

# КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА

## Фізичний факультет

Кафедра загальної фізики



## РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Фізика низькорозмірних напівпровідникових систем *БК 6.12*

галузь знань 10 Природничі науки  
(шифр і назва)  
спеціальність 104 Фізика та астрономія  
(шифр і назва спеціальності)  
освітній рівень бакалавр  
(молодший бакалавр, бакалавр, магістр)  
освітня програма Фізичне матеріалознавство/Неметалічне матеріалознавство  
спеціалізований  
вибірковий блок  
вид дисципліни вибіркова

Форма навчання	<u>очна</u>
Навчальний рік	_____
Семестр	<u>8</u>
Кількість кредитів ECTS	<u>4</u>
Мова викладання, навчання та оцінювання	<u>українська</u>
Форма заключного контролю	<u>залік</u>

Викладачі: професор Коротченков Олег Олександрович

(Науково-педагогічні працівники, які забезпечують викладання даної дисципліни у відповідному навчальному році)

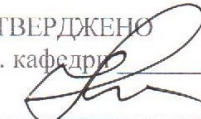
Пролонговано: на 20\_\_/20\_\_ н.р. \_\_\_\_\_ (\_\_\_\_\_) «\_\_» \_\_ 20\_\_ р.  
(підпис, ПІБ, дата)  
на 20\_\_/20\_\_ н.р. \_\_\_\_\_ (\_\_\_\_\_) «\_\_» \_\_ 20\_\_ р.  
(підпис, ПІБ, дата)  
на 20\_\_/20\_\_ н.р. \_\_\_\_\_ (\_\_\_\_\_) «\_\_» \_\_ 20\_\_ р.  
(підпис, ПІБ, дата)

КИЇВ – 2022

Розробник<sup>1</sup>: Коротченко Олег Олександрович, доктор фіз.-мат. наук, професор,  
професор кафедри загальної фізики  
(вказати авторів: ПІБ, науковий ступінь, вчене звання, посада, кафедра)

ЗАТВЕРДЖЕНО

Зав. кафедри



(підпис)

(Боровий М.О.)

(прізвище та ініціали)

Протокол № 7 від 19 травня 2022 р.

**Схвалено науково-методичною комісією фізичного факультету**

протокол №11 від 10 червня 2022 року

Голова науково-методичної комісії



(підпис)

(Оліх О.Я.)

(прізвище та ініціали)

<sup>1</sup> Розробляється лектором. Робоча програма навчальної дисципліни розглядається на засіданні кафедри (циклової комісії – для коледжів), науково-методичної комісії факультету/інституту (раді навчального закладу - коледжу), підписується завідувачем кафедри (головою циклової комісії), головою науково-методичної комісії факультету/інституту (головою ради) і затверджується заступником декана/директора інституту з навчальної роботи (заступником директора коледжу).

## ВСТУП

**1. Мета дисципліни** – надати базові знання із фізики низькорозмірних напівпровідників, що включає засвоєння основних явищ та фізичних закономірностей у даному класі напівпровідників.

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

1. Знати

основні питання фізики твердих тіл, зокрема: математичне формулювання та фізичний зміст основних понять фізики твердих тіл, її сучасний стан, застосування твердих тіл у приладах і пристроях;

2. Вміти

застосовувати на практиці методи квантової механіки та фізики твердого тіла, необхідні для опису властивостей низькорозмірних напівпровідникових систем; логічно і послідовно формулювати основні закономірності кінетичних явищ в твердих тілах; самостійно працювати з науковою літературою, включаючи англomовні видання, в галузі фізики напівпровідників та напівпровідникових наносистем;

3. Володіти

основними навичками розв'язку типових задач квантової механіки та фізики твердого тіла, методами розрахунку параметрів рівноважної та не рівноважної статистики носіїв заряду у твердих тілах та розрахунків з використанням кінетичного рівняння Больцмана в наближенні часу релаксації.

**3. Анотація навчальної дисципліни / референс:**

В рамках курсу «Фізика низькорозмірних напівпровідникових систем» розглядаються як класичні, так і сучасні досягнення в області опису фізичних закономірностей та практичного використання напівпровідникових нанорозмірних систем.

Метою вивчення дисципліни є засвоєння базових знань із фізики низькорозмірних напівпровідників, що включає засвоєння основних явищ та фізичних закономірностей у даному класі напівпровідників.

Навчальна задача курсу полягає в оволодінні методами розрахунку та експериментальних вимірювань напівпровідникових наносистем, включаючи квантові ями, дрони, точки та композитні матеріали із напівпровідниковою складовою.

Результати навчання полягають в умінні застосовувати методами і принципами опису основних властивостей низькорозмірних напівпровідників – двовимірного електронного газу, модульованих структур, квантових макроскопічних явищ..

Методи викладання: лекції, консультації.

Методи оцінювання: опитування в процесі лекції, контрольні роботи після основних розділів курсу, залік.

Підсумкова оцінка виставляється на основі проміжних оцінок (60%) та заліку (40%).

**4. Завдання (навчальні цілі)** – ознайомлення студентів з фізичними властивостями та методами отримання основних типів напівпровідникових наносистем.

Згідно вимог Стандарту вищої освіти України (перший (бакалаврський) рівень вищої освіти, галузь знань 10 «Природничі науки», спеціальність 104 «Фізика та астрономія» дисципліна забезпечує набуття здобувачами освіти наступних **компетентностей**:

**Інтегральних:**

Здатність розв'язувати складні спеціалізовані задачі та практичні проблеми з фізики у професійній діяльності або у процесі подальшого навчання, що передбачає застосування певних теорій і методів фізики та/або астрономії і характеризується комплексністю та невизначеністю умов.

**Загальних:**

ЗК2. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.

ЗК3. Навички використання інформаційних і комунікаційних технологій.

ЗК5. Здатність приймати обґрунтовані рішення.

ЗК7. Навички здійснення безпечної діяльності.

**Фахових:**

ФК1. Знання і розуміння теоретичного та експериментального базису сучасної фізики та астрономії.

ФК3. Здатність оцінювати порядок величин у різних дослідженнях, так само як точності та значимості результатів.

ФК4. Здатність працювати із науковим обладнанням та вимірювальними приладами, обробляти та аналізувати результати досліджень.

ФК7. Здатність використовувати базові знання з фізики та астрономії для розуміння будови та поведінки природних і штучних об'єктів, законів існування та еволюції Всесвіту.

ФК9. Здатність працювати з джерелами навчальної та наукової інформації.

ФК10. Здатність самостійно навчатися і опановувати нові знання з фізики, астрономії та суміжних галузей.

ФК12. Усвідомлення професійних етичних аспектів фізичних та астрономічних досліджень.

ФК13. Орієнтація на найвищі наукові стандарти – обізнаність щодо фундаментальних відкриттів та теорій, які суттєво вплинули на розвиток фізики, астрономії та інших природничих наук.

**5. Результати навчання за дисципліною:** (описуються з детальною достовірністю для розробки заходів оцінювання)

Результат навчання (1. знати; 2. вміти; 3. комунікація*; 4. автономність та відповідальність*)		Методи викладання і навчання	Методи оцінювання	Відсоток у підсумковій оцінці з дисципліни
Код	Результат навчання			
1	Знати фізичні основи функціонування низькорозмірних напівпровідникових систем; основні сучасні досягнення фізики низькорозмірних напівпровідників та їх застосування у практичних пристроях.	Лекції, самостійна робота	Модульні контрольні роботи, перевірка самостійної роботи, опитування в процесі лекції, залік.	60
2	Вміти досліджувати електричні, оптичні та фотоелектричні властивості низькорозмірних	Лекції, самостійна робота	Модульні контрольні роботи,	40

\* заповнюється за необхідністю, наприклад для практик, лабораторних курсів тощо.

	напівпровідникових структур.		перевірка самостійної роботи, опитування в процесі лекції, залік.	
--	------------------------------	--	--	--

**6. Співвідношення результатів навчання дисципліни із програмними результатами навчання (необов'язково для вибіркокових дисциплін)**

Результати навчання дисципліни		1	2
Програмні результати навчання			
ПРН1. Знати, розуміти та вміти застосовувати основні положення загальної та теоретичної фізики, зокрема, класичної, релятивістської та квантової механіки, молекулярної фізики та термодинаміки, електромагнетизму, хвильової та квантової оптики, фізики атома та атомного ядра для встановлення, аналізу, тлумачення, пояснення й класифікації суті та механізмів різноманітних фізичних явищ і процесів для розв'язування складних спеціалізованих задач та практичних проблем з фізики.		+	+
ПРН3. Знати і розуміти експериментальні основи фізики: аналізувати, описувати, тлумачити та пояснювати основні експериментальні підтвердження існуючих фізичних теорій.		+	+
ПРН5. Знати основні актуальні проблеми сучасної фізики та астрономії.		+	
ПРН7. Розуміти, аналізувати і пояснювати нові наукові результати, одержані у ході проведення фізичних та астрономічних досліджень відповідно до спеціалізації.		+	
ПРН8. Мати базові навички самостійного навчання: вміти відшуковувати потрібну інформацію в друкованих та електронних джерелах, аналізувати, систематизувати, розуміти, тлумачити та використовувати її для вирішення наукових і прикладних завдань.		+	
ПРН9. Мати базові навички проведення теоретичних та/або експериментальних наукових досліджень з окремих спеціальних розділів фізики або астрономії, що виконуються індивідуально (автономно) та/або у складі наукової групи.			+
ПРН13. Розуміти зв'язок фізики та астрономії з іншими природничими та інженерними науками, бути обізнаним з окремими (відповідно до спеціалізації) основними поняттями прикладної фізики, матеріалознавства, інженерії, хімії, біології тощо, а також з окремими об'єктами (технологічними процесами) та природними явищами, що є предметом дослідження інших наук і, водночас, можуть бути предметами фізичних або астрономічних досліджень.		+	
ПРН14. Знати і розуміти основні вимоги техніки безпеки при проведенні експериментальних досліджень, зокрема правила роботи з певними видами обладнання та речовинами, правила захисту персоналу від дії різноманітних чинників, небезпечних для здоров'я людини.			+
ПРН17. Знати і розуміти роль і місце фізики, астрономії та інших природничих наук у загальній системі знань про природу		+	

та суспільство, у розвитку техніки й технологій та у формуванні сучасного наукового світогляду.		
ПРН22. Розуміти значення фізичних досліджень для забезпечення сталого розвитку суспільства.	+	

## Структура курсу

Курс складається з 2-х змістових модулів: «Двовимірний електронний газ. Модульовані структури» та «Квантові макроскопічні явища».

## 7. Схема формування оцінки:

**7.1. Форми оцінювання студентів:** (зазначається перелік видів робіт та форм їх контролю / оцінювання із зазначенням Min. – рубіжної та Max. кількості балів чи відсотків)

- семестрове оцінювання:

1. Модульна контрольна робота 1 (12 балів-20 балів). Захист лабораторних робіт(6 балів-10 балів).
2. Модульна контрольна робота 2 (12 балів-20 балів). Захист лабораторних робіт(6 балів-10 балів).

- підсумкове оцінювання у формі заліку

**Підсумкове оцінювання у формі екзамену<sup>1</sup>:** (обов'язкове проведення екзаменаційного оцінювання в письмовій формі)

	ЗМ1/Частина 1 (за наявності)	ЗМ2/Частина 2 (за наявності)	залік	Підсумкова оцінка
Мінімум	<b>18</b>	<b>18</b>	<b>24</b>	<b>60</b>
Максимум	<b>30</b>	<b>30</b>	<b>40</b>	<b>100</b>

у випадку комплексного екзамену слід вказати питому вагу складових

Студент не допускається до заліку, якщо під час семестру набрав менше 36 балів.<sup>2</sup>

(слід чітко прописати умови, які висуваються викладачами даної дисципліни).

Оцінка за залік не може бути меншою **24 балів** для отримання загальної позитивної оцінки за курс.

**7.2. Організація оцінювання:** (обов'язково зазначається порядок організації передбачених робочою навчальною програмою форм оцінювання із зазначенням, у тому числі, результатів навчання, опанування яких перевіряється конкретним оцінюванням).

## 7.3. Шкала відповідності

<b>Відмінно / Excellent</b>	90-100
<b>Добре / Good</b>	75-89
<b>Задовільно / Satisfactory</b>	60-74
<b>Незадовільно з можливістю повторного складання / Fail</b>	35-59
<b>Незадовільно з обов'язковим повторним вивченням дисципліни / Fail</b>	0-34
<b>Зараховано / Passed</b>	60-100

<sup>1</sup> Семестрову кількість балів формують бали, отримані студентом у процесі теоретичного засвоєння матеріалу з усіх розділів дисципліни, семінарських занять, виконання практичних, лабораторних, індивідуальних, підсумкових контрольних робіт, творчих робіт впродовж семестру, передбачених робочою навчальною програмою (**100 балів** - для залікових дисциплін, у випадку, якщо дисципліна завершується екзаменом, то розподіл здійснюється за таким алгоритмом: **60 балів (60%) – семестровий контроль** і **40 балів (40%) – екзамен**).

<sup>2</sup> У випадку, коли дисципліна завершується екзаменом не менше – **20 балів**, а рекомендований мінімум **не менше 36 балів**, оскільки якщо студент на екзамені набрав менше **24 балів** (а це 60% від 40 балів, відведених на екзамен), то вони **не додаються** до семестрової оцінки незалежно від кількості балів, отриманих під час семестру, а в екзаменаційній відомості у графі «результуюча оцінка» переноситься лише кількість балів, отриманих під час семестру.

Не зараховано / Fail	0-59
----------------------	------

## 8. СТРУКТУРА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

### ТЕМАТИЧНИЙ ПЛАН ЛЕКЦІЙ

№ п/п	Назва теми	Кількість годин		
		лекції	лабораторні	Самостійна робота
Частина 1. Двовимірний електронний газ. Модульовані структури				
1	Тема 1. Вступ. Розмірне квантування. с.р.с. Вивчення матеріалу лекції. Предмет курсу, розмірне квантування, властивості гетеропереходів	4		12
2	Тема 2. Енергетичний спектр частинок в низькорозмірних структурах. с.р.с. Вивчення матеріалу лекції. Густина станів в низькорозмірних структурах, особливості енергетичного спектру частинок в низькорозмірних напівпровідникових структурах.	6		12
3	Тема 3. Виготовлення та застосування низькорозмірних структур. с.р.с. Вивчення матеріалу лекції. Підготовка до модульної контрольної роботи 1. Вирощування та оцінка якості наноструктур, напівпровідникові прилади з двовимірними структурами, практичні пристрої із двовимірним електронним газом.	6		14
	Контрольна робота 1	1		
Частина 2. Квантові макроскопічні явища				
4	Тема 4. Оптичні властивості низькорозмірних структур. с.р.с. Вивчення матеріалу лекції. Оптичні властивості наноструктур.	6		10
5	Тема 5. Низькорозмірні структури у електричних полях. с.р.с. Вивчення матеріалу лекції. Вплив однорідного електричного поля на енергетичний спектр напівпровідникових систем зниженої розмірності, вплив осцилюючого п'єзоелектричного поля на енергетичний спектр напівпровідникових систем зниженої розмірності.	6		10
6	Тема 6. Низькорозмірні структури у магнітних полях. с.р.с. Вивчення матеріалу лекції. Вплив магнітного поля на енергетичний спектр напівпровідникових систем зниженої розмірності.	6		10
7	Тема 7. Прилади із низькорозмірними структурами. с.р.с. Вивчення матеріалу лекції. Підготовка до підсумкової модульної контрольної роботи. Напівпровідникові прилади з двовимірними структурами, квантові прилади та фізичні основи квантових обчислень.	4		12
	Підсумкова модульна контрольна робота	1		
	ВСЬОГО	40		80

Примітка: слід зазначити теми, винесені на самостійне вивчення

Загальний обсяг 120 год.<sup>3</sup>, в тому числі:

<sup>3</sup> Загальна кількість годин, відведених на дану дисципліну згідно навчального плану.

Лекцій – 40 год.  
Семінари – 0 год.  
Практичні заняття – 0 год.  
Лабораторні заняття – 0 год.  
Тренінги – 0 год.

### Питання для самостійної роботи

#### 1 модуль

1. Кінетичні ефекти в двовимірних системах: час релаксації та рухливість, вертикальний перенос в системі квантових ям.
2. Кінетичні явища в сильних магнітних полях. Дробний квантовий ефект Холла.
3. Домішкові стани в напівпровідникових системах зниженої розмірності.
4. Кулонівські зв'язані стани та інтерфейсні дефекти в гетеро структурах.
5. Технологія вирощування Si/Ge гетероструктур.

#### 2 модуль

1. Квантовий транспорт: ідеї локалізації, термоактивована провідність в режимі локалізації, теорія Таулесса.
2. Виміри магнітних полів методами квантової магнітометрії.
3. Біомедичні наноструктури: мікро/нанодвигуни та їх біомедичне застосування, новітні наноструктури як молекулярні нанодвигуни, наноструктури для транспорту ліків.
4. Епітаксія монокристалічних плівок. Гомо- і гетероепітаксія. Основи теорії зародкоутворення і зростання епітаксійних плівок при їх вирощуванні з газоподібних фаз.
5. Термодинамічний і молекулярно-кінетичний підхід до опису гетероепітаксії.
6. Методи рідинної епітаксії. Епітаксія з газоподібної фази: метод хімічних реакцій, газотранспортна епітаксія. Конденсація з парової фази.

## 9. РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА:

### Основна: (Базова)

1. Коротченко О. О., Надточій А.Б. Вступ до фізики низькорозмірних напівпровідникових систем. Дослідження теплових та термоелектричних властивостей тонких плівок. Вінниця, Видавництво ТОВ «Нілан-ЛТД», 2021 – 76 с.  
<https://gen.phys.univ.kiev.ua/biblioteka/pidruchniki-ta-posibniki/>
2. Подолян А.О., Коротченко О. О. Фізика низькорозмірних напівпровідників. Генерація та рекомбінація нерівноважних носіїв заряду. Фотоелектричний ефект. Вінниця, Видавництво ТОВ «Твори», 2018 – 4 друк. арк.  
<https://gen.phys.univ.kiev.ua/biblioteka/pidruchniki-ta-posibniki/>
3. Третяк О.В., Лозовський В.З. Основи фізики напівпровідників. К.: ВПЦ "Київський університет", 2007. – Т. 2. Доступ за адресою:  
[https://radfiz.org.ua/files/NOT%20SORTED/zemskoff\\_IVT\\_s6\\_20140125\\_yse/%F3%CB%D2%C9%DB/Tretyak\\_Lozovsky\\_2.pdf](https://radfiz.org.ua/files/NOT%20SORTED/zemskoff_IVT_s6_20140125_yse/%F3%CB%D2%C9%DB/Tretyak_Lozovsky_2.pdf)
4. Шпак А.П., Куницький Ю.А., Коротченко О.О., Смик С.Ю. Квантові низькорозмірні системи. Київ: Академперіодика, 2003. – 312 с. [Бібліотека фізичного факультету.](#)
5. Фреїк Д.М., Чобанюк В.М., Готра З.Ю., Дзундза Б.С., Матеїк Г.Д., Ткачук А.І. Фізика процесів у напівпровідниках та елементах електроніки: Курс лекцій. Івано-Франківськ:



Вид-во Прикарпатського національного університету імені Василя Стефаника, 2010. – 263 с. Доступ за адресою: <https://kfht.pnu.edu.ua/wp-content/uploads/sites/48/2019/09/book-1.pdf>

***Додаткова:***

1. Заячук Д. М. Нанотехнології і наноструктури: Навчальний посібник. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2009. Доступ за адресою: [http://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/2021/Zayachuk\\_2009\\_581.pdf](http://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/2021/Zayachuk_2009_581.pdf)
2. Поплавко Ю.М., Борисов О.В., Якименко Ю.І. Нанофізика, наноматеріали, наноелектроніка: Навчальний посібник для студ. ВНЗ. — К. : НТУУ "КПІ", 2012. Доступ за адресою: [http://me.kpi.ua/downloads/Poplavko\\_Nanophysics\\_2012.pdf](http://me.kpi.ua/downloads/Poplavko_Nanophysics_2012.pdf)