

**НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ**  
**Інститут фізики НАН України**



**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Директором Інституту фізики НАН  
України, член-кор. НАНУ, д.ф.-м.н.

*М.В. Бондар* **М.В. Бондар**

(підпис)

« 27 » жовтня 2023 р.

**РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ**

**ВК.11**

**Сканувальна зондова наноінженерія та мікроскопія**

для аспірантів

спеціальності: 104 Фізика і астрономія

третього (освітньо-наукового) рівня  
вищої освіти – доктор філософії

**Київ - 2023**

**Розробник:**

ст.н.с. відділу фізичної електроніки Інституту фізики НАНУ

кандидат фіз.-мат. наук, \_\_\_\_\_ /А.І. Сененко/

**Робочу програму узгоджено науково-методичною радою**

Протокол № 10-1 від 24 жовтня 2023 р.

Головою науково-методичної ради \_\_\_\_\_ /М.В. Бондар/

**Робочу програму затверджено Вченою радою Інституту фізики НАНУ**

Протокол № 10 від 26 жовтня 2023 р.

Голова Вченої ради \_\_\_\_\_ /М.В. Бондар/

**Робочу програму погоджено з гарантом освітньо-наукової програми зі спеціальності 104 «Фізика та астрономія» 27 жовтня 2023р.**

Гарант освітньої програми \_\_\_\_\_ /М.В. Бондар/

**Пролонговано Вченою радою Інституту фізики НАН України:**

навчальні роки пролонгації	Голова Вченої ради ІФ НАН України	підпис	№ протоколу	дата протоколу
20 <u>24</u> /20 <u>25</u>	<u>М.В. Бондар</u>	<u>[підпис]</u>	5	27.06.2024
20 <u>25</u> /20 <u>26</u>	<u>М.В. Бондар</u>	<u>[підпис]</u>	8	11.09.2025
20 ____ /20 ____				
20 ____ /20 ____				

## 1. Загальні відомості

Найменування показників	Характеристика дисципліни за денною формою навчання
Вид дисципліни	вибіркова
Мова викладання, навчання та оцінювання	українська
Загальний обсяг кредитів / годин	4/120
Курс	2
Семестр	2
Кількість змістових модулів з розподілом	1
Обсяг кредитів	4
Обсяг годин, В тому числі:	120
Лекції	30
Практичні заняття	15
Самостійна робота	75
Форма підсумкового контролю	екзамен

## 2. Мета, завдання та очікувані результати навчальної дисципліни

Робоча програма навчальної дисципліни ВК.11 «Сканувальна зондова наноінженерія та мікроскопія» є нормативним документом, який розроблений на основі освітньо-наукової програми, далі ОП, (затверджена Вченою радою Інституту фізики НАН України, протоколом № 10 від 26 жовтня 2023 року) підготовки здобувача третього рівня відповідно до навчального плану спеціальності 104 «Фізика та астрономія»

**Передумова вивчення.** Навчальний курс ВК.11 «Сканувальна зондова наноінженерія та мікроскопія»: атомарні кластери» є складовою циклу професійної підготовки фахівців третього освітньо-кваліфікаційного рівня “доктор філософії”. Програма курсу орієнтована на аспірантів, які самостійно або під керівництвом наукового керівника планують та здійснюють наукові дослідження відповідно до планів навчання у аспірантурі. Курс розроблений з орієнтацією як на аспірантів, які спеціалізуються у області фізики твердого тіла, так і на слухачів, які спеціалізуються у інших напрямках фізики та астрономії.

**Мета навчальної дисципліни.** ВК.11 «Сканувальна зондова наноінженерія та мікроскопія»: формування у майбутніх науковців теоретичних знань, практичних умінь та навиків з принципів, методів та можливостей сканувальної зондової наноінженерії та мікроскопії, що дозволять їм створювати, досліджувати та інтерпретувати якісні та кількісні характеристики низькорозмірних систем, виявляти закономірності між хімічним складом, поверхневою та електронною структурою і фізичними властивостями таких систем.

**Зміст навчальної дисципліни.** Теоретичні та практичні знання, набуті при вивченні дисципліни ВК.11 «Субнаноматеріали: атомарні кластери» формують систематичних знань з розділу фізики, що вивчає базові методики та методи, які дозволяють аналізувати будову речовини

**Предметом навчальної дисципліни** ВК.11 «Сканувальна зондова наноінженерія та мікроскопія» є принципи, методи та можливості сканувальної зондової наноінженерії та мікроскопії для дослідження низькорозмірних систем, тощо

- **Основними завданнями навчальної дисципліни** ВК.11 «Сканувальна зондова наноінженерія та мікроскопія» є навчити аспірантів працювати з використанням методів сканувальної зондової мікроскопії, інтерпретувати отримані результати, використовувати отримані результати у їх науковій роботі.
- ознайомити аспірантів з сучасними методами та матеріалами сканувальної зондової наноінженерії та мікроскопії та їх практичним застосуванням;
- зформувати фізичне мислення у аспірантів в межах матеріалу, що вивчається. Дисципліна готує аспірантів до сприймання матеріалу спецкурсів, передбачених програмою спеціалізації

**Фахові програмні результати навчання (вимоги до знань та вмінь)**

В результаті вивчення навчальної дисципліни аспірант повинен

**Знати:**

основні поняття курсу, викладені у програмі; розуміти принципи роботи сучасних мікроскопічних методів вивчення матеріалів, їх можливості, область практичних застосувань.

**Уміти:**

застосувати набуті знання на науково-дослідних, навчальних установах та на виробничих підприємствах.

**Завданням навчальної дисципліни (відповідно до переліку ОП) ВК.11 «Сканувальна зондова наноінженерія та мікроскопія»** набути компетентності:

Загальні: ЗК1, ЗК2, ЗК3.

Спеціальні: СК1, СК2, СК5, СК6

Програмні результати навчання: РН1, РН4, РН5, РН6, РН7, РН8, РН9.

### 3. Тематичний план

(структура залікового кредиту)

з навчальної дисципліни ВК.11 «Сканувальна зондова наноінженерія та мікроскопія»  
(2 курс – 2 семестр)

№	Зміст	Лекції, год.	Практичні, год.	Самостійна робота, год.	Разом, год.
1.	Лекція 1. Вступ. Основні етапи розвитку сканувальної зондової мікроскопії. Основні принципи та поняття сканувальної зондової мікроскопії.	3	0	7	10
2.	Лекції 2. Будова, характеристики та можливості зондових мікроскопів. Сканери зондових мікроскопів	3	3	7	13
3.	Лекція 3. Прилади для прецизійного переміщення зразка та зонду	3	0	8	11
4.	Лекції 4. Захист зондових мікроскопів від зовнішніх чинників	3	0	7	10
5.	Лекції 5 Формування та обробка зображень сканувальних зондових мікроскопів	3	3	7	13
6.	Лекції 6. Сканувальна тунельна мікроскопія. Приготування вістря для сканувального тунельного мікроскопа. Приготування зразків. Отримання та аналіз зображень.	3	3	8	14
7.	Лекція 7. Атомно-силова мікроскопія. Режими атомно-силової мікроскопії. Основний та допоміжний сигнали зондових датчиків. Приготування зразків. Отримання та аналіз зображень.	3	3	8	14
8.	Лекція 8. Електросилова мікроскопія	3	0	8	11
9.	Лекція 9. Магнітно-силова мікроскопія	3	3	8	14
10.	Лекції 10. Близькопольова оптична мікроскопія	3	0	7	10
<b>Всього</b>		<b>30</b>	<b>15</b>	<b>75</b>	<b>120</b>

**Методичне забезпечення навчальної дисципліни забезпечують:**

опорні конспекти лекцій, бібліотечні посібники зі списку рекомендованої літератури, електронні посібники, мультимедійні презентації, діючі нормативно-правові законодавчі акти України, довідково-інформаційні інтернет-джерела тощо.

#### 4. Зміст навчальної дисципліни

ВК.11 «Сканувальна зондова наноінженерія та мікроскопія»

1. **Тема 1.** Вступ. Основні етапи розвитку сканувальної зондової мікроскопії. Основні принципи та поняття сканувальної зондової мікроскопії.  
Література: 1-3, 5
2. **Тема 2.** Будова, характеристики та можливості зондових мікроскопів. Сканери зондових мікроскопів  
Література: 1, 2, 4, 5
3. **Тема 3.** Прилади для прецизійного переміщення зразка та зонду  
Література: 1, 2, 4, 5
4. **Тема 4.** Захист зондових мікроскопів від зовнішніх чинників  
Література: 1, 5
5. **Тема 5.** Формування та обробка зображень сканувальних зондових мікроскопів  
Література: 1, 2, 4, 5
6. **Тема 6.** Сканувальна тунельна мікроскопія. Приготування вістря для сканувального тунельного мікроскопа. Приготування зразків. Отримання та аналіз зображень.  
Література: 1-4, 5
7. **Тема 7.** Атомно-силова мікроскопія. Режими атомно-силової мікроскопії. Основний та допоміжний сигнали зондових датчиків. Приготування зразків. Отримання та аналіз зображень.  
Література: 1-4, 5
8. **Тема 8.** Електросилова мікроскопія  
Література: 1, 2, 5
9. **Тема 9.** Магнітно-силова мікроскопія  
Література: 1, 2, 5
10. **Тема 10.** Ближньопольова оптична мікроскопія  
Література: 1, 2.

#### 5. Практичні заняття

з навчальної дисципліни ВК.11 «Сканувальна зондова наноінженерія та мікроскопія»

Практичне закріплення лекційного матеріалу та наукові доповіді аспіранта пов'язані з темами лекцій і є частиною змісту дисципліни

#### 6. Самостійна робота

з навчальної дисципліни ВК.11 «Сканувальна зондова наноінженерія та мікроскопія»

№	Зміст самостійної роботи аспірантів	Обсяг, годин
1.	Вивчення матеріалу лекції	30
2.	Опрацювання матеріалу, що винесений на самостійне вивчення	45
<b>Усього за навчальну дисципліну</b>		<b>75</b>

## 7. Методи викладання

з навчальної дисципліни ВК.11 «Сканувальна зондова наноінженерія та мікроскопія»

У процесі викладання дисципліни використовуються такі методи:

- 1) методи організації та здійснення навчально-пізнавальної діяльності (бесіда, лекція; ілюстрація; лабораторні роботи, реферати; самостійна робота студентів);
- 2) методи стимулювання й мотивації навчально-пізнавальної діяльності (навчальні дискусії, модульно-рейтингова система знань);
- 3) методи контролю (самоконтролю, взаємоконтролю), корекції (самокорекції, взаємокорекції) за ефективністю навчально-пізнавальної діяльності.

## 8. Рейтингова система оцінювання

з навчальної дисципліни ВК.11 «Сканувальна зондова наноінженерія та мікроскопія»

Основними формами організації контролю у процесі вивчення студентами даної дисципліни є індивідуальна, групова та фронтальна перевірка знань, вмінь та навичок студентів (усна та письмова). Рейтинг аспіранта складається з наступних отриманих балів:

1. Експрес-контроль – 20 балів. (усне опитування чи самостійні роботи під час навчального процесу)
2. Практичні заняття та самостійна робота – 40 балів.
3. Екзамен – 40 балів.

### Заохочувальні та штрафні бали

1. При відсутності на лекції/практичному занятті без поважних причин -2 бали
  2. Подана в журнал стаття чи виступ на конференції за темою курсу +10 балів.
- Сума як штрафних так і заохочуваних балів розраховується за формулою  $0,1R$ , де  $R$  – загальна кількість балів, і не має перевищувати в цілому 10 балів.

### Шкала відповідності оцінок

Рейтингова оцінка	Значення оцінки	Рейтинг у відсотках, %
<b>A</b>	<b>Відмінно</b> – відмінний рівень знань (умінь) в межах обов'язкового матеріалу з, можливими незнаесними недоліками.	90-100
<b>B</b>	<b>Дуже добре</b> – достатньо високий рівень знань (умінь) в межах обов'язкового матеріалу без суттєвих (грубих) помилок.	82-89
<b>C</b>	<b>Добре</b> – добрий рівень знань (умінь) в межах обов'язкового матеріалу з незначною кількістю помилок.	75-81
<b>D</b>	<b>Задовільно</b> – посередній рівень знань (умінь) в межах обов'язкового матеріалу із значною кількістю недоліків, достатній для подальшого навчання або ж професійної діяльності.	69-74
<b>E</b>	<b>Достатньо</b> - мінімально можливий допустимий рівень знань (умінь) в межах обов'язкового матеріалу.	60-68
<b>FX</b>	Незадовільно з можливістю повторного складання – незадовільний рівень знань (умінь) в межах обов'язкового матеріалу з можливістю повторного перескладання після самостійного доопрацювання.	35-59
<b>F</b>	Незадовільно з з обов'язковим повторним вивченням курсу – низький рівень знань (умінь) в межах обов'язкового матеріалу, що вимагає повторного вивчення матеріалів курсу.	1-34

## 9. Орієнтовний перелік екзаменаційних питань

з навчальної дисципліни ВК.05.09 «Сканувальна зондова наноінженерія та мікроскопія»

1. Перелічіть основні етапи розвитку сканувальної зондової мікроскопії.
2. Опишіть принцип роботи сканувального зондового мікроскопу.
3. Сканувальні елементи зондових мікроскопів, їхні типи, переваги та недоліки.
4. Пристрої прецизійного переміщення зонду та зразка.
5. Яким чином можна захистити зондовий мікроскоп від впливу шумів, вібрацій та зміни температури?
6. Перелічіть можливі причини викривлень на СЗМ- зображеннях.
7. Метод відновлення поверхні СЗМ по її зображенню.
8. Опишіть принцип роботи сканувального тунельного мікроскопу. Наведіть переваги та недоліки порівняно з іншими методами СЗМ.
9. Опишіть методику приготування вістрь для сканувального тунельного мікроскопу.
10. Наведіть основні елементи системи управління сканувального тунельного мікроскопу.
11. Основні принципи сканувальної тунельної спектроскопії.
12. Опишіть принцип роботи атомно-силового мікроскопу, режими роботи, переваги та недоліки порівняно з іншими методами СЗМ.
13. Наведіть основні елементи системи управління атомно-силового мікроскопу.
14. Основні етапи приготування кантилеверів
15. Опишіть принцип роботи електросилового мікроскопу.
16. Опишіть принцип роботи магнітосилового мікроскопу.
17. Опишіть принцип роботи ближньопольового оптичного мікроскопу.
18. Опишіть методику приготування зонду ближньопольового оптичного мікроскопу.
19. Опишіть метод контролю відстані зонд-поверхня в ближньопольовому оптичному мікроскопі.
20. Опишіть можливі конфігурації ближньопольового оптичного мікроскопу.

## 10. Рекомендована література

з навчальної дисципліни ВК.11 «Сканувальна зондова наноінженерія та мікроскопія»

### Основна:

1. А.М. Горячко, С.П. Кулик, О.В. Прокопенко, Основи скануючої зондової мікроскопії та спектроскопії, навч. посібник, частини 1, 2 – К.: Радіофізичний факультет Київського національного університету імені Тараса Шевченка, 2011-2012.
2. Основи нанoeлектроніки: у 2-х книгах. Кн. 2. «Матеріали, технології і функціональні пристрої»/ Д.М. Заячук, Ю.І. Якименко, А.Т.Орлов, В.М. Співак, О.В. Богдан, В.М. Коваль– К: НТУУ «КПІ», 2016. – 350 с.
3. Поплавко Ю. М. Нанofізика, наноматеріали, нанoeлектроніка: навч. посібник. – Київ: в-во «КПІ», 2012. - 300 с.
4. Ковтун Г. П. Наноматеріали: технологии и материаловедение / Г. П. Ковтун, А. А. Вережкин ; Харьков. физ.-техн. институт. – Харьков, 2010. – 73 с.
5. Тузяк О.Я., Курляк В.Ю. Основи електронної та зондової мікроскопії, навч. посібник, – Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2012. – 296 с.

### Додаткова:

1. О.П. Ткач. Наноматеріали і нанотехнології в приладобудуванні: навч. посібник. – Суми: Сумський державний університет, 2014. - 127 с.
2. Наноматеріали і нанотехнології: навчальний посібник / Азаренков М.О., Неклюдов І.М., Береснев В.М., Воєводін В.М., Погребняк О.Д., Ковтун Г.П., Соболь О.В., Удовицький В.Г., Литовченко С.В., Турбін П.В., Чишкала В.О. - Харків: ХНУ імені В.Н. Каразіна. - 2014. – 322 с.
3. Наноразмерные системы и наноматериалы: исследования в Украине / Л. Ю. Авдеева, Е. А. Авраменко, Е. В. Аксененко [и др.] ; НАН Украины. – Киев : Академперіодика, 2014. – 766 с.
4. О.М. Назаров, М.М. Нищенко. Наноструктури та нанотехнології (Київ: НАУ, 2012). —248 с.

5. S.I. Sidorenko, D.L. Beke, A.A. Kikineshi. Material science of nanostructures (Kyiv: Naukova Dumka, 2002). — 329 p.
6. В.В. Погосов, Ю.А. Куницький, А.В. Бабіч, А.В. Коротун, А.П. Шпак. Нанофізика і нанотехнології: навчальний посібник (Запоріжжя: ЗНТУ, 2011). — 380 с.
7. Н.А. Азаренков, В.М. Береснев, А.Д. Погребняк, Л.В. Маликов, П.В. Турбин. Наноматериалы, нанопокрyтия, нанотехнологии: учебное пособие (Харьков: ХНУ им. В.Н. Каразина, 2009). — 209 с.
8. Физика твердого тела: энциклопедический словарь: в 2-х т. (ред. В.Г. Барьяхтар и др.). т.1 (Киев: Наукова Думка, 1996); Физика твердого тела: энциклопедический словарь: в 2-х т. (ред. В.Г. Барьяхтар и др.). т. 2 (Киев: Наукова Думка, 1998).
9. Sulabha K. Kulkarni. Nanotechnology: Principles and Practices. 3rded. –New Delhi: copublished by Springer international publishing, Cham, Switzerland, with Capital publishing company, 2015 – 403 p.
10. Заячук Д. М. Нанотехнології і наноструктури: навч. посібник. – Львів: в- во «Львівська політехніка», 2009. - 580 с.
11. Методи нанолітографії: наукове видання / В.В. Петров та ін.; Інститут проблем реєстрації інформації НАНУ. – Київ: Наукова думка, 2015. – 264 с.
12. Фізичні основи мікро- і наноелектроніки: підручник / М.Г. Находкін, Д.І. Шека. – Київ: КНУ ім. Т.Г. Шевченка, 2005. – 432 с.