

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА**

Фізичний факультет  
(назва факультету)

Кафедра загальної фізики



Момот О.В.

2022 року

**РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ<sup>1</sup>**

Методи експериментальних досліджень напівпровідникових матеріалів Вк 7.1.1  
(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 вибіркова

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: доцент Подолян Артем Олександрович

(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**

<sup>1</sup> 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.

Розробники: Подолян Артем Олександрович, доцент кафедри загальної фізики, канд. фіз.-мат. наук, доцент

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)

## **ВСТУП**

1. **Мета дисципліни** – отримання глибоких та систематичних знань щодо існуючих методів експериментальних досліджень напівпровідникових структур, а саме методів досліджень дефектної системи та методів зондової мікроскопії.

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

1. Знати курси загальної фізики, курси теоретичної фізики («Квантова механіка», «Статистична фізика»), курси спеціального призначення та основи електроніки.

2. Вміти застосовувати знання з курсів математичного аналізу, диференціальних та інтегральних рівнянь, чисельних методів.

3. Мати елементарні навички проведення експериментів та обробки результатів експериментальних досліджень.

3. **Анотація навчальної дисципліни / референс:**

В рамках курсу "Методи експериментальних досліджень напівпровідникових матеріалів" розглядаються стандартні експериментальні методи дослідження напівпровідникових структур. Метою вивчення дисципліни є отримання глибоких та систематичних знань щодо вміння вибору та коректного застосування експериментальних методів дослідження фізичних властивостей напівпровідникових структур. Методи викладання: лекції, лабораторні роботи, консультації. Методи оцінювання: опитування в процесі лекції, модульні контрольні роботи, іспит. Підсумкова оцінка виставляється на основі проміжних оцінок (60%) та іспиту (40%).

4. **Завдання (навчальні цілі)**– засвоєння базових принципів основних експериментальних методів дослідження напівпровідникових матеріалів з метою застосування в майбутній практичній діяльності фахівця.

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

### ***Інтегральних:***

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

### ***Загальних:***

ЗК2. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.

ЗК3. Навички використання інформаційних і комунікаційних технологій.

ЗК5. Здатність приймати обґрунтовані рішення.

ЗК7. Навички здійснення безпечної діяльності.

### ***Фахових:***

ФК1. Знання і розуміння теоретичного та експериментального базису сучасної фізики та астрономії.

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.

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

ФК9. Здатність працювати з джерелами навчальної та наукової інформації.

ФК10. Здатність самостійно навчатися і опановувати нові знання з фізики, астрономії та суміжних галузей.

ФК13. Орієнтація на найвищі наукові стандарти –обізнаність щодо фундаментальних відкриттів та теорій, які суттєво вплинули на розвиток фізики, астрономії та інших природничих наук.

ФК15. Здатність аналізувати світові тенденції розвитку фізики для вибору власної освітньої траєкторії.

**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 вплив дефектів на фізичні властивості напівпровідникових систем	лекції	модульна контрольна робота, іспит	15
1.2	знати основні принципи, що лежать в основі методів дослідження дефектів в напівпровідникових структурах	лекції	модульна контрольна робота, усне опитування, іспит	15
1.3	знати основні принципи, що лежать в основі зондових методів дослідження напівпровідникових матеріалів та структур	лекції	модульна контрольна робота, усне опитування, іспит	15
2.1	вміти класифікувати методи дослідження дефектів в напівпровідникових структурах	лекції	модульна контрольна робота, усне опитування, іспит	10
2.2	вміти класифікувати зондові методи дослідження напівпровідникових матеріалів та структур	лекції	модульна контрольна робота, усне опитування, іспит	10
2.3	вміти проводити експериментальні вимірювання основних фізичних параметрів напівпровідників	лабораторні роботи	модульна контрольна робота, усне опитування, іспит	20
3.1	представляти результати вимірювання та розрахунків у вигляді, що доступні як для фахівців, так і не фахівців у фізиці напівпровідників	лабораторні роботи	оформлення результатів лабораторних робіт	10
4.1	формулювати ціннісні судження щодо доцільності застосування конкретних експериментальних методів для отримання необхідних характеристик	лекції	модульна контрольна робота, усне опитування, іспит	5

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

Результати навчання дисципліни	1.1	1.2	1.3	2.1	2.2	2.3	3.1	4.1
<b>Програмні результати навчання</b>								
ПРН1. Знати, розуміти та вміти застосовувати основні положення загальної та теоретичної фізики,	+	+	+	+	+	+		

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

\*

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.				+	+	+	+	
ПРН5. Знати основні актуальні проблеми сучасної фізики та астрономії.	+	+	+					+
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.	+	+	+	+	+		+	+
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.				+	+	+		
ПРН17. Знати і розуміти роль і місце фізики, астрономії та інших природничих наук у загальній системі знань про природу та суспільство, у розвитку техніки й технологій та у формуванні сучасного наукового світогляду. професійного розвитку.	+							+
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.	+	+	+					
ПРН27. Мати базові навички експериментального дослідження функціональних матеріалів різноманітного призначення, вміти обирати оптимальні методи та засоби їхнього дослідження.						+	+	+

## 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. Опитування під час першого змістового модуля – 5 балів/ 3 бали
2. Модульна контрольна робота 1 – 10 балів/6 балів
3. Опитування під час другого змістового модуля – 5 балів/ 3 бали
4. Модульна контрольна робота 2 – 10 балів/ 6 балів
5. Виконання та здача лабораторних робіт – 30 балів/18 балів

Модуль 1: оцінка за відповіді при усному опитуванні, за модульну контрольну роботу з теми «Методи дослідження дефектів в напівпровідниках», за здачу лабораторних робіт – 30 балів (рубіжна оцінка 18 балів).

Модуль 2: оцінка за відповіді при усному опитуванні, за модульну контрольну роботу з теми «Зондові методи досліджень», за здачу лабораторних робіт – 30 балів (рубіжна оцінка 18 балів). Для студентів, які упродовж семестру не досягли мінімального рубіжного рівня оцінки (60% від максимально можливої кількості балів) проводиться заключна семестрова контрольна робота, максимальна оцінка за яку не може перевищувати 20% підсумкової оцінки (до 20 балів за 100-бальною шкалою).

**- підсумкове оцінювання у формі іспиту**, максимальна оцінка 40 балів (рубіжна оцінка 24 балів). Підсумкова кількість балів з дисципліни (максимум 100 балів), яка визначається як сума балів за систематичну роботу впродовж семестру та за результатами проведення іспиту. *Результатами навчання, які оцінюються під час іспиту, є РН 1.1. - 4.2.*

При простому розрахунку отримаємо:

	ЗМ1	ЗМ2	іспит	Підсумкова оцінка
<i>Мінімум</i>	<u>18</u>	<u>18</u>	<u>24</u>	<u>60</u>
<b>Максимум</b>	<u>30</u>	<u>30</u>	<u>40</u>	<u>100</u>

Студент не допускається до іспиту, якщо під час семестру набрав менше 36 балів. Для допуску до іспиту студент обов'язково має здати всі лабораторні роботи, написати передбачені програмою контрольні роботи або написати заключну семестрову контрольну роботу. Оцінка за залік не може бути меншою 36 балів для отримання загальної позитивної оцінки за курс.

Умовою отримання позитивної результуючої оцінки з дисципліни є досягнення не менш як 60% від максимально можливої кількості балів.

**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).*

Рівень досягнення запланованих результатів навчання визначається за результатами написання та захисту письмових контрольних робіт, відповідей при усному опитуванні.

Питома вага результатів навчання у підсумковій оцінці за умови її опанування на належному рівні:

- результати навчання 1.1 – 1.3 (знання) – до 45% ;
- результати навчання 2.1 – 2.3 (вміння) – до 40% ;
- результати навчання 3.1. (комунікація) – до 10% ;
- результати навчання 4.1 (автономність і відповідальність) – до 5% .У курсі передбачено 2 змістові модулі. Після завершення відповідних частин проводяться модульні контрольні роботи. Передбачено також усне опитування під час лекцій.

### 7.3. Шкала відповідності

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

## 8. СТРУКТУРА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

### ТЕМАТИЧНИЙ ПЛАН ЛЕКЦІЙ

№ п/п	Назва лекції	Кількість годин		
		лекції	лаб.зан.	С/Р
Змістовий модуль 1 Методи дослідження дефектів в напівпровідниках				
1	Метод перехідної спектроскопії локальних рівнів	2		6
2	Методи ЕПР та позитронно-анігіляційної спектроскопії	1		6
3	Акустоелектричні та фотоелектричні методи	2		5
4	Оптичні методи дослідження точкових дефектів	1		5
	Модульна контрольна робота 1			2
Змістовий модуль 2 Зондові методи досліджень				
5	Оптичні та рентгенографічні методи дослідження дислокацій	1		6
6	Принципи роботи скануючи зондових мікроскопів	1		5
7	Скануюча тунельна мікроскопія	1		5
8	Атомно-силова мікроскопія	1		6
	Модульна контрольна робота 2			2
Перелік лабораторних робіт				
	Робота 1. Вимірювання питомого електроопору та визначення знаку носіїв заряду в напівпровідниках.		2	4
	Робота 2. Визначення параметрів напівпровідників за спектрами оптичного поглинання		4	4
	Робота 3. Визначення ефективної маси вільних носіїв заряду в напівпровідниках методом термо-ерс. Термоелектричний холодильник		4	4
	Робота 4. Визначення часу життя неосновних носіїв заряду в напівпровідниках за допомогою методу поверхневої фотоелектричної напруги		4	4
	Робота 5. Визначення дифузійної довжини неосновних носіїв заряду в напівпровідниках		4	4
	Робота 6. Визначення часу життя нерівноважних носіїв заряду методом загасання фотопровідності		4	4
	Робота 7. Визначення параметрів напівпровідників методом фотопровідності		4	4
	Робота 8. Порівнювальні дослідження спектрів фотолюмінесценції в напівпровідниках з дефектами структури		4	4
	ВСЬОГО	10	30	80

Загальний обсяг 120 год., в тому числі:

Лекцій – 10 год.

Лабораторних занять – 30 год

Самостійна робота – 80 год.



## РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА:

### Основна:

1. Ланно М., Бургуен Ж. Точкові дефекти в напівпровідниках. Експериментальні аспекти. М., Мир, 1985.- 304 с. [Наукова бібліотека ім. М.Максимовича](#)
2. Третяк О.В., Лозовський В.З. Основи фізики напівпровідників: Підручник: У 2 т. – К.: Видавничо-поліграфічний центр "Київський університет", 2007. – Т. 1. – 338 с.  
<https://archive.org/details/osnovy-fizyky-napivprovidnykiv-1-tom-2007/page/10/mode/2up>
3. Воробйов Ю.В., Добровольський В.Н, Стріха В.І. Методи дослідження напівпровідників. Київ: Вища школа, 1988. – 232 с.  
[Національна бібліотека України імені В.І.Вернадського](#)
4. П.І. Баранський, О.Є. Беляєв, Г.П. Гайдар, В.П. Кладько, А.В. Кучук. Проблеми діагностики реальних напівпровідникових кристалів. Київ, Наукова думка, 2014. – 459 с. [Наукова бібліотека ім. М.Максимовича](#)
5. Коротченко О.О., Оліх О.Я., Островський І.В. Методичні вказівки до лабораторного практикуму «Фізика напівпровідникових матеріалів», К., ВПЦ “Київський університет”, 2005.-69 с.  
<http://www.phys.univ.kiev.ua/genphys/korolost.pdf>
6. Кладько В.П., Фодчук І.М. Методи Х-променевої дифракційної діагностики напівпровідникових кристалів та гетероструктур. Чернівці: «Рута», 2017.- 159 с.  
[Національна бібліотека України імені В.І.Вернадського](#)
7. Горячко А. М., Кулик С. П., Прокопенко О. В. Основи скануючої зондової мікроскопії та спектроскопії (Частина 1): Навчальний посібник. – К.: Радіофізичний факультет Київського національного університету імені Тараса Шевченка, 2011. – 133 с.  
[http://rex.knu.ua/wp/wp-content/uploads/2017/10/Gorjachko\\_et al\\_Osnovi\\_SZM\\_part1.pdf](http://rex.knu.ua/wp/wp-content/uploads/2017/10/Gorjachko_et al_Osnovi_SZM_part1.pdf)
8. Горячко А. М., Кулик С. П., Прокопенко О. В. Основи скануючої зондової мікроскопії та спектроскопії (Частина 2): Навчальний посібник / за ред. С.П. Кулика та О.В. Прокопенка. – К.: Радіофізичний факультет Київського національного університету імені Тараса Шевченка, 2012. –170 с.  
[http://rex.knu.ua/wp/wp-content/uploads/2017/10/Gorjachko\\_et al\\_Osnovi\\_SZM\\_part2.pdf](http://rex.knu.ua/wp/wp-content/uploads/2017/10/Gorjachko_et al_Osnovi_SZM_part2.pdf)

### Додаткова:

9. Венгер Е.Ф., Грендел М., Данишка В., Конакова Р.В., Прокопенко І.В., Тхорик Ю.А., Хазан Л.С. Структурна релаксація в напівпровідникових кристалах та приладових структурах. -Київ, «Фенікс», 1994-247 с.  
[Наукова бібліотека ім. М.Максимовича](#)
10. Д.О. Мельничук, С.Д. Мельничук, В.М. Войціцький, В.А. Грищенко, Л.Г. Калачнюк, С.В. Хижняк, В.І. Цвіліховський. Аналітичні методи досліджень. Спектроскопічні методи аналізу: теоретичні основи і методики: навчальний посібник для підготовки студентів вищих навчальних закладів / Д.О. Мельничук, С.Д. Мельничук, В.М. Войціцький та ін.: за ред. акад. Д.О. Мельничука. – К.: ЦП «Компринт», 2016. – 289 с.  
[http://dglb.nubip.edu.ua:8080/jspui/bitstream/123456789/4019/1/Mel%27nichuk\\_SPEKTR\\_OSKOP%D0%86ChN%D0%86\\_METODI\\_ANAL%D0%86ZU.pdf](http://dglb.nubip.edu.ua:8080/jspui/bitstream/123456789/4019/1/Mel%27nichuk_SPEKTR_OSKOP%D0%86ChN%D0%86_METODI_ANAL%D0%86ZU.pdf)