

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА**

Фізичний факультет
(назва факультету)

Кафедра загальної фізики



2022 року

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ¹

Експериментальні методи дослідження конденсованого стану *Bk7 2.1*
(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>8</u>
Кількість кредитів ECTS	<u>4</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 (раді 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 конденсованих систем, в першу чергу, 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, сканувальною зондовою мікроскопією різних типів – тунельною, атомно-силовою, магнітно- та електросиловою, рентгенівськими дифракційними (SAXS) та абсорбційними (EXAFS) методиками, оптичною конфокальною та ближньопольовою мікроскопією.

2. Попередні вимоги до опанування або вибору навчальної дисципліни:

- Знати закони класичної електродинаміки, оптики, атомної фізики та квантової механіки, а також основи математичного аналізу та теорії функції комплексної змінної.
- 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.
- 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».
- 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 конденсованого стану » розглядається коло явищ, які виникають у процесах дифракції та поглинання рентгенівських променів конденсованою речовиною (низькорозмірні та нанорозмірні системи різної природи, напівпровідникові системи з квантовими точками, ямами та нитками, фулерени, графен, вуглецеві нанотрубки тощо) і дозволяють визначати параметри атомно-просторової структури таких систем. У курсі розглядаються явища, що спостерігаються при взаємодії зондів різних типів з поверхнею конденсованих систем, а також при проходженні світлових променів через субмікронні діафрагми і дозволяють отримувати інформацію про атомно-просторову, електронну та магнітну структуру наносистем.

Мета вивчення дисципліни – отримання студентами глибоких та систематичних знань щодо основних рентгенівських дифракційних да абсорбційних методів дослідження атомно-просторової структури конденсованої речовини, в першу чергу, 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 рентгенівських дифракційних да абсорбційних методів, оптичних методів ближньопольової мікроскопії для визначення структурних характеристик різних типів низькорозмірних систем.

Результати навчання полягають в умінні застосовувати отриманні знання для планування експериментальних досліджень конденсованих систем методами сканувальної зондової мікроскопії, малокутового розсіювання рентгенівських променів, методом EXAFS, конфокальної та ближньопольової оптичної мікроскопії, виконувати пояснення фізичних властивостей наносистем, оцінювання точності отриманих результатів. Методи викладання: лекції, лабораторні роботи. Методи оцінювання: опитування в процесі лекції, контрольні

роботи за кожним змістовним модулем, захист лабораторних робіт, екзамен. Підсумкова оцінка виставляється на основі проміжних оцінок (60%) та екзамен (40%).

4. Завдання (навчальні цілі) – оволодіння методами та принципами планування та виконання експериментальних досліджень атомно-просторової структури та морфології різних типів конденсованих систем, в першу чергу, наносистем, з використанням сучасних рентгенівських дифрактометрів, сканувальних зондових мікроскопів різних типів, методики рентгенівської абсорбційної спектроскопії EXAFS та оптичних конфокальних і ближньопольових мікроскопів.

Згідно вимог проекту 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:

ЗК1. Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу.

ЗК2. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.

ЗК3. Навички використання інформаційних і комунікаційних технологій.

ЗК7. Навички здійснення безпечної діяльності.

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.

ФК7. Здатність використовувати базові знання з фізики та астрономії для розуміння будови та поведінки природних і штучних об'єктів, законів існування та еволюції Всесвіту.

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
Код	Результат навчання			
1.1	Знати основні методи опису процесів розсіювання та поглинання рентгенівських променів кристалами, неупорядкованими макросистемами та низькорозмірними і нанорозмірними системами, фізичний зміст основних	Лекції	Опитування в процесі лекції, перевірка рефератів та інших форм самостійної роботи.	20

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

	процесів, що відбуваються при проходженні тунельного струму в області зонд-поверхня при атомно-силовій, магнітній, електричній взаємодії зондів з поверхнею, проходженні світла через субмікронні діафрагми.		Модульна контрольна робота	
1.2	Знати принципи дії, призначення та точність основних типів рентгенівських дифрактометрів, а також сканувальних зондових мікроскопів, конфокальних мікроскопів, мікроскопів ближнього оптичного поля та EXAFS при дослідженні наносистем різної природи.	Лекції	Опитування в процесі лекції, перевірка рефератів та інших форм самостійної роботи. Модульна контрольна робота	25
2.1	Вміти логічно та послідовно формулювати основні фізичні принципи сканувальної зондової мікроскопії, дифракції рентгенівських променів, оптичної мікроскопії та EXAFS низькорозмірними та нанорозмірними системами, фізичні принципи експериментальних методів дослідження структурно-морфологічних характеристик конденсованих систем.	Лекції, виконання лабораторних робіт	Захист лабораторних робіт. Опитування в процесі лекції, перевірка рефератів та інших форм самостійної роботи. Модульна контрольна робота	25
2.2	Вміти планувати та виконувати експериментальні дослідження атомно-просторової структури низькорозмірних та нанорозмірних систем, а також поверхні конденсованих систем методами рентгенівської дифракції, сканувальної зондової мікроскопії, оптичної мікроскопії та EXAFS	Лекції, виконання лабораторних робіт	Захист лабораторних робіт. Опитування в процесі лекції, перевірка рефератів та інших форм самостійної роботи. Модульна контрольна робота	30

6. Співвідношення результатів навчання дисципліни із програмними результатами навчання (необов'язково для вибіркокових 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 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 відшуковувати потрібну інформацію в друкованих та електронних джерелах, аналізувати, систематизувати, розуміти, тлумачити та використовувати її для вирішення наукових і прикладних завдань.	+		+	+
ПРН10. Вміти планувати дослідження, обирати оптимальні методи та засоби досягнення мети дослідження, знаходити шляхи розв'язання наукових завдань та вдосконалення застосованих методів.	+	+	+	+
ПРН11. Вміти упорядковувати, тлумачити та узагальнювати одержані наукові та практичні результати, робити висновки.			+	+
ПРН12. Вміти представляти одержані наукові результати, брати участь у дискусіях стосовно змісту і результатів власного наукового дослідження.			+	+
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.			+	+
ПРН18. Володіти державною та іноземною мовами на рівні, достатньому для усного і письмового професійного спілкування та презентації результатів власних досліджень.	+		+	+
ПРН22. Розуміти значення фізичних досліджень для забезпечення сталого розвитку суспільства	+		+	+

Структура курсу

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

7. Схема формування оцінки

7.1 Форми оцінювання студентів: (азначається 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 (11 балів – 16 балів).
2. Захист лабораторних робіт 1– 4 (8 балів – 16 балів). П. 1 та п2. Формують загальну оцінку першого змістового модулю.
3. Модульна контрольна робота 2 (11 балів – 16 балів).
4. Захист лабораторних робіт 5-7 (6 балів – 12 балів). П. 1 та п2. Формують загальну оцінку другого змістового модулю.

- підсумкове оцінювання у формі екзамену

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

	ЗМ1/Частина 1 (за наявності)	ЗМ2/Частина 2 (за наявності)	Екзамен	Підсумкова оцінка
<i>Мінімум</i>	19	17	24	60
Максимум	32	28	40	100

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.

7.3. 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

8. СТРУКТУРА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ ТЕМАТИЧНИЙ ПЛАН ЛЕКЦІЙ І ЛАБОРАТОРНИХ ЗАНЯТЬ

№ п/п	Назва лабораторної роботи	Кількість годин		
		лекції	лабораторні	самостійна робота
Частина 1.				
Змістовий модуль 1. Основні принципи сканувальної тунельної та атомно-силової				

¹ 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**).

<i>мікроскопії</i>				
1	ТЕМА 1. Основи сканувальної зондової мікроскопії (СЗМ). Будова та функціонування сканувального тунельного мікроскопу (СТМ). С.р.с. Вивчення матеріалу лекції та підготовка до виконання лабораторної роботи. <u>Виконання лабораторної роботи №1</u> «3D-моделювання структури Si та SiO ₂ з використанням програмного пакету Vesta-3»	2	4	10
2	ТЕМА 2. Елементи конструкції та режими роботи СТМ. Методи обробки інформації в СТМ. Тунельна спектроскопія. С.р.с. Вивчення матеріалу лекції та підготовка до виконання лабораторної роботи. <u>Виконання лабораторної роботи №2</u> «Моделювання рентгенівських дифрактограм кремнію та 3d-металів з використанням програмного пакету Vesta-3».	2	4	10
3	ТЕМА 3. Фізичні основи сканувальної атомно-силової мікроскопії (АСМ). С.р.с. Вивчення матеріалу лекції та підготовка до виконання лабораторної роботи. <u>Виконання лабораторної роботи №3</u> «Визначення елементного складу бінарного нанокompозиту методом електронно-зондового мікроаналізу»	2	4	12
4	<u>Виконання лабораторної роботи №4</u> «Визначення розмірів блоків когерентного розсіювання у нанокристалах за уширенням рентгенівських максимумів» С.р.с. Підготовка до виконання лабораторної роботи.	-	4	8
<i>Підсумкова модульна контрольна робота 1</i>				
Частина 2. Змістовий модуль 2. Основні принципи малокутового рентгенодифракційного дослідження наносистем, електро- і магнітно-силової зондової мікроскопії, оптичної мікроскопії ближнього поля та EXAFS				
5	ТЕМА 5. Методи електро- та магнітно-силової зондової мікроскопії та її застосування для визначення електричних та магнітних характеристик нанооб'єктів. С.р.с. Вивчення матеріалу лекції та підготовка до виконання лабораторної роботи. <u>Виконання лабораторної роботи №5</u> ««Рентгенівський фазовий аналіз бінарного нанокompозиту»	1	4	10
6	ТЕМА 4. Будова та функціонування атомно-силового мікроскопу. Методи вимірювань в АСМ. Дослідження рельєфу поверхні з використанням напівконтактного методу. С.р.с. Вивчення матеріалу лекції та підготовка до виконання лабораторної роботи. <u>Виконання лабораторної роботи №6</u> «Дослідження поверхні твердого тіла методом сканувальної	1	5	10

	тунельної мікроскопії»			
7	ТЕМА 7. Метод малокутового розсіювання рентгенівських променів. С.р.с. Вивчення матеріалу лекції. та підготовка до виконання лабораторної роботи. <u>Виконання лабораторної роботи №7 «Дослідження системи наночастинок, осаджених на плоску поверхню, методом атомно-силової мікроскопії»</u>	1	5	12
8	ТЕМА 8. Метод дослідження далекої тонкої структури спектрів поглинання (EXAFS). Фізичні основи методу та інформативність. Застосування методу для дослідження структури наносистем. С.р.с. Вивчення матеріалу лекції.	1	-	8
	<i>Підсумкова модульна контрольна робота 2</i>			
	ВСЬОГО	10	30	80

Примітка: слід зазначити теми, винесені на самостійне вивчення

Загальний обсяг 120 год.², в тому числі:

Лекцій – **10** год.

Семінари – **0** год.

Практичні заняття – **0** год.

Лабораторні заняття – **30** год.

Тренінги – **0** год.

Консультації – **0** год.

Самостійна робота - **80** год.

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

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.
5. Конструкції скануючи тунельних мікроскопів (СТМ).
6. Системи зближення голки та зразка. Скануючи 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. Трубовий 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.Arteфакти, обумовлені просторовим розділенням. Атомарне та псевдоатомарне розділення.
59. Мікроскопія індукованого електричного поля провідних і діелектричних нанооб'єктів.
60. Ємнісна мікроскопія та мікроскопія електричного потенціалу (Кельвин-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. Дослідження фотолюмінесценції квантових точок, ниток та ям з високим просторовим розділенням. Фізико-хімічні ефекти в зондових нанотехнологіях.
67. Контактне та безконтактне формування нанорельєфу поверхні підложок.
68. Міжелектродний масоперенос з манометровим розділенням.
69. Модифікація властивостей середовища в зазорі між ровідним зондом і підложкою. Локальне анодне окислення.
70. Теплові ефекти в пристроях вакуумної мікро- та наноелектроніки.
71. Дослідження нанорозмірних структур на поверхні тривимірних макрооб'єктів.
72. Термохімічні процеси на поверхні, які стимульовано проходженням струму через контакт.
73. Магнітний вплив зонду на поверхню магнітних зразків.
74. Створення поверхневих структур нанометрового масштабу.
75. Надшліпний запис інформації методом МСМ.
76. Ініціювання фотохімічних, термохімічних реакцій та процесів дифузії під дією оптичного випромінювання.
77. Дифракційне обмеження роздільної здатності оптичного приладу.
78. Принципи конфокальної мікроскопії.
79. Роздільна здатність конфокального мікроскопа. Підвищення контрастності у конфокальному мікроскопі. Можливості конфокальної мікроскопії.
80. Принципи оптичної мікроскопії ближнього поля (ОМБП). Особливості хвильового поля електромагнітної хвилі при проходженні через субхвильові діафрагми.
81. Ближнє та дальнє поле, еванесцентні та випромінювальні моди. Принцип формування зображення в ОМБП.
82. Експериментальні схеми ОМБП – на відбивання, розсіювання та комбінована. Можливості ОМБП.
83. Фізичні основи методу EXAFS. Синхротронне випромінювання. Синхротронний прискорювач електронів як джерело синхротронного випромінювання.

84. Формування третинної хвилі фотоелектрона (електрона, вибитого з атома) при його розсіюванні на атомах вибраної координаційної.
85. Повна хвильова функція фотоелектрона у кристалі з врахування розсіювання на атомах найближчого оточення. Вираз для обчислення коефіцієнта поглинання. Нормалізована EXAFS-функція та її Фур'є образ.
86. Структурні параметри наносистем, які дозволяє визначити метод EXAFS.
87. Застосування мало кутового розсіювання рентгенівських променів для дослідження наносистем.
88. Монодисперсна наносистема. Формула Гінєє.
89. Визначення радіусу та кількості наночастинок для монодисперсної системи.
90. Метод дотичних. Перехід до полідисперсної системи. Визначення розподілу наночастинок по фракціям.
91. Загальний опис мало кутового розсіювання. Кореляційна функція та функція розподілу наночастинок за розмірами.

9. РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА³:

Основна: (Базова)

1. С.І. Мудрий, Ю.О. Кулик, А.С. Якимович. Рентгеноструктурний аналіз у матеріалознавстві. Львів, ЛНУ, 2017. (https://physics.lnu.edu.ua/wp-content/uploads/rsa_materialozn.pdf)
2. Т.І. Бутенко, С.О. Колінко, В.А. Ващенко. Контроль структури, елементного та фазового складу матеріалів. Черкаси, ЧДТУ, 2021 (<https://er.chdtu.edu.ua/bitstream/ChSTU/2942/1/%D0%9A%D0%BE%D0%BD%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BB%D1%8C%20%D1%81%D1%82%D1%80%D1%83%D0%BA%D1%82%D1%83%D1%80%D0%B8.pdf>)
3. А.М. Горячко, С.П. Кулик, О.В. Прокопенко. Основи скануючої зондової мікроскопії та спектроскопії. Ч2. Київ, КНУ, 2012. (http://rex.knu.ua/wp/wp-content/uploads/2017/10/Gorjachko_etal_Osnovi_SZM_part2.pdf)
4. Хрипунов Г.С., Зайцев Р.В., Хрипунова А.Л. та ін. Фізичне матеріалознавство для мікро- та наноелектроніки, Т2, Харків, НТУ «ХПІ», 2014. (http://repository.kpi.kharkov.ua/bitstream/KhPI-Press/39131/1/Book_2014_Khrypunov_Fizychne_materialoznavstvo_2.pdf)
5. О.Г. Лисенко. Багатофункціональний сканувальний зондовий мікроскоп з алмазним вістрям. Нанотехнологічні дослідження при атмосферних умовах. Наука та інновації, 2012, Т.8, №2, С.8-12. (<http://dspace.nbuv.gov.ua/bitstream/handle/123456789/116082/03-Lysenko.pdf?sequence=1>).
6. EXAFS:Theory. [https://chem.libretexts.org/Bookshelves/Physical_and_Theoretical_Chemistry_Textbook_Maps/Supplemental_Modules_\(Physical_and_Theoretical_Chemistry\)/Spectroscopy/X-ray_Spectroscopy/EXAFS%3A_Theory](https://chem.libretexts.org/Bookshelves/Physical_and_Theoretical_Chemistry_Textbook_Maps/Supplemental_Modules_(Physical_and_Theoretical_Chemistry)/Spectroscopy/X-ray_Spectroscopy/EXAFS%3A_Theory)
7. Introduction to Small-Angle X-Ray scatterin. (https://www-ssrl.slac.stanford.edu/~saxs/download/weiss_intro.pdf)

Додаткова:

³ В тому числі Інтернет ресурси

1. В.Л. Миронов. Основи скануючої зондової мікроскопії. М: Техносфера, 2004, 143 с.
2. А.П. Шпак, В.Л.Карбівський, Ю.А.Куницький, О.М. Пошелюжний. Сучасні методи дослідження структури матеріалів. Київ. Академперіодика. 2001.
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.

Наукове обладнання, яке використовується при викладанні дисципліни:

1. Рентгенівський дифрактометр ДРОН-4-07 з приставкою ГП-14 для дослідження полікристалів.
2. Атомно-силовий мікроскоп Integra Prima Basic для дослідження поверхонь нанорозмірних об'єктів, розміщених на твердій підкладинці.