**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**
**ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА**

**Факультет радіофізики, електроніки та комп'ютерних систем**

**Кафедра квантової радіофізики та наноелектроніки**

**«ЗАТВЕРДЖУЮ»**
Декан

___________ Андрій НЕТРЕБА

« ____ » ___________ 20__ року

# РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

## Сучасні методи діагностики поверхні

**для студентів**

| | |
|---|---|
| галузь знань | **10 "Природничі науки"** |
| спеціальність | **105 "Прикладна фізика та наноматеріали"** |
| освітня програма | **"Прикладна фізика та наноматеріали"** |
| рівень вищої освіти | **другий освітньо-науковий (магістр)** |
| вид дисципліни | **вибіркова** |

| | |
|---|---|
| Форма навчання | **денна** |
| Навчальний рік | **2023-2024** |
| Семестр | **3** |
| Кількість кредитів ECTS | **5** |
| Мова викладання, навчання та оцінювання | **українська англійська** |
| Форма заключного контролю | **іспит** |

**Викладач**:
Кулик Сергій Петрович, кандидат фіз.-мат. наук, доцент кафедри квантової радіофізики та наноелектроніки

Пролонговано: на 20__/20__ н. р. ___________ ( _______________ ) « ___ » _________ 20__ р.

на 20__/20__ н. р. ___________ ( _______________ ) « ___ » _________ 20__ р.

**Розробник:**

Горячко Андрій Миколайович, доктор фіз.-мат. наук, доцент кафедри квантової радіофізики та наноелектроніки

**«ЗАТВЕРДЖЕНО»**

Завідувач кафедри квантової радіофізики та наноелектроніки

_________________________ Г. Ю. Карлаш

Протокол № __ від « ___ » ________ 20__ р.

Схвалено науково-методичною комісією факультету радіофізики, електроніки та комп’ютерних систем

Протокол № ___ від « ___ » _____________ 20__ р.

Голова науково-методичної комісії С. П. Радченко

« ___ » _____________ 20__ року.

## ВСТУП

**1. Мета дисципліни** – ознайомлення студентів із основними засадами діагностики поверхні твердого тіла.

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

Навчальна дисципліна «Сучасні методи діагностики поверхні» базується на циклі дисциплін професійної та практичної підготовки бакалавра, а саме: "Загальна фізика", "Фізика твердого тіла", "Радіоелектроніка", "Квантова механіка", "Коливання і хвилі".

Попередні вимоги:

1. студент повинен знати: основні закони, рівняння та співвідношення курсу загальної фізики, курсу фізики твердого тіла, курсу квантової механіки, курсу коливань і хвиль, курсу радіоелектроніки та теорії електричних кіл.

2. студент повинен вміти: будувати фізичні моделі твердого тіла та потоків частинок як в наближенні класичної фізики так і в межах квантової теорії, ідентифікувати найважливіші аспекти їхньої взаємодії з поверхнею твердого тіла.

3. студент повинен знати: базові основи теорії електронних приладів, схем та сигналів, основи вакуумної техніки та базові основи комп'ютерних алгоритмів; англійську мову на рівні базової граматика та базовим словниковим запасом загальновживаних слів.

**3. Анотація навчальної дисципліни:**

Вивчення дисципліни «Сучасні методи діагностики поверхні» дозоляє опанувати найважливіші та найпоширеніші експериментальні методики вимірювання різноманітних фізичних характеристик поверхні твердого тіла. Розглядаються основні типи мікроскопічних та спектроскопічних методик діагностики поверхні твердого тіла. Серед мікроскопічних методик особливу увагу приділено класу методик сканувальної зондової мікроскопії, серед яких сканувальна тунельна мікроскопія, в т.ч. спін-поляризована, сканувальна тунельна спектроскопія, атомно-силова мікроскопія в контактному та безконтактному режимах, атомно-силова спектроскопія, магнітно-силова мікроскопія, сканувальна мікроскопія зонду Кельвіна, сканувальна електронна мікроскопія. Серед спектроскопічних методик розглядаються електронна Оже спектроскопія, фото-електронна спектроскопія ультра-фіолетового та Х-променевого діапазонів, вторинно-іонно мас-спектрометрія, Резерфордівська спектроскопія зворотнього розсіяння, спектроскопія поглинання Х-променевого діапазону, високороздільна спектроскопія втрат енергії електронів. В процесі вивчення дисципліни розкриваються основні фізичні принципи та особливості технічної реалізації усіх вищеперерахованих методик. Окрему увагу приділено методам обробки одержаних експериментальних даних та комп'ютерним алгоритмам, що їх здійснюють. Також студенти опановують сучасну англомовну термінологію специфічну для вищеперерахованих експериментальних методів, знайомляться з найновішими публікаціями у виданнях англійською мовою, в яких описано актуальні наукові результати одержані за допомогою цих методів.

**4. Завдання (навчальні цілі):**

1. Надати основні відомості з курсу «Сучасні методи діагностики поверхні», які складають важливу частину загально-наукової підготовки магістра за спеціальністю «Прикладна фізика та наноматеріали».
2. Надати основні знання з теорії взаємодії квантово-механічних частинок з поверхнею твердого тіла, продемонструвати зв'язок характеристик цієї взаємодії з праметрами структури та іншими фізичними характеристиками поверхні.
3. Навчити застосовувати одержані знання у професійній діяльності при проведенні наукових досліджень та розробок в науково-дослідних або конструкторських закладах, в галузях високих технологій, машинобудування, хімічної промисловості, оборонної промисловості та подвійного призначення.
4. Навчити ефективно застосовувати отримані знання для профорієнтації українською мовою серед учнів середньої школи та комунікації англійською мовою в міжнародному бізнес середовищі та серед грантових агенцій, в т.ч. зарубіжних, про важливість інвестицій в наукове

приладобудування для посилення конкурентоспроможності, інвестеційної привабливості та обороноздатності України.

Забезпечення досягнення компетентностей:

ЗК 2. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.;
ЗК 3. Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності.;
ЗК 7. Здатність проведення досліджень на відповідному рівні.;
ЗК 8. Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями.;
ЗК 9. Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел.;
ЗК 12. Навички міжособистісної взаємодії.;

ФК 2. Здатність брати участь у плануванні методики проведення та матеріального забезпечення експериментів та лабораторних досліджень.;
ФК 5. Здатність брати участь у розробці схем фізичних експериментів та обранні необхідного обладнання та пристроїв для проведення експерименту.;
ФК 7. Здатність брати участь в роботі колективів виконавців, у тому числі у міждисциплінарних проектах.;
ФК 10. Здатність розуміти і використовувати сучасні теоретичні уявлення в галузі фізики для аналізу станів та властивостей фізичних систем.;
ФК 14. Здатність брати участь у роботі над інноваційними проектами, використовуючи базові методи дослідницької діяльності.;

## 5. Результати навчання за дисципліною:

| Результат навчання (1, знати; 2, вміти; 3, комунікація; 4, автономність та відповідальність) | | Форми (та/або методи і технології) викладання і навчання | Методи оцінювання та пороговий критерій оцінювання (за необхідності) | Відсоток у підсумковій оцінці з дисципліни |
|---|---|---|---|---|
| Код | Результат навчання | | | |
| **1** | студент повинен **знати**: | лекційні та семнарські заняття з використанням персональних комп'ютерів та методик дистанційного навчання | письмові модульні контрольні роботи | до 45 |
| 1.1 | Загальні основи фізики потоків частинок та квантів електромагнітного поля | =//= | =//= | *До 8* |
| 1.2 | Загальні основи фізики взаємодії частинок та квантів з твердим тілом та його приповерхневим шаром | =//= | =//= | *До 7* |
| 1.3 | Основні фізичні характеристики поверхні твердого тіла | =//= | =//= | *До 9* |
| 1.4 | Базові підходи до постановки експериментів в фізиці поверхонь | =//= | =//= | *До 6* |
| 1.5 | Основні фізичні моделі формування вторинного відгуку внаслідок первинного впливу на досліджувану поверхню | =//= | =//= | *До 7* |
| 1.6 | Основний обсяг англомовної термінології в галузі методів діагностики поверхні | =//= | =//= | *До 8* |
| **2** | студент повинен **вміти**: | лекційні та семнарські заняття з використанням персональних комп'ютерів та методик дистанційного навчання | письмові модульні контрольні роботи | до 45 |
| 2.1 | Створювати алгоритми обробки експериментальних даних одержаних при дослідженні поверхні твердого тіла | =//= | =//= | *До 10* |
| 2.2 | В разі наявності, швидко опановувати та професійно використовувати комерційно доступні програмне забезпечення для моделювання взаємодії потоків первинних частинок з поверхнею | =//= | =//= | *До 20* |
| 2.3 | Розраховувати основні фізичні характеристики | =//= | =//= | *До 15* |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | поверхні твердого тіла виходячи з експериментально виміряних величин | | | |
| **3** | **комунікація:** | лекційні та семнарські заняття з використанням персональних комп'ютерів та методик дистанційного навчання | письмові модульні контрольні роботи | до 5 |
| 3.1 | Професійна комунікація українською та англійською мовою можливостей дослідницької лабораторії щодо надання діагностичних послуг для представників підприємств високотехнологічних галузей виробництва | =//= | =//= | *До 3* |
| 3.2 | Навички роботи у великих дослідницьких колабораціях в галузі фізики поверхні, зокрема в тих, в яких робочою мовою є англійська | =//= | =//= | *До 2* |
| 4 | **автономність та відповідальність:** | лекційні та семнарські заняття з використанням персональних комп'ютерів та методик дистанційного навчання | письмові модульні контрольні роботи | до 5 |
| 4.1 | Здатність до самостійного пошуку та роботи з джерелами наукової інформації, в т.ч. англійською мовою, за тематикою діагностики поверхні твердого тіла | =//= | =//= | *До 3* |
| 4.2 | Експертна оцінка новизни запропонованих експериментальних досліджень та доцільності закупівель дороговартістного наукового вимірювального обладнання | =//= | =//= | *До 2* |

## 6. Співвідношення результатів навчання дисципліни із програмними результатами навчання:

| **Програмні результати навчання** | **Результати навчання дисципліни** | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1.1 | 1.2 | 1.3 | 1.4 | 1.5 | 1.6 | 2.1 | 2.2 | 2.3 | 3.1 | 3.2 | 4.1 | 4.2 |
| ПРН 1. Глибокі знання в галузі сучасної прикладної фізики і фізики наноматеріалів. | | | | | | | | | | | | | |
| ПРН 2. Розуміння технологій та теоретичних та експериментальних методів дослідження властивостей речовин і матеріалів. | + | + | | | | | + | | | | | + | |
| ПРН 6. Знаходити і аналізувати науково-технічну інформацію з різних джерел з використанням сучасних інформаційних технологій. | | + | | | | + | + | + | + | | + | | |
| ПРН 8. Знаходити прогресивні та інноваційні рішення проблем і завдань при виконанні науково-технічних проектів;. | | + | + | | | + | | | | | | | + |
| ПРН 10. Оцінювати важливість матеріалів для досягнення цілей наукового дослідження в галузі прикладної фізики. | + | + | + | | | | | + | + | | | | |
| ПРН 15. Розробляти та формулювати свої професійні висновки та розумно їх аргументувати для фахової та нефахової аудиторії. | | | | | + | + | + | | | | | + | |
| ПРН 16. Організовувати результативну роботу індивідуально і як член команди. | | | | + | + | | | | + | | | | |
| ПРН 18. Розв'язувати складні наукові, дослідницькі та інженерно-технічні задачі в області прикладної фізики та фізики наноматеріалів, які вимагають поглиблених знань у галузі фізики, математики, комп'ютерних технологій. | + | | | | | + | | | | + | | | + |
| ПРН 19. Проводити наукові дослідження в галузі прикладної фізики та ефективно використовувати їх результати для вирішення комплексних проблем або вивчення складних явищ на основі інтердисциплінарних знань. | | + | | | | + | + | + | + | | | | |

**7. Схема формування оцінки**

**7.1. Форми оцінювання студентів:** рівень досягнення всіх запланованих результатів навчання визначається за результатами написання письмових контрольних робіт, та презентації усних доповідей. Внесок результатів навчання у підсумкову оцінку, за умови їх опанування на належному рівні:

- результати навчання 1.1 – 1.6 [**знання**] – до 45 %;
- результат навчання 2.1 – 2.3 [**вміння**] – до 45%;
- результат навчання 3.1-3.2 [**комунікація**] – до 5%;
- результат навчання 4.1-4.2 [**автономність та відповідальність**] – до 5%;

Форми оцінювання студентів:

**семестрове оцінювання**: контроль здійснюється за таким принципом.

1. Контрольна робота з тем 1-8 (письмово): РН 1.1-3, РН 2.1, РН 3.1, РН 4.1 – 20 балів.
2. Контрольна робота з тем 8-15 (англійською мовою письмово): РН 1.4-6, РН 2.2-3, РН 3.2, РН 4.2 – 20 балів.
3. Доповідь студента на семінарі англійською мовою (усно): РН 1.1-6, РН 2.1-3, РН 3.1-2, РН 4.1-2 – 30 балів.

**підсумкове оцінювання (у формі іспиту):** форма іспиту – письмово-усна. Всього за іспит можна отримати від 0 до 30 балів. Умовою досягнення позитивної оцінки за дисципліну є отримання не менш ніж 60 балів, при цьому, оцінка за іспит не може бути меншою **15 балів.**

- **умови допуску до іспиту:** умовою допуску до іспиту є отримання студентом сумарно не менше, ніж *критично-розрахунковий мінімум* за семестр – **30 балів**.

**7.2. Організація оцінювання;** *(обов'язково зазначається порядок організації передбачених робочою навчальною програмою форм оцінювання із зазначенням орієнтованого графіку оцінювання):*

*Оцінювання за формами контролю:*

| Семестрова робота | Кількість балів | |
|---|---|---|
| | Min. – балів | Max. – балів |
| Модульна контрольна робота №1 | 15 | 20 |
| Доповідь на семінарі (англ.) | 15 | 30 |
| Модульна контрольна робота №2 | 15 | 20 |

*Орієнтований графік оцінювання:*

| Форма оцінювання | Орієнтовний період для здійснення відповідної форми оцінювання |
|---|---|
| Модульна контрольна робота №1 | жовтень |
| Доповідь на семінарі | листопад |
| Модульна контрольна робота №2 | грудень |
| Іспит | грудень |

*Розрахунок балів, які отримують при успішній здачі іспиту:*

| Значення | Семестр | Іспит | Підсумкова оцінка |
|---|---|---|---|
| Мінімум | 45 | 15 | 60 |
| Максимум | 70 | 30 | 100 |

7.3. Шкала відповідності оцінок

| Оцінка (за національною шкалою) / National grade | Рівень досягнень, % / Marks, % |
|---|---|
| **Відмінно** / Excellent | 90-100% |
| **Добре** / Good | 75-89% |
| **Задовільно** / Accepted | 60-74% |
| **Не задовільно** / Not accepted | 0-59% |

**8. Структура навчальної дисципліни. Тематичний план лекційних занять**

| № з/п | Назва теми | У тому числі - кількість годин | | |
|---|---|---|---|---|
| | | Лекції | Семінари | Самостійна робота |
| 1 | Вступ та огляд курсу “Сучасні методи діагностики поверхні”. Термінологія англійською мовою - словниковий запас дисципліни. | 2 | 2 | 7 |
| 2 | Потоки електронів, іонів та фотонів. Основні параметри та співвідношення. | 2 | 2 | 6 |
| 3 | Сканувальна тунельна мікроскопія. Висвітлення методів мікроскопії в англомовних періодичних фахових виданнях. | 2 | 2 | 6 |
| 4 | Сканувальна тунельна спектроскопія. | 2 | 2 | 6 |
| 5 | Атомно-силова мікроскопія | 2 | 2 | 6 |
| 6 | Атомно-силова спектроскопія | 1 | 1 | 7 |
| 7 | Сканувальна зондова мікроскопія зонду Кельвіна | 2 | 1 | 7 |
| 8 | Сканувальна електронна мікроскопія | 2 | 1 | 7 |
| 9 | Просвічувальна електронна мікроскопія | 2 | 1 | 7 |
| 10 | Оже електронна спектроскопія. Спектроскопія в англомовних періодичних фахових виданнях. | 2 | 1 | 7 |
| 11 | Фото-електронна спектроскопія | 2 | 1 | 7 |
| 12 | Спектроскопія втрат енергій електронів. | 2 | 1 | 7 |
| 13 | Вторинно-іонна мас-спектроскопія | 2 | 1 | 7 |
| 14 | Дифракція електронів низьких енергій | 2 | 1 | 7 |
| 15 | Відбивна дифракція електронів високих енергій. Дифракція електронів в актуальних англомовних наукових публікаціях. | 1 | 1 | 7 |
| **Всього** | | **28** | **20** | **101** |

| | |
|---|---|
| Загальний обсяг | **150** год., в тому числі: |
| Лекції | **28** год. |
| Семінари | **20** год. |
| Самостійна робота | **101** год. |
| Консультації | **1** год. |

**9. Рекомендовані літературні джерела:**


**Основні джерела:**

1. D.P. Woodruff. Modern Techniques of Surface Science. – Cambridge University Press, 2016. – 492 pp.
2. M. Rocca, T.S. Rahman, L. Vattuone. Springer Handbook of Surface Science. – Springer Nature Switzerland AG, 2020. – 1260 pp.
3. J.I. Goldstein et al. Scanning Electron Microscopy and X-Ray Microanalysis. – Springer Science + Business Media LLC, 2018. – 550 pp.

**Додаткові джерела:**

1. E. Meyer, R. Bennewitz, H.J. Hug. Scanning Probe Microscopy. – The Lab on a Tip. – Springer Nature Switzerland AG, 2021. – 322 pp.
2. U. Celano. Electrical Atomic Force Microscopy for Nanoelectronics. – Springer Nature Switzerland AG, 2019. – 408 pp.
3. P. Hawkes, J.C.H. Spence. Springer Handbook of Microscopy. – Springer Nature Switzerland AG, 2019. – 1543 pp.
4. Для підготовки семінарських доповідей студенти завчасно отримують від викладача в електронному вигляді актуальні на момент проведення семінару публікації англійською мовою в провідних світових періодичних фахових виданнях, що виходять англійською мовою.


**Глосарій основних англомовних термінів**

1. Adatoms (adsorbed atoms) – атоми адсорбовані на поверхні твердого тіла;
2. Bulk – об’ємна частина (твердого тіла) за виключенням приповерхневих та поверхневих шарів;
3. Coverage – ступінь покриття (поверхні твердого тіла атомами або молекулами адсорбату);
4. Diffusion – дифузія (атомів домішки з об’єму на поверхню або в площині поверхні);
5. Electron emission – емісія електронів (з поверхні твердого тіла)
6. Field desorbtion – десорбція атомів з поверхні твердого тіла під дією електричного поля;
7. Generation of carriers – генерація носіїв електричного струму;
8. Hybridization – гібридизація (електронних орбіталей на поверхні твердого тіла);
9. Ionization – іонізація (атомів або молекул біля поверхні твердого тіла);
10. Inversion – інверсія (типу провідності в приповерхневій області напівпровідника);
11. Kelvin probe microscopy – мікроскопія зонду Кельвіна;
12. Low-dimensional materials – уизько-вимірні матеріали;
13. Microscopy – мікроскопія (поверхні твердого тіла);
14. Mode of conductance – мода (режим, механізм) електричної провідності;
15. Non-contact atomic force microscopy – безконтактна атомно-силова мікроскопія;
16. Quasi-crystalline – квазікристалічний;
17. Residual gases – залишкові гази (у вакуумній камері);
18. Surface – поверхня;