

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



**ЗАТВЕРДЖУЮ**

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

*M. V. Bondar*  
(підпис)

**М.В. Бондар**

« 27 » жовтня 2023 р.

**РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ**

**ПОК.04**

**Актуальні проблеми фізичної та молекулярної електроніки**

для аспірантів

спеціальності: 104 Фізика і астрономія

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

**Київ - 2023**



## 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	1
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 ПОК.04 «Актуальні проблеми фізичної та молекулярної електроніки» 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) здобувача третього рівня відповідно до навчального плану спеціальності 104 «Фізика та астрономія»

**Передумова вивчення.** Навчальний курс ПОК.04 «Актуальні проблеми фізичної та молекулярної електроніки» є складовою циклу обов'язкової підготовки фахівців третього освітньо-кваліфікаційного рівня “доктор філософії”. Програма курсу орієнтована на аспірантів, які вже знайомі з загальним курсом фізики, термодинаміки та математичною фізикою.

**Мета навчальної дисципліни.** ПОК.04 «Актуальні проблеми фізичної та молекулярної електроніки»: формування систематичних знань з окремих розділів фізичної та молекулярної електроніки, які вивчають поведінку електронів у вакуумі та органічному середовищі (надтонких органічних плівках, у тому числі моно шарових). Ознайомлення з сучасними теоретичними та експериментальними методами дослідження структури та властивостей надтонких плівок, а також з застосуванням цих методів в сучасних наукових дослідженнях і технологіях. Курс складається з лекцій, практичні завдання для самостійного опрацювання.

**Зміст навчальної дисципліни.** Теоретичні та практичні знання, набуті при вивченні дисципліни ПОК.04 «Актуальні проблеми фізичної та молекулярної електроніки», є основою для багатьох фізичних досліджень. Результат вивчення дисципліни полягає в знанні фізичних основ сучасних методів отримання і дослідження надтонких органічних плівок та органометалічних інтерфейсів, знанні структурної будови плівок та області практичних застосувань.

**Предметом навчальної дисципліни** ПОК.04 «Актуальні проблеми фізичної та молекулярної електроніки» є розділи сучасної фізики поверхні. Особлива увага приділена процесам самоорганізації в надтонких органічних плівках, нанесеним на атомно гладкі поверхні твердих тіл, поверхневій модифікації, наночастинкам та органометалічним інтерфейсам, а також вуглецевим матеріалам (фулерени і нанотрубки)..

**Основними завданнями навчальної дисципліни** ПОК.04 «Актуальні проблеми фізичної та молекулярної електроніки» є

1) Вивчення аспірантами фізичних основ сучасних методів отримання і дослідження надтонких органічних плівок та органометалічних інтерфейсів.

2) Набути здатність застосовувати ці знання на практиці.

3) Підвищити здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями в галузі фізики поверхні та фізики тонких органічних плівок, та здатність до аналізу та синтезу матеріалу з всіх фізичних дисциплін.

4) Формування фізичного мислення у аспірантів в межах матеріалу, що вивчається.

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

В результаті вивчення навчальної дисципліни аспірант повинен:

**Знати:** основні властивості структурної будови надтонких органічних плівок та органометалічних інтерфейсів, знані методів дослідження та області практичних застосувань.

**Вміти:** застосувати набуті знання в науково-дослідних та навчальних установах. Зокрема:

1) вміти проводити класифікацію структурної будови вибраного твердотілого об'єкту; застосовувати аналітичні методи феноменологічної теорії фазових переходів для розв'язання вибраних задач нанofізики.

2) вміти робити якісні та кількісні оцінки впливу вільної поверхні та типу адсорбованих молекул на властивості тонких плівок (адгезійні, змочувальні, транспорт заряду, перемикальні).

**Завданням навчальної дисципліни (відповідно до переліку ОП) ПОК.04 «Актуальні проблеми фізичної та молекулярної електроніки»** набути компетентностей:

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 ПОК.04 "Актуальні проблеми фізичної та молекулярної електроніки"

(2 курс – 1 семестр)

№	Зміст	Лекції, год.	Практичні, год.	Самостійна робота, год.	Разом, год.
1.	<b>Тема 1.</b> Вступ. Основні поняття фізики поверхні. Надтонкі плівки. Сучасні технології отримання надтонких плівок, методи дослідження їх структури і фізичних властивостей. Використання.	3	0	7	10
2.	<b>Тема 2.</b> Вакуумні і не вакуумні (рідинні) технології отримання плівок. Метод вакуумного напорошення і метод Ленгмюра-Блоджетт. Техніка надвисокого вакууму.	3	3	7	13
3.	<b>Тема 3.</b> Самоорганізація в органічні плівках. Хемосорбовані і фізадсорбовані плівки.	3	0	8	11
4.	<b>Тема 4.</b> Сучасні методи дослідження поверхні. Дифракція повільних електронів. Оже-спектроскопія. Спектроскопія характеристичних втрат. Контактна різниця потенціалів. Рентгеноструктурний аналіз. Дифракція нейтронів.	3	0	7	10
5.	<b>Тема 5.</b> Прямі методи досліджень структури поверхонь і плівок. Види мікроскопії: автоелектронна, польова іонна, електронна. Сканувальна тунельна і атомно-силова мікроскопія і спектроскопія.	3	3	7	13
6.	<b>Тема 6.</b> Моношарові плівки довголанцюжкових аліфатичних сполук і їх похідних. Самоорганізація.	3	3	8	14
7.	<b>Тема 7.</b> Дослідження плівок молекул рідких кристалів. Фазові перетворення. Стимульовані електричним полем фазові перетворення. Використання в	3	3	8	14

	сучасних системах відображення інформації. Проблеми.				
8.	<b>Тема 8.</b> Дослідження плівок фулеренів і їх похідних. Перспективи використання в сучасних технологіях.	3	0	8	11
9.	<b>Тема 9.</b> Молекули з ефектами перемикавання. Створення систем з зовні керованими поверхневими властивостями.	3	3	8	14
10.	<b>Тема 10.</b> Огляд актуальних проблем сучасної фізичної і молекулярної електроніки (узагальнююча лекція). Можливі шляхи розв'язання.	3	0	7	10
<b>Всього</b>		<b>30</b>	<b>15</b>	<b>75</b>	<b>120</b>

#### Методичне забезпечення навчальної дисципліни:

конспекти лекцій, мультимедійні презентації (у тому числі лекторські), електронні та бібліотечні джерела зі списку рекомендованої літератури, інтернет-джерела тощо.

### 4. Зміст навчальної дисципліни

#### ПОК.04 «Актуальні проблеми фізичної та молекулярної електроніки»

1. **Тема 1.** Вступ. Загальні означення Основні поняття фізики поверхні. Типи зв'язку між атомами і молекулами. Класифікація плівок по типам зв'язку. Інтерфейсні взаємодії. Робота виходу поверхні і вплив на неї адсорбованих плівок. Технології отримання надтонких плівок. Загальний огляд методів досліджень. Використання.

**Література:** 1 – 4

**Завдання для самостійної роботи (7 год.)**

1. Вивчення матеріалу лекції.
2. Опрацювання матеріалу, що винесений на самостійне вивчення. Контроль в режимі опитування. Розподіл по розвинутих країнам передових технологій отримання надтонких плівок і методів їх досліджень (пошук по відкритим науковим джерелам).

2. **Тема 2.** Вакуумні і не вакуумні (рідинні) технології отримання плівок. Метод вакуумного напорошення і метод Ленгмюра-Блоджетт. Техніка надвисокого вакууму.

**Література:** 1, 2

**Завдання для самостійної роботи (7 год.)**

1. Вивчення матеріалу лекції та **практичного заняття**. Вивчення фізичних принципів, які лежать в основі технологій вакуумного напорошення і технології Ленгмюра-Блоджетт.
2. Оцінка товщини нанесеної плівки (метод кварцевих терез).
3. Оцінка товщини вакуумно заповнених плівок по калібровочній кривій залежності роботи виходу від покриття.
4. Контроль чистоти нанесених плівок.
5. Опрацювання матеріалу, що винесений для самостійного розв'язку після практичного заняття: Провести оцінку параметрів нанесення плівок.

3. **Тема 3.**

Самоорганізація в органічній плівках. Хемосорбовані і фізадсорбовані плівки.

**Література:** 7-15

#### **Завдання для самостійної роботи (8 год.)**

1. Вивчення матеріалу лекції.

2. Опрацювання матеріалу, що винесений на самостійне вивчення:

Розрахунок базисних векторів елементарних комірок моношарових плівок по їх зображенням, отриманих за допомогою скандувального тунельного або атомносилового мікроскопа. Оцінка параметрів сканування для отримання відтворюваних СТМ і АСМ-зображень. Поняття про обернену задачу в методиці дифракції повільних електронів (по відкритим науковим джерелам)

#### **4. Тема 4.**

Сучасні методи дослідження поверхні. Дифракція повільних електронів. Оже-спектроскопія. Спектроскопія характеристичних втрат. Контактна різниця потенціалів. Рентгеноструктурний аналіз. Метод дифракції нейтронів і атомів гелію.

**Література:** 2,3,5,6.

#### **Завдання для самостійної роботи (7 год.)**

1. Вивчення матеріалу лекції.

2. Опрацювання матеріалу, що винесений на самостійне вивчення:

Сучасні методи дослідження поверхні (пошук по матеріалам лекцій і відкритим англomовним науковим джерелам).

#### **5. Тема 5.**

Прямі методи досліджень структури поверхонь і плівок. Види мікроскопій: автоелектронна, польова іонна, електронна. Сканувальна тунельна і атомно-силова мікроскопія і спектроскопія

**Література:** 2, 3, 7.

#### **Завдання для самостійної роботи (7 год.)**

1. Вивчення матеріалу лекції та **практичного заняття**.

2. Опрацювання матеріалу, що винесений на самостійне вивчення після практичного заняття:

«Фізичні принципи прямих методів дослідження: від оптичного мікроскопа до сканувальної зондової мікроскопії». Надбання практичних навиків оперування з основними методами мікроскопії. Переваги і недоліки кожного з методів (по матеріалам лекцій і відкритим джерелам).

#### **6. Тема 6.**

Моношарові плівки довголанцюжкових аліфатичних сполук і їх похідних. Самоорганізація.

**Література:** 7 – 12

#### **Завдання для самостійної роботи (8 год.)**

1. Вивчення матеріалу лекції та **практичного заняття** на тему «Самоорганізація в фізадсорбованих моно шарах алканів на атомно гладких поверхнях Au(111) і високоорієнтованого піролітичного графіту» (модельна адсорбційна система). Ознайомлення з методами моделювання двовимірних молекулярних структур на прикладі алканів.

2. Опрацювання матеріалу, що винесений на самостійне вивчення після практичного заняття: (провести пошук по відкритим англomовним науковим джерелам).

#### **7. Тема 7.**

Дослідження плівок молекул рідких кристалів. Фазові перетворення. Стимульовані електричним полем фазові перетворення. Використання в сучасних системах відображення інформації. Проблеми.

**Література:** 4,5,7

#### **Завдання для самостійної роботи (8 год.)**

1. Вивчення матеріалу лекції та **практичного заняття** на тему «Структура і фазові перетворювання в плівках рідких кристалів (ціанобіфеніли, трифенілені, гексабензокоронени)».

2. Опрацювання матеріалу, що винесений на самостійне вивчення після практичного заняття: Отримання і дослідження рідкокристалічних плівок на атомно гладких поверхнях. Дослідження електрооптичних характеристик в рідкокристалічних комітках.

#### **8. Тема 8.**

Дослідження плівок фулеренів і їх похідних. Перспективи використання в сучасних технологіях.

**Література:** 7, 16, 18, 20

**Завдання для самостійної роботи (8 год.)**

1. Вивчення матеріалу лекції.
2. Опрацювання матеріалу, що винесений на самостійне вивчення:  
Про перспективні застосування фулеренів і нанотрубок у наноелектроніці і медицині.

#### 9. Тема 9.

Молекули з ефектами перемикання. Створення систем з зовні керованими поверхневими властивостями.

**Література:** 7,19.

**Завдання для самостійної роботи (8 год.)**

1. Вивчення матеріалу лекції та **практичного заняття** на тему «Проблеми створення поверхонь з зовні керованими поверхневими властивостями на основі молекул зі здатністю змінювати внутрішню структуру».
2. Опрацювання матеріалу, що винесений на самостійне вивчення після лекції та практичного заняття:

Типи молекул з ефектом перемикання. Конформаційні переходи. Переходи зі зміною топології валентних зв'язків під дією електричного поля або ультрафіолетового випромінювання. Замкнені та розімкнені стани молекул. Навести приклади можливого практичного використання.

#### 10. Тема 10.

Огляд актуальних проблем сучасної фізичної і молекулярної електроніки (узагальнююча лекція). Можливі шляхи розв'язання..

**Література:** 5,7

**Завдання для самостійної роботи (7 год.)**

1. Вивчення матеріалу лекції.
2. Опрацювання матеріалу, що винесений на самостійне вивчення:  
Зробити огляд літератури і інформаційних джерел, в яких сформульовані найважливіші задачі сучасної фізичної і молекулярної електроніки: пошук поверхонь з низькою роботою виходу, термоемісійні перетворювачі енергії, органічні сонячні батареї, органічні світло діоди та транзистори на гнучких підкладках та ін..

### 5. Практичні заняття

з навчальної дисципліни ПОК.04 "Актуальні проблеми фізичної та молекулярної електроніки"

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

### 6. Самостійна робота

з навчальної дисципліни ПОК.04 "Актуальні проблеми фізичної та молекулярної електроніки"

№	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

### навчальної дисципліни ПОК.04 "Актуальні проблеми фізичної та молекулярної електроніки"

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

### навчальної дисципліни ПОК.04 "Актуальні проблеми фізичної та молекулярної електроніки"

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 рейтингів.

Загальна кількість балів, яку аспіранта може отримати під час вивчення курсу складається із суми вагових балів отриманих протягом вивчення дисципліни

$$R=20+40+40=100 \text{ (балів)}$$

#### 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 незначними 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 ПОК.04 “Актуальні проблеми фізичної та молекулярної електроніки”

1. Фундаментальні основи фізичної і молекулярної електроніки.
2. Основні положення фізики твердого тіла. Потенціальні бар’єри. Тунельний ефект.
3. Міжмолекулярні сили. Молекулярні і атомні спектри.
4. Непрямі експериментальні докази існування атомів і молекул.
5. Історія методів мікроскопії.
6. Оптична мікроскопія і спектроскопія.
7. Електронна мікроскопія.
8. Автоелектронна і автійонна мікроскопія.
9. Сканувальна тунельна мікроскопія і спектроскопія (СТМ, СТС). Атомно силова мікроскопія (АСМ).
10. Використання зондових методів в сучасних нанотехнологіях.
11. Створення штучних атомних і молекулярних структур за допомогою зондових методів.
12. Дослідження самоупорядкованих молекулярних структур з молекулярною і інтрамолекулярною роздільною здатністю.
13. Особливості досліджень в надвисокому вакуумі, рідинних середовищах та атмосфері.
14. СТМ-АСМ дослідження довголанцюжкових молекул і їх похідних, молекул рідких кристалів, фулеренів та їх похідних.
15. Дослідження біологічних об’єктів та медичних препаратів.
16. Непрямі методи досліджень атомних і молекулярних структур.
17. Інфрачервона та ультрафіолетова спектроскопія.
18. Рентгеноструктурний аналіз.
19. Дифракція повільних електронів.
20. Оже-спектроскопія, спектроскопія характеристичних втрат. Метод нейтронної дифракції. Метод дифракції атомів гелію.
21. Основні задачі і перспективи сучасної молекулярної електроніки.

## 10.Рекомендована література:

з навчальної дисципліни ПОК.04 "Актуальні проблеми фізичної та молекулярної електроніки"

### Основна:

1. Вудраф Д., Делчар Т. Современные методы исследования поверхности. М., Мир, 1989, 564с.
2. Фелдман Л., Майер Д. Основы анализа поверхности и тонких пленок. Пер. с англ. — М.: Мир, 1989. — 344 с.
3. Н. Ашкрофт, Н Мермин. Физика твердого тела. Ч.1. М.: Мир, 1979.
4. М. Ратнер, Д. Ратнер. Нанотехнология: простое объяснение очередной гениальной идеи: Пер. с англ. - М.: Издательский дом "Вильямс", 2004.- 235 ст.
5. І.М. Дмитрук. Електронні процеси в наноструктурах. Видавництво Київського національного університету ім.Тараса Шевченка. Київ. 2013 рік., 207 ст.
6. Оура К., Лифшиц В.Г., Саранин А.А., Зотов А.В., Катаяма М. Введение в физику поверхности М.: Наука, 2006. — 490 с.
7. О.А. Марченко. Сканувальна тунельна мікроскопія органічних молекул на інтерфейсі рідина-тверде тіло. Докторська дисертація, Київ. 2007 рік. 420ст.

### Додаткова

8. Marchenko O., Cousty J. Molecule length-induced reentrant self-organization of alkanes in monolayers adsorbed on Au(111) // Phys. Rev. Lett. – 2000. – (84) – 5363-5366.
9. Marchenko A., Xie Z.X., Cousty J., Pham Van L. Structures of self-assembled monolayer of alkanes adsorbed on Au(111) surfaces // Surface and Interface Analysis. –2000.– (30) – 167-169.
10. Cousty J., Marchenko A. Substrate-induced freezing of alkane monolayers adsorbed on Au(111) dependant on the alkane/gold misfit // Surface Science. – 2002. – (520) –128-136.
11. Marchenko A., Lukyanets S., Cousty J. Adsorption of alkanes on Au(111): possible origin of STM contrast at the liquid/solid interface // Phys. Rev. B. – 2002. – (65) – 045414-045419.
12. Marchenko A., Cousty J., Pham Van L. Magic length effects in the packing of n-alkanes adsorbed on Au(111) // Langmuir. – 2002. – (18), №4. – 1171-1175.
13. Marchenko A., Cousty J. C60 self-organization at the interface between a liquid C60 solution and a Au(111) surface // Surface Science. – 2002. – (513) – 233-237.
14. Marchenko A., Katsonis N., Fichou D., Aubert C., Malacria M. Long-range self-assembly of a polyunsaturated linear organosilane at the n-tetradecane/Au(111) interface studied by STM // Journal of the American Chemical Society. – 2002. – (124) – P. 9998-9999.
15. Marchenko A., Cousty J. "Magic size" effect in the packing of n-alkanes on Au(111): evidence of lowered sliding force for molecules with specific length // Wear. – 2003. – (254) – 941-944.
16. Katsonis N., Marchenko A., Fichou D. Dynamics and spectroscopy of single C60 molecules adsorbed on Au(111) at the liquid/solid interface // Journal of Photochemistry and Photobiology. A: Chemistry. – 2003. – (158) – 101-104.
17. Katsonis N., Marchenko A., Fichou D., Aubert C., Malacria M. Structure and properties of self-assembled monolayers of a trimethylsilyl-1-yne organosilane on gold // Chemical European Journal. – 2003. – (9) – 2574-2581. 20. Katsonis N., Marchenko A., Fichou D. Supramolecular rows of discotic liquid crystal on a metal surface // Synthetic Metals. – 2004. – (147) – 73-77.

18. Katsonis N., Marchenko A., Fichou D. Adsorption and self-assembly of C70 molecules at the Au(111)/n-tetradecane interface: a scanning tunneling micro-copy study // *Advance Materials*. – 2004. – (16), №4. – 309-312.
19. S. Snegir, A. Marchenko, P. Yu, F. Maurel, O.L. Kapitanchuk, S. Mazerat, M. Lepeltier, A. Leautic, E. Lacaze. STM-observation of open- and closed-ring forms of functionalized diarylethene molecules self-assembled on reconstructed Au(111) surface // *Physical Chemistry Letters* – 2011 –(2) – 2433-2436.
20. Yu. Rud, L. Buchatsky, Yu. Prylutsky, O. Marchenko, A. Senenko, Ch. Schutze, U. Ritter. Using C60 fullerenes for photodynamic inactivation of mosquito iridescent viruses // *Journal of Enzyme Inhibition and Medicinal Chemistry*. – 2012. – V. 27, №4. – P. 614-617.