ¹

Експериментальні методи дослідження наносистем

(повна назва навчальної дисципліни)

для студентів

галузь знань 10 Природничі науки
(шифр і назва)
спеціальність 104 Фізика та астрономія
(шифр і назва спеціальності)
освітній рівень магістр
(молодший бакалавр, бакалавр, магістр)
освітня програма Фізика наносистем
(назва освітньої програми)
вид дисципліни обов'язкова

Форма навчання	<u>очна</u>
Навчальний рік	<u>2020/2021</u>
Семестр	<u>2</u>
Мова викладання, навчання та оцінювання	<u>українська</u>
Форма заключного контролю	<u>екзамен</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 – 2020

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 № 12 від 21 травня 2020 р.

Схвалено науково-методичною комісією фізичного факультету

протокол №33 від 11 червня 2020 року

Голова науково-методичної комісії _____
(підпис)

(Оліх О.Я.)
(прізвище та ініціали)

« _____ » _____ 2020 року

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

Мета дисципліни – отримання глибоких та систематичних знань щодо основних методів дослідження атомно-просторової структури низькорозмірних та нанорозмірних матеріалів різної природи (напівпровідникові низькорозмірні гетероструктури та квантові точки на основі ZnS, CdS, CdTe, вуглецеві низькорозмірні системи – інтеркальований графіт, нанотрубки, фулерени, графен тощо). Оволодіння сучасними експериментальними методами дослідження наносистем, зокрема, скануючою зондовою мікроскопією різних типів – тунельною, атомно-силовою, магнітно- та електросиловою, а також рентгенодифракційними методами, зокрема, методом малокутового розсіювання рентгенівських променів.

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».
4. Володіти навичками розв'язку задач на проходження частинки через потенціальний бар'єр, визначення сил взаємодії систем різної конфігурації.

3. Анотація навчальної дисципліни / референс:

У рамках курсу «Експериментальні методи дослідження наносистем» розглядається коло явищ, які виникають у процесах дифракції рентгенівських променів та нейтронів на низькорозмірних та нанорозмірних системах різної природи (напівпровідникові системи з квантовими точками, ямами та нитками, фулерени, графен, вуглецеві нанотрубки) і дозволяє визначати параметри атомно-просторової структури таких систем. У курсі розглядаються явища, що спостерігаються при взаємодії зондів різних типів з поверхнею конденсованих систем і дозволяють отримувати інформацію про атомно-просторову, електронну та магнітну структуру наносистем. Мета вивчення дисципліни – отримання студентами глибоких та систематичних знань щодо основних дифракційних методів дослідження атомно-просторової структури низькорозмірних та нанорозмірних матеріалів різної природи, фізичних принципів сканувальної зондової мікроскопії різних типів – тунельної, атомно-силової, магнітно- та електросилової. Навчальна задача курсу полягає в оволодінні принципами основних зондових методів отримання інформації про атомно-просторову та електронну структуру поверхні конденсованих наносистем, засвоєнні принципів застосування дифракції рентгенівських променів та нейтронів для визначення структурних характеристик різних типів низькорозмірних систем. Результати навчання полягають в умінні застосовувати отримані знання для планування експериментальних досліджень наносистем методами сканувальної зондової мікроскопії, дифракційні методи аналізу для опису структурних властивостей низькорозмірних систем, пояснення фізичних властивостей наносистем, оцінюванні точності отриманих результатів. Методи викладання: лекції, лабораторні роботи, консультації, екзамен. Методи оцінювання: опитування в процесі лекції, контрольні роботи за кожним змістовним модулем, захист лабораторних робіт, залік. Підсумкова оцінка виставляється на основі проміжних оцінок (60%) та екзамен (40%).

4. Завдання (навчальні цілі) – оволодіння методами та принципами планування та виконання експериментальних досліджень різних типів наносистем з використанням сучасних рентгенівських дифрактометрів та сканувальних зондових мікроскопів різних типів.

Згідно вимог проекту Стандарту вищої освіти України (другий (магістерський) рівень вищої освіти, галузь знань 10 «Фізика», спеціальність 104 «Фізика та астрономія», ОНП «Фізика наносистем») дисципліна забезпечує набуття здобувачами освіти наступних **компетентностей**:

Інтегральних:

Здатність розв'язувати складні задачі і проблеми дослідницького та інноваційного характеру у фізиці та астрономії.

Загальних:

- **ЗК1.** Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях (**ЗК1**).
- **ЗК2.** Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності.
- **ЗК3.** Здатність до пошуку, оброблення на аналізі інформації з різних джерел.
- **ЗК4.** Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями.
- **ЗК5.** Здатність використовувати інформаційні та комунікаційні технології.
- **ЗК6.** Здатність виявляти, ставити та вирішувати проблеми.
- **ЗК7.** Здатність проведення досліджень на відповідному рівні.
- **ЗК8.** Здатність використовувати основні методи програмування та моделювання у фізиці.

Фахових:

- **СК02.** Здатність формулювати, аналізувати та синтезувати рішення наукових проблем в області фізики.
- **СК03.** Здатність презентувати результати проведених досліджень, а також сучасні концепції у фізиці фахівцям і нефахівцям.
- **СК04.** Здатність комунікувати із колегами усно і письмово державною та англійською мовами щодо наукових досягнень та результатів досліджень в області фізики та астрономії.
- **СК05.** Здатність сприймати новоздобуті знання в області фізики та астрономії та інтегрувати їх із уже наявними, а також самостійно опановувати знання і навички, необхідні для розв'язання складних задач і проблем у нових для себе деталізованих предметних областях фізики та астрономії й дотичних до них міждисциплінарних областях.
- **СК08.** Здатність формулювати нові гіпотези та наукові задачі в області фізики, вибирати відповідні методи для їх розв'язання, беручи до уваги наявні ресурси.
- **СК10.** Здатність застосовувати сучасні експериментальні методи дослідження та діагностики наносистем.
- **СК11.** Здатність застосовувати методи отримання нанорозмірних нанокompозитних матеріалів.
- **СК13.** Здатність використовувати знання й уміння в галузі практичного використання комп'ютерних технологій для дослідження наносистем.

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

<i>Результат навчання</i> (1. знати; 2. вміти; 3. комунікація*; 4. автономність та відповідальність*)		<i>Методи викладання і навчання</i>	<i>Методи оцінювання</i>	<i>Відсоток у підсумковій оцінці з дисципліни</i>
Код	Результат навчання			
1.1	Знати основні методи опису процесів розсіювання рентгенівських променів кристалами, неупорядкованими макросистемами та низькорозмірними і нанорозмірними системами, а також фізичний зміст основних процесів, що відбуваються при проходженні тунельного струму в області зонд-поверхня при атомно-силовій, магнітній, електричній взаємодії зондів з поверхнею.	<i>лекції</i>	<i>Модульна контрольна робота</i>	15
1.2	Знати принципи дії, призначення та точність основних типів рентгенівських дифрактометрів, а також сканувальних зондових мікроскопів при дослідженні наносистем різної природи.	<i>лекції</i>	<i>Модульна контрольна робота</i>	15
2.1	Вміти логічно та послідовно формулювати основні фізичні принципи сканувальної зондової мікроскопії та дифракції рентгенівських променів низькорозмірними та нанорозмірними системами.	<i>лабораторні роботи 1 - 3</i>	<i>Захист лабораторних робіт</i>	18
2.2	Вміти планувати та виконувати експериментальні дослідження атомно-просторової структури низькорозмірних та нанорозмірних систем, а також поверхні конденсованих систем методами рентгенівської дифракції та сканувальної зондової мікроскопії.	<i>лабораторні роботи 4,5</i>	<i>Захист лабораторних робіт</i>	12

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

Результати навчання дисципліни	1.1	1.2	2.1	2.2
Програмні результати навчання				
РН02. Проводити експериментальні та теоретичні дослідження з фізики та астрономії, аналізувати отримані результати в контексті існуючих теорій, робити аргументовані висновки (включаючи оцінювання ступеня невизначеності) та пропозиції щодо подальших досліджень.	+		+	
РН04. Обирати і використовувати відповідні методи обробки та аналізу даних фізичних досліджень і оцінювання їх достовірності.		+		+
РН08. Презентувати результати досліджень у формі доповідей на семінарах, конференціях тощо, здійснювати професійний	+		+	+

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

письмовий опис наукового дослідження, враховуючи вимоги, мету та цільову аудиторію.				
РН10. Відшукувати інформацію і дані, необхідні для розв'язання складних задач фізики, використовуючи різні джерела, зокрема, наукові видання, наукові бази даних тощо, оцінювати та критично аналізувати отримані інформацію та дані.	+	+		+
РН11. Застосовувати теорії, принципи і методи фізики для розв'язання складних міждисциплінарних наукових і прикладних задач.	+			+
РН15. Планувати наукові дослідження з урахуванням цілей та обмежень, обирати ефективні методи дослідження, робити обґрунтовані висновки за результатами дослідження.	+		+	+
РН17. Знати методи опису процесів розсіювання рентгенівських променів та нейтронів наносистемами.	+	+		
РН21. Вміти обирати відповідні програмні пакети для наукових розрахунків в області фізики наносистем та користуватися методами графічного програмування.				+
РН25. Знати методи отримання та особливості структури наносистем, а також вміти встановлювати причинно-наслідковий зв'язок між особливостями їхнього складу та властивостей.	+			+
РН27. Вміти визначати метод розрахунку, необхідний для розв'язку конкретної наукової проблеми в області фізики наносистем.	+			+

7. Структура курсу

Курс складається з 2-х змістових модулів: 1.) «Основні принципи сканувальної тунельної та атомно-силової мікроскопії», який включає в себе 4 лекцій та 3 лабораторні роботи. 2.) «Основні принципи малокутового рентгено-дифракційного дослідження наносистем та електро- і магнітно-силової зондової мікроскопії», який складається з 4 лекцій та 2 лабораторних робіт.

8. Схема формування оцінки:

8.1 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 (10 балів – 15 балів).
2. Захист лабораторних робіт 1 – 3 (9 балів – 18 балів). П. 1 та п2. Формують загальну оцінку першого змістового модулю.
3. Модульна контрольна робота 2 (10 балів – 15 балів).
4. Захист лабораторних робіт 4,5 (7 балів – 12 балів). П. 1 та п2. Формують загальну оцінку другого змістового модулю.

- підсумкове оцінювання у формі екзамену

Підсумкове оцінювання у формі екзамену³: (обов'язкове проведення екзаменаційного оцінювання в письмовій формі)

	ЗМ1/Частина 1 (за наявності)	ЗМ2/Частина 2 (за наявності)	Екзамен	Підсумкова оцінка
--	------------------------------	------------------------------	---------	-------------------

³ Семестрову кількість балів формують бали, отримані студентом у процесі теоретичного засвоєння матеріалу з усіх розділів дисципліни, семінарських занять, виконання практичних, лабораторних, індивідуальних, підсумкових 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).

Мінімум	<u>19</u>	<u>17</u>	<u>24</u>	<u>60</u>
Максимум	<u>33</u>	<u>27</u>	<u>40</u>	<u>100</u>

у випадку комплексного екзамену слід вказати питому вагу складових

Студент не допускається до заліку, 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.

8.2 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).

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

СТРУКТУРА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ ТЕМАТИЧНИЙ ПЛАН ЛЕКЦІЙ І ЛАБОРАТОРНИХ ЗАНЯТЬ

№ п/п	Назва лабораторної роботи	Кількість годин		
		лекцій	лабораторні	самостійна робота
Частина 1.				
Змістовий модуль 1. Основні принципи сканувальної тунельної та атомно-силової мікроскопії				
1	ТЕМА 1. Основи сканувальної зондової мікроскопії (СЗМ). Будова та функціонування сканувального тунельного мікроскопу (СТМ). с.р.с. Вивчення матеріалу лекції.	2		6
2	ТЕМА 2. Елементи конструкції та режими роботи СТМ. Методи обробки інформації в СТМ. Тунельна спектроскопія. с.р.с. Вивчення матеріалу лекції. Виконання лабораторної роботи «Визначення елементного складу бінарного нанокompозиту методом електронно-зондового мікроаналізу»	2	2	8
3	ТЕМА 3. Фізичні основи сканувальної атомно-силової мікроскопії (АСМ). с.р.с. Вивчення матеріалу лекції. Виконання лабораторної роботи «Визначення розмірів блоків когерентного розсіювання у нанокристалах за уширенням рентгенівських максимумів»	2	3	8
4	ТЕМА 4. Будова та функціонування атомно-силового мікроскопу. Методи вимірювань в АСМ. Дослідження рельєфу поверхні з використанням напівконтактного	2	3	8

	методу. с.р.с. Вивчення матеріалу лекції. Виконання лабораторної роботи «Дослідження поверхні твердого тіла методом сканувальної тунельної мікроскопії»			
	<i>Підсумкова модульна контрольна робота 1</i>			
Частина 2.				
Змістовий модуль 2. Основні принципи малокутового рентгенодифракційного дослідження наносистем та електро- і магнітно-силової зондової мікроскопії				
5	ТЕМА 5. Методи електро- та магнітно-силової зондової мікроскопії. с.р.с. Вивчення матеріалу лекції. Виконання лабораторної роботи «Рентгенівський фазовий аналіз бінарного наноконструкту»	2	3	8
6	ТЕМА 6. Мікроскопія індукованого електричного поля провідних і діелектричних нанооб'єктів. Принципи роботи та конструкції магнітно-силових мікроскопів (МСМ). Взаємодія зонда з магнітними полями зразка. с.р.с. Вивчення матеріалу лекції.	2		8
7	ТЕМА 7. Метод малокутового розсіювання рентгенівських променів. с.р.с. Вивчення матеріалу лекції. Виконання лабораторної роботи «Дослідження системи наночастинок, осаджених на плоску поверхню, методом атомно-силової мікроскопії»	2	3	8
8	ТЕМА 8. Інтенсивність малокутового розсіювання моно та полідисперсними системами. с.р.с. Вивчення матеріалу лекції.	2		6
	<i>Підсумкова модульна контрольна робота 2</i>			
	ВСЬОГО	16	14	60

Примітка: слід зазначити теми, винесені на самостійне вивчення

Загальний обсяг 90 год.⁴, в тому числі:

Лекцій – **16** год.

Семінари – **0** год.

Практичні заняття – **0** год.

Лабораторні заняття – **14** год.

Тренінги – **0** год.

Консультації – **0** год.

Самостійна робота - **60** год.

ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТІВ

1. Конструктивні особливості та режими роботи зондових мікроскопів.
2. Комбінації різних типів мікроскопів в одному приладі.
3. Принципи скануючої тунельної мікроскопії.
4. Квантово-механічний опис проходження частинки через потенціальний бар'єр.

⁴ Загальна кількість годин, відведених на дану дисципліну згідно навчального плану.

5. Конструкції скануючі тунельних мікроскопів (СТМ).
6. Системи зближення голки та зразка. Скануючі елементи. Способи виготовлення СТМ-зондів.
7. Отримання зображень поверхні в режимах постійного тунельного струму та постійної середньої висоти.
8. Отримання інформації про розподіл локальної роботи виходу електронів вздовж поверхні. Система автоматизації СТМ.
9. Характерні спотворення зображень та методи їх усунення.
10. Спектральний та кореляційний аналіз зображення поверхні.
11. Тунельна спектроскопія.
12. Вольт-амперні характеристики тунельних контактів.
13. Залежність тунельного струму від відстані зонд-зразок.
14. Резонансні ефекти в СТМ.
15. Низькотемпературний СТМ.
16. Спектроскопія надпровідників.
17. Силова взаємодія зонда з поверхнею.
18. Сили Ван-дер-Ваальса, адгезійні сили.
19. Електростатична взаємодія зонда з поверхнею.
20. Руйнування поверхонь зонда і зразка.
21. Загальна схема взаємодії основних елементів АС-мікроскопа.
22. Конструкція датчика силової взаємодії: кантилевер і зонд атомно-силового мікроскопа. Вимірювальна головка АСМ.
23. Оптична система реєстрації відхилень кантилевера.
24. Скануючі елементи (сканери) зондових мікроскопів.
25. Конструкції п'єзосканерів. Трубковий п'єзоелемент, трипод.
26. Недоліки п'єзосканерів.
27. Сканери з датчиками переміщень.
28. Ємнісні датчики для X,Y сканерів. Система зворотного зв'язку.
29. Власні коливання кантилевера.
30. Добротність кантилевера.
31. Коливання за наявності зовнішньої періодичної сили.
32. Малі коливання кантилевера в силовому полі.
33. Амплітудно-частотна і фазово-частотна характеристики кантилевера.
34. Зміна фази, амплітуди і частоти коливань в силовому полі.
35. Криві підведення зонда до зразка.
36. Вимірювання рельєфу поверхні з використанням контактного квазістатичного методу. Однопрохідні і багатопрохідні методи, зондова нанолітографія.
37. Вимірювання рельєфу поверхні методом постійної висоти і методом постійної сили.
38. Схема петлі зворотного зв'язку в контактному методі.
39. Метод латеральних сил.
40. Достоїнства і недоліки контактного методу АСМ.
41. Принцип роботи АСМ за напівконтактним коливальним методом.
42. Розгойдування кантилевера.
43. Обробка змінного сигналу DFL.
44. Схема петлі зворотного зв'язку в напівконтактному методі.
45. Залежність сигналу MAG від зсуву кантилевера уздовж вертикальної осі (напівконтактні криві приводу-відведення).
46. Визначення абсолютного значення амплітуди коливань кантилевера.
47. Безконтактний метод роботи АСМ.
48. Лінійні міри для растрових електронних і атомний-силових мікроскопів.
49. Періодичні крокові і поодинокі структури.
50. Властивості універсальної лінійної рельєфної міри.
51. Створення структури з трапецієвидним профілем.
52. Вплив пружних деформацій на роздільну здатність АСМ.
53. Ефект розширення профілю. Ефект заниження висот.
54. Межа розділення, обумовлена пружними деформаціями, для різних матеріалів.
55. Вплив радіусу заокруглення зонда і кута розчину конуса.
56. Конволюція форми зонда з рельєфом поверхні.

57. Латеральна роздільна здатність АСМ.
58. Артефакти, обумовлені просторовим розділенням. Атомарне та псевдоатомарне розділення.
59. Мікроскопія індукованого електричного поля провідних і діелектричних нанооб'єктів.
60. Ємнісна мікроскопія та мікроскопія електричного потенціала (Кельвін-ефект).
61. Застосування мікроскопії індукованого електричного поля. для визначення провідних об'єктів в діелектричній матриці.
62. Принципи роботи та конструкції магнітно-силових мікроскопів.
63. Взаємодія зонда з магнітними полями зразка.
64. Особливості формування МСМ-контрасту від різних структур.
65. Реєстрація магнітострикційного відгуку поверхні.
66. Проходження світла через отвори з розмірами, меншими за довжину світлової хвилі. Принципи роботи ближньопольових оптичних мікроскопів.
67. Режими роботи БОП.
68. Типи ближньопольових оптичних зондів та методи їх виготовлення.
69. Зонди скануючої ближньопольової оптичної мікроскопії (СБОП) на основі оптичного волокна.
70. Ближньопольова спектроскопія напівпровідникових структур.
71. Дослідження фотолюмінесценції квантових точок, ниток та ям з високим просторовим розділенням. Фізико-хімічні ефекти в зондових нанотехнологіях.
72. Контактне та безконтактне формування нанорельєфу поверхні підложок.
73. Міжелектродний масоперенос з манометровим розділенням.
74. Модифікація властивостей середовища в зазорі між ровідним зондом і підложкою. Локальне анодне окислення.
75. Теплові ефекти в пристроях вакуумної мікро- та наноелектроніки.
76. Дослідження нанорозмірних структур на поверхні тривимірних макрооб'єктів.
77. Термохімічні процеси на поверхні, які стимульовано проходженням струму через контакт.
78. Магнітний вплив зонду на поверхню магнітних згазків.
79. Створення поверхневих структур нанометрового масштабу.
80. Надщільний запис інформації методом МСМ.
81. Ініціювання фотохімічних, термохімічних реакцій та процесів дифузії під дією оптичного випромінення.
82. Застосування мало кутового розсіювання рентгенівських променів для дослідження наносистем.
83. Монодисперсна наносистема. Формула Гіньє.
84. Визначення радіусу та кількості наночастинок для монодисперсної системи.
85. Метод дотичних. Перехід до полідисперсної системи. Визначення розподілу наночастинок по фракціям.
86. Загальний опис мало кутового розсіювання. Кореляційна функція та функція розподілу наночастинок за розмірами.

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА⁵:

Основна: (Базова)

1. Е.Г. Дедкова, А.А Чуприк, И.И. Бобринецкий, В. К. Неволин. Приборы и методы зондовой микроскопии. Учебное пособие. М.: МФТИ, 2011, 160 с.
2. И.И. Бобринецкий, В. К. Неволин. Зондовая микроскопия в нанотехнологии. М.: Из-во МИСИ, 2008, 132 с.
3. В.Л. Миронов. Основы сканирующей зондовой микроскопии. М.: Техносфера, 2004, 143 с.
4. В.И.Иверонова, Г.П.Ревкевич. Теория рассеяния рентгеновских лучей. М.,МГУ, 1972.
5. Я.С.Уманский, Ю.А.Скаков, М.Н.Расторгуев. Кристаллография, рентгенография и электронная микроскопия., М.1982.
6. 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 the microstructure of materials (Mittemejer E.J., Scardi P. Eds.), Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg. 2004.
7. W. Massa. Crystal Structure Determination. Springer. 2000. 569 p.

⁵ В тому числі Інтернет ресурси

8. Jens Als-Nielsen, Des McMorrow. Elements of Modern X-ray Physics. Wiley. 2001. 408 p.
9. Суздаев И.П., Суздаев П.И.. Нанокластеры и нанокластерные системы. Организация, взаимодействие, свойства //Успехи химии.-2001.-Т.70, №3.-С.203-240.
10. Суздаев И.П. Нанотехнология: физико-химия нанокластеров, наноструктур и наноматериалов. М.: КомКнига, 2006.

Додаткова:

1. В.А. Быков, М.И. Лазарев, С.А. Саунин - Сканирующая зондовая микроскопия для науки и промышленности. М.: //Электроника: наука, технология, бизнес, 1997, № 5, стр. 7 - 14.
2. А.П.Володин. Новое в сканирующей микроскопии. // Приборы и техника эксперимента, 1998, № 6, стр. 3 - 42.
3. Scanning probe microscopy and spectroscopy: methods and applications by Roland Wiesendanger Cambridge University Press, 1994 ISBN 0521428475, 9780521428477.
4. Scanning Probe Microscopy - Analytical Methods by Roland Wiesendanger, Springer, 1998 ISBN 3540638156, 9783540638155.
5. Scanning Probe Microscopy and Spectroscopy : Theory, Techniques, and Applications by Dawn Bonnell (Editor), Wiley-VCH, 2000.
6. Scanning Probe Microscopy: The Lab on a Tip by Ernst Meyer ,Hans Josef Hug, Roland Bennewitz, Springer-Verlag, 2003, ISBN: 3540431802.
7. А.А.Русаков. Рентгенография металлов. М. 1977.
8. Г.С.Жданов, А.С.Илюшин, С.В.Никитина. Дифракционный и резонансный структурный анализ.
9. А.П. Шпак, В.Л.Карбівський, Ю.А.Куницький, О.М. Пошелюжний. Сучасні методи дослідження структури матеріалів. Київ. Академперіодика. 2001.
10. Л.И.Даценко, В.П.Кладько, В.Ф.Мачулин, В.Б.Молодкин. Динамическое рассеяние рентгеновских лучей реальными кристаллами в области аномальной дисперсии. Киев, Академперіодика, 2002.
11. Свергун Д.И., Фейгин Л.А. Рентгеновское и нейтронное малоугловое рассеяние. М.: Наука. 1986.
12. Брандон Дж., Каплан У. Микроструктура материалов: Методы исследования и контроля. М.: Техносфера, 2004. 384 с.
13. Кривоглаз М.А. Диффузное рассеяние рентгеновских лучей и нейтронов на флуктуационных неоднородностях в неидеальных кристаллах. Киев: Наук. Думка. 1984. 287 с.
14. Berliner R., Лисойван В.И., Громилов С.В. Аспекты точности в дифрактометрии поликристаллов. Новосибирск: Наука, 1989, 242 с.
15. <http://www.ntmdt-si.ru/spm-basics>