КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА

Факультет радіофізики, електроніки та комп'ютерних систем

Кафедра квантової радіофізики та наноелектроніки

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Декан

____________ Андрій НЕТРЕБА

« ____ » ___________ 20__ р.

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Нанофізика та нанотехнології

для студентів

рівень вищої освіти	**другий (магістерський)**
галузь знань	**10 Природничі науки**
спеціальність	**105 Прикладна фізика та наноматеріали**
освітня програма	**Прикладна фізика та наноматеріали**
вид дисципліни	**обов'язкова**

форма навчання	денна
навчальний рік	2023/2024
семестр	1
кількість кредитів ECTS	3
мова викладання	українська
форма заключного контролю	екзамен

Викладачі:
Сергій КУЛИК, кандидат фіз.-мат. наук, доцент кафедри квантової радіофізики та наноелектроніка.
Володимир ІЛЬЧЕНКО, доктор фіз.-мат. наук, професор кафедри нанофізики конденсованих середовищ ННІВТ.

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

КИЇВ – 2023

Розробник:
Андрій ГОРЯЧКО, доктор фіз.-мат. наук, доцент кафедри квантової радіофізики та наноелектроніки

«ЗАТВЕРДЖЕНО»

Завідувач кафедри квантової радіофізики

та наноелектроніки

________________Ганна КАРЛАШ

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

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

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

Голова науково-методичної комісії Сергій РАДЧЕНКО

« ___ » _____________ 20__ р.

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:

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

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

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» дозоляє 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. Розглядаються основні різновиди нанолітографії, за допомогою якої можна створювати відповідні нанорозмірні об’єкти в межах усталеного технологічного процесу. Як альтернативний шлях створення наноструктур та нанорозмірних пристроїв, вивчаються процеси самозбирання в плівках, що вирощуються на поверхні певної підкладинки. Значна увага приділяється квантовому обмеженню, що накладається на власні електронні стани, та вплив, який воно чинить 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):

- Надати основні відомості з курсу «Нанофізика та нанотехнології», які складають важливу частину загально-наукової підготовки магістра за спеціальністю «Прикладна фізика та наноматеріали».
- 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.
- 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.
- Навчити ефективної профорієнтації серед учнів середньої школи, таргет-комунікації в бізнес-середовищі для посилення конкурентних переваг українських виробників та розширення інвестицій в оборонний потенціал України.

Дисципліна спрямована на формування програмних компетентностей:

Загальні компетентності:

- ЗК 1. Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу..
- ЗК 11. Здатність працювати в команді.
- ЗК 12. Навички міжособистісної взаємодії.

Фахові компетентності:

- ФК 1. Здатність брати участь у складанні запитів на виконання наукових та науково-технічних проектів, в тому числі і міжнародних.

- ФК 3. Здатність брати участь у проведенні експериментальних досліджень властивостей фізичної системи, фізичних явищ і процесів.
- ФК 11. Здатність використовувати методи і засоби теоретичного дослідження та математичного моделювання для опису фізичних об'єктів, пристроїв та процесів.
- 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 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 нанокластерів, нанокристалітів, наноплівок та нанотрубок	=//=	=//=	*До 8*
1.4	Базові підходи до постановки експериментів в нанофізиці	=//=	=//=	*До 7*
1.5	Базові літографічні технології створення нанорозмірних пристроїв та зразків	=//=	=//=	*До 7*
1.6	Базові основи функціонування наноелектронних приладів	=//=	=//=	*До 8*
2	студент повинен **вміти**:	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 15*
2.2	Здійснювати оціночні розрахунки електронного спектру нанорозмірних зразків із заданою геометрією та ефективною масою електрона	=//=	=//=	*До 15*
2.3	Опановувати програмні пакети, як комерційно ліцензовані, так і з відкритим кодом, для чисельного моделювання фізичних властивостей нанокластерів та наноелектронних приладів	=//=	=//=	*До 15*
3	**комунікація:**	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 нано-об'єктів, в т.ч. на синхротронних джерелах Х-випромінювання	=//=	=//=	*До 2*
4	**автономність та відповідальність:**	лекційні заняття з використанням комп'ютерної техніки в аудиторіях та/або	письмові модульні контрольні роботи	до 5

		методик дистанційного навчання		
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 та валідності пропозицій промислового впровадження новітніх нанотехнологій	=//=	=//=	*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 3. Знання сучасних обчислювальних та інформаційних технологій.	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		+	+
ПРН 4. Знання іноземної мови.	+	+			+		+			+		+	+
ПРН 5. Знання етичних та соціально-економічних основ сучасного суспільства.			+			+			+	+			
ПРН 6. Знаходити і аналізувати науково-технічну інформацію з різних джерел з використанням сучасних інформаційних технологій.	+	+	+	+	+	+	+	+			+	+	
ПРН 7. Застосовувати фізичні, математичні та комп'ютерні моделі для дослідження фізичних явищ, приладів і наукоємних технологій.				+	+				+				+
ПРН 9. Встановлювати та аргументувати нові залежності між параметрами та характеристиками фізичних систем.	+	+	+	+	+	+		+	+		+		
ПРН 19. Проводити наукові дослідження в галузі прикладної фізики та ефективно використовувати їх результати для вирішення комплексних проблем або вивчення складних явищ на основі інтердисціплінарних знань.							+	+	+	+	+		+

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 40 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:

Оцінювання за формами контролю:

Семестрова робота	Кількість балів	
	Min. – балів	Max. – балів
Модульна контрольна робота №1	15	30
Модульна контрольна робота №2	20	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)	Рівень досягнень, %
Відмінно	90-100%
Добре	75-89%
Задовільно	60-74%
Незадовільно	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 йонна 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	Х-променева літографія. Особливості технологічного процесу Х-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 HEMT транзисторів. Конструкція та застосування HEMT структур. Поточний контроль технологічного процесу виготовлення HEMT 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 Al2O3. Особливості застосування поруватого Al2O3. Типові артефакти, що виникають при застосуванні сканувальних зондових методик в дослідженнях поверхонь поруватих матеріалів.	2	4
9	Дві парадигми вирощування нанооб'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	5
11	Балістичний транспорт. Особливості балістичного транспорту в наноелектронних приладах. Формалізм Ландауера-Бютікера. Основи методики сканувальної тунельної спектроскопії в непружному режимі.	2	5
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	5
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	5
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	5
Всього		**28**	**61**

Загальний обсяг **90** год., в тому числі:
Лекції **28** год.
Консультації **1** год.
Самостійна робота **61** год.

9. Рекомендовані 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. Третяк, 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.

4. Для підготовки доповідей англійською мовою викладач обирає найновіші та найактуальніші (на момент підготовки доповіді) публікації в загальновизнаних міжнародних періодичних фахових виданнях.

Vocabulary on Nanotechnology and Nanomaterials

2D material – двовимірний матеріал;
Electron beam lithography – електронно-променева літографія;
Focused ion beam (FIB) processing – обробка зфокусованими іонними пучками;
Mesoscopic structure – мезоскопічна структура;
Nanocrystal – нанокристал;
Nanoparticle – наночастинка;
Nanocatalyst – нанокаталізатор;
Nanoplasmonics – наноплазмоніка;
Near field scanning optical microscopy (NSOM) – сканувальна ближньопольова оптична мікроскопія;
Quantum size effect – квантовий розмірний ефект;
Raster electron microscopy (REM) – hfcnhjdf tktrnhjyyf virhjcrjgiz$
Self-assembly – самозбирання;
Self-assembled monolayer (SAM) – самозібраний моношар;
Selective area electron diffraction (SAED) – дифракція електронів із просторовим розділенням;
Single electron transistor (SET) – одноелектронний транзистор;
Scanning probe microscopy (SPM) – сканувальна зондова мікроскопія;
Scanning probe lithography – сканувальна зондова літографія;
Scanning electron microscopy (SEM) – сканувальна електронна мікроскопія;
Scanning transmission electron microscopy (STEM) – сканувальна просвічувальна електронна мікроскопія;
Surface energy – поверхнева енергія;
Surface to bulk ratio – співвідношення поверхні до об’єму;
Transmission electron microscopy (TEM) – просвічувальна електронна мікроскопія.