

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА**

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

**Кафедра квантової радіофізики та наноелектроніки**

**«ЗАТВЕРДЖУЮ»**

Заступник декана з навчальної роботи

\_\_\_\_\_ Олексій НЕЧИПОРУК

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2022 року

**РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ**

**Нанофізика та нанотехнології**

для студентів

галузь знань	<b>10 “Природничі науки”</b>
спеціальність	<b>105 "Прикладна фізика та наноматеріали"</b>
рівень вищої освіти	<b>другий освітньо-науковий (магістр)</b>
освітня програма	<b>“Радіофізика та електроніка”</b>
вид дисципліни	<b>обов'язкова</b>

Форма навчання	<b>денна</b>
Навчальний рік	<b>2022-2023</b>
Семестр	<b>1</b>
Кількість кредитів ECTS	<b>3</b>
Мова викладання, навчання та оцінювання	<b>українська</b>
Форма заключного контролю	<b>залік</b>

**Викладачі:**

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

**Ільченко Володимир Васильович**, доктор фіз.-мат. наук, професор кафедри нанофізики конденсованих середовищ ННІ ВТ.

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'

\_\_\_\_\_ Ганна КАРЛАШ

Протокол № \_\_ від « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 202\_\_ р.

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

Протокол № \_\_ від « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 202\_\_ р.

Голова науково-методичної комісії

Сергій РАДЧЕНКО

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 202\_\_ року.

## ВСТУП

**1. Мета дисципліни** – ознайомлення студентів із основними засадами нанофізики та нанотехнологій, засвоєння базових фізичних принципів, що керують властивостями зразків конденсованої речовини, розміри яких перебувають в нанометровому діапазоні, ознайомлення з сучасними розробками в нанотехнологіях.

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

Навчальна дисципліна «Нанофізика та нанотехнології» базується на циклі дисциплін професійної та практичної підготовки бакалавра, а саме: “Електрика та магнетизм”, “Оптика”, “Атомна фізика”, “Квантова механіка”, “Фізика конденсованого середовища”, “Фізика твердого тіла”.

Попередні вимоги:

1. студент повинен знати: основні закони, рівняння та співвідношення курсу загальної фізики, курсу фізики конденсованого середовища, курсу квантової механіки.

2. студент повинен вміти: будувати фізичні моделі конденсованої речовини та твердого тіла як виходячи з уявлень класичної фізики, так і згідно квантово-механічних уявлень, вирізняти основні та другорядні взаємодії, якими можна нехтувати.

3. студент повинен знати: базові підходи до проведення фізичних експериментів та вимірювань фізичних величин, основні засади впровадження фундаментальних знань в практичні технології.

### **3. Анотація навчальної дисципліни:**

Вивчення дисципліни «Нанофізика та нанотехнології» дозволяє опанувати основні фізичні принципи, що керують властивостями зразків конденсованої речовини, розміри яких перебувають в нанометровому діапазоні. Об'єктами вивчення є нанокластери, нанокристаліти, нанорозмірні плівки, нанопоруваті матеріали, методи їхнього створення та дослідження, включаючи процеси самозбирання на поверхні підкладинок. Вивчається роль квантового обмеження в наноструктурах та вплив його на властивості специфічних наноелектронних пристроїв а також на електронні властивості зразків речовини відповідного розміру, зокрема в системах пониженої розмірності (1-вимірних, 2-вимірних). Розглядаються особливості протікання електричного струму через такі об'єкти, та врахування цих особливостей для створення нових різновидів нанорозмірних транзисторів та інших перспективних електронних приладів та систем.

### **4. Завдання (навчальні цілі):**

1. Надати основні відомості з курсу «Нанофізика та нанотехнології», які складають важливу частину загально-наукової та професійної підготовки магістра за спеціальністю «Прикладна фізика та наноматеріали».

2. Надати основні знання з теорії поведінки квантово-механічних частинок в потенціалах, що сконцентровані в областях простору із характерними розмірами порядку довжини хвилі де-Бройля, продемонструвати, як ця поведінка впливає на фізичні та хімічні властивості нанорозмірних зразків твердого тіла та конденсованої речовини.

3. Навчити застосовувати одержані знання для створення новітніх та перспективних технологій виготовлення електронних приладів, функціональних матеріалів, сенсорів та інших інноваційних продуктів, зокрема оборонного та подвійного призначення.

Забезпечення досягнення компетентностей:

ЗК-1 Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності.

ЗК-6 Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел.

ЗК-7 Здатність працювати в команді.

ЗК-11 Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.

ФК-2 Здатність оптимально визначати матеріальні засоби, необхідні для виконання інженерних робіт або проведення науково-технічних розробок (матеріали, апаратура, обладнання, обчислювальна техніка та інше).

ФК-4 Здатність відповідно до поставленої задачі виконувати науково-технічні розробки в галузі прикладної фізики та наноматеріалів.

## 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			
<b>1</b>	студент повинен <b>знати:</b>	лекційні заняття з використанням комп'ютерної техніки в аудиторіях та/або методики дистанційного навчання	письмові модульні контрольні роботи	до 45
1.1	Загальні основи дискретних зв'язаних станів квантово-механічних частинок	=//=	=//=	До 7
1.2	Загальні основи фізики конденсованої речовини в нанометровому масштабі	=//=	=//=	До 8
1.3	Основні фізичні характеристики нанорозмірних матеріалів	=//=	=//=	До 8
1.4	Сучасні підходи до постановки експериментів у нанофізиці	=//=	=//=	До 7
1.5	Базові основи функціонування наноелектронних приладів	=//=	=//=	До 8
<b>2</b>	студент повинен <b>вміти:</b>	лекційні заняття з використанням комп'ютерної техніки в аудиторіях та/або методики дистанційного навчання	письмові модульні контрольні роботи	до 45
2.1	Створювати алгоритми обробки даних експериментів, що проводяться для дослідження конденсованої речовини в нанометровому діапазоні довжин	=//=	=//=	До 10
2.2	Здійснювати оціночні розрахунки електронного спектру нанорозмірних зразків із заданою геометрією	=//=	=//=	До 15
2.3	Опанувати програмні пакети, як комерційно ліцензовані так і з відкритим кодом, для чисельного моделювання фізичних властивостей нанокластерів та наноелектронних приладів	=//=	=//=	До 20
<b>3</b>	<b>комунікація:</b>	лекційні заняття з використанням комп'ютерної техніки в аудиторіях та/або методики дистанційного навчання	письмові модульні контрольні роботи	до 5
3.1	Навички фахової комунікації щодо переваг та потенційних ризиків широкомасштабного впровадження нанотехнологій у повсякденне життя	=//=	=//=	До 3
3.2	Навички роботи у наукових колективах, що проводять складні експериментальні дослідження фізико-хімічних властивостей nano-об'єктів, у т.ч. на синхротронних джерелах X-випромінювання	=//=	=//=	До 2
<b>4</b>	<b>автономність та відповідальність:</b>	лекційні заняття з використанням комп'ютерної техніки в аудиторіях та/або методик дистанційного навчання	письмові модульні контрольні роботи	до 5
4.1	Здатність до самостійної роботи з науковою літературою, в т.ч. зарубіжною, виданою іноземними мовами за тематикою дисципліни	=//=	=//=	До 3
4.2	Здатність до здійснення експертної оцінки потенційної продуктивності пропозицій промислового впровадження новітніх нанотехнологій	=//=	=//=	До 2

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

які не входять до блоків спеціалізації

Результати навчання дисципліни Програмні результати навчання (назва)	Результати навчання дисципліни											
	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	2.1	2.2	2.3	3.1	3.2	4.1	4.2
ПРН 1. Використовувати знання в галузі прикладної фізики, математики, електроніки та інформаційних технологій для виконання наукових досліджень, інженерно-технічних робіт на виробничих, науково-технічних, конструкторських, сервісних ділянках то-що.	+			+	+	+	+	+	+	+		+
ПРН 2. Знаходити та аналізувати наукову та науково-технічну інформацію в галузі прикладної фізики та наноматеріалів із вітчизняних та зарубіжних джерел, в тому числі з використанням сучасних пошукових систем.	+		+		+	+	+	+	+	+	+	
ПРН 3. Обговорювати та знаходити прогресивні та інноваційні рішення проблем і завдань при виконанні науково-технічних та виробничих проектів.				+	+			+	+	+	+	+
ПРН 6. Коректно формулювати висновки у вигляді умов, критеріїв, числових оцінок, перевіряти, апробувати та представляти їх у аудиторії різного фахового рівня, використовуючи сучасні методики наукової та технічної комунікації українською та іноземними мовами.	+	+			+	+		+		+		+

## 7. Схема формування оцінки

**7.1. Форми оцінювання студентів:** рівень досягнення всіх запланованих результатів навчання визначається за результатами написання письмових контрольних робіт. 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 – 30 балів.
2. Контрольна робота з тем 8-15 (письмово): РН 1.4-6, РН 2.2-3, РН 3.2, РН 4.2 – 30 балів.

**підсумкове оцінювання (у формі заліку):** форма заліку – письмово-усна. Всього за залік можна отримати від **0 до 30 балів**. Умовою досягнення позитивної оцінки за дисципліну є отримання не менш ніж **60 балів**, при цьому, оцінка за залік не може бути меншою **25 балів**.

- **умови допуску до заліку:** отримання студентом сумарно не менше, ніж **критично-розрахунковий мінімум** за семестр – **35 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	17	30
Модульна контрольна робота №2	18	30

*Орієнтований графік оцінювання:*

Форма оцінювання	Орієнтовний період для здійснення відповідної форми оцінювання
Модульна контрольна робота №1	жовтень
Модульна контрольна робота №2	листопад
Залік	грудень

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

Значення	Семестр	Іспит	Підсумкова оцінка
Мінімум	35	25	60
Максимум	60	40	100

## 7.3. Шкала відповідності оцінок

Оцінка (за національною шкалою) / National grade	Рівень досягнень, % / Marks, %
<b>Зараховано</b> / Passed	60-100%
<b>Не зараховано</b> / Not passed	0-59%

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

№ з/п	Назва теми	У тому числі - кількість годин	
		Лекції	Самостійна робота
1	Вирощування самоорганізованих квантових точок та квантових шнурів в напружених наноструктурах. Методи отримання масивів квантових точок та квантових дротів. Дослідження квантових дротів / точок на поверхні підкладинки методом сканувальної зондової мікроскопії.	2	4
2	Електронна та іонна літографія. Їхні переваги над оптичною літографією. Характерні параметри роздільної здатності та швидкості літографічних процесів. Атомно-силова мікроскопія як інструмент метрологічної сертифікації літографічного обладнання.	2	4
3	X-променева літографія. Особливості технологічного процесу X-променевої літографії. Роздільна здатність, порівняння з оптичною літографією та літографією екстремального ультрафіолету.	2	4
4	Плівки Ленгмюра-Блоджетт. Найбільш відомі методи отримання таких плівок та основні властивості. Самозбирання та приклади процесів самозбирання. Дослідження динаміки самозбирання молекулярних наноструктур в рідких розчинах за допомогою сканувальної тунельної мікроскопії.	2	4
5	Квантове обмеження. Електронний спектр для 2-вимірних об'єктів. Дослідження електронного спектру 2-вимірного електронного газу методом сканувальної тунельної спектроскопії.	2	4
6	Ідея створення приладу з 2D каналом з високою рухливістю носіїв. Особливості НЕМТ транзисторів. Конструкція та застосування НЕМТ структур. Поточний контроль технологічного процесу виготовлення НЕМТ структур за допомогою атомно-силової мікроскопії в безконтактному режимі.	2	4
7	Кулонівська блокада. Одноелектронний транзистор. Специфічні властивості одноелектронних приладів. Основні теоретичні підходи до квантово-механічного опису процесу тунелювання.	2	4
8	Поруваті матеріали. Поруватий кремній. Методи його отримання та властивості. Вирощування поруватих плівок Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . Особливості застосування поруватого Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . Типові артефакти, що виникають при застосуванні сканувальних зондових методик в дослідженнях поверхонь поруватих матеріалів.	2	4

9	Дві парадигми вирощування наноб'єктів (квантових точок) «знизу-догори» та «згори-донизу». Наногетероструктури. Напружені надгратки та їх основні властивості. Дослідження поперечних перерізів наногетероструктур методом крос-секціональної сканувальної тунельної мікроскопії та спектроскопії.	2	4
10	Зондова технологія для маніпулювання атомами на поверхні. Специфічні «паралельні» та «перпендикулярні» процеси. Технологія нанодруку. Пензель-нанолітографія. Основи фізики роботи атомно-силового мікроскопа в контактному режимі. Наноіндентування.	2	4
11	Балістичний транспорт. Особливості балістичного транспорту в наноелектронних приладах. Формалізм Ландауера-Бютікера. Основи методики сканувальної тунельної спектроскопії в непружному режимі.	2	4
12	Вуглецеві нанотрубки. Хіральність нанотрубок та її зв'язок з фізичними властивостями. Польові транзистори на основі вуглецевих одностінних нанотрубок. Методи отримання нанотрубок та їхнє практичне застосування. Вуглецева нанотрубка як зонд в сканувальній зондовій мікроскопії та спектроскопії.	2	4
13	Квантове обмеження. Електронний спектр для 1- та 0-вимірних об'єктів. Дослідження морфології та електронних властивостей поверхневих 1- та 0-вимірних об'єктів методом сканувальної тунельної мікроскопії / спектроскопії при субкельвінівських температурах.	2	4
14	Моди самоорганізації при епітаксійному вирощуванні наноструктур. Квантова точка. Властивості та характерні особливості квантових точок для різних матеріальних систем. Квантові точки 1-го та 2-го типів. Дослідження квантових точок методом оптичної сканувальної мікроскопії ближнього поля.	2	4
15	Технологічні методи створення нанокластерів та нанокристалітів. Найбільш відомі методи їх отримання. Порівняння граничних можливостей дослідження нанокластерів та нанокристалітів методами сканувальної зондової мікроскопії та електронної мікроскопії.	2	4
<b>Всього</b>		<b>30</b>	<b>60</b>

Загальний обсяг **90** год., в тому числі:  
 Лекції **30** год.  
 Самостійна робота **60** год.



## **9. Рекомендовані літературні джерела:**

### **Основні джерела:**

1. D.G. Steel. Introduction of Quantum Nanotechnology - A Problem Focused Approach. – Oxford University Press, 2021. – 370 pp.
2. M. Rocca, T.S. Rahman, L. Vattuone. Springer Handbook of Surface Science. – Springer Nature Switzerland AG, 2020. – 1260 pp.
3. K.D. Sattler. 21st Century Nanoscience - A Handbook / Nanophysics Sourcebook. – Taylor & Francis Group, LLC, 2020. – 371 pp.
4. Ю.М. Поплавко, О.В. Борисов, Ю.І. Якименко, Нанофізика, наноматеріали, наноелектроніка. – К.: НТУУ «КПІ», 2012. – 300 с.
5. О.В. Третьак, В.З. Лозовський, Фізика низьковимірних систем, К. : Видавничо-поліграфічний центр "Київський університет", 2013. – 372 с.
6. Edward E. Wolf. Nanophysics and Nanotechnology. An Introduction to Modern Concepts in Nanoscience. Second Edition, WILEY-VCH, 2006. – 301 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.