

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА

Фізичний факультет  
Кафедра загальної фізики



**РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ**

**Фізичні властивості низьковимірних систем**

Для здобувачів освітньо-наукового рівню  
Доктор філософії  
фізичного факультету

галузь знань **10 Природничі науки,**  
спеціальність **104 Фізика та астрономія .**  
освітній рівень **Доктор філософії**  
**ОНП Фізика та астрономія**

Вид дисципліни **Вибірковий компонент ОП**  
Форма навчання **денна**  
Навчальний рік **2018/2019**  
Семестр **перший**  
Кількість кредитів ECTS **4**  
Мова викладання, навчання  
та оцінювання: **українська**  
Форма заключного контролю: **іспит**

Викладач: д.ф.-м.н. проф. **Коротченков Олег Олександрович**

Пролонговано: на 2019/2020 н.р.  (Оліх О.Я.) «10»\_05\_.2019 р. №21

на 20\_\_/20\_\_ н.р. \_\_\_\_\_ (\_\_\_\_\_) «\_\_»\_\_ 20\_\_ р.

Розробник: Коротченко Олег Александрович, доктор фіз.-мат. наук, професор,  
професор кафедри загальної фізики  
(вказати авторів: ПІБ, науковий ступінь, вчене звання, посада, кафедра)

ЗАТВЕРДЖЕНО

Зав. кафедри загальної фізики



\_\_\_\_\_

(підпис)

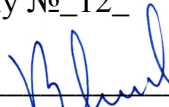
(Боровий М.О.)  
(прізвище та ініціали)

Протокол № 8 від 01.03.2018 р.

Схвалено науково - методичною комісією фізичного факультету

Протокол від «16» 04 2018 року № 12

Голова науково-методичної комісії \_\_\_\_\_



\_\_\_\_\_

(підпис)

(Зеленський С.Є.)

(прізвище та ініціали)

## ВСТУП

Навчальна дисципліна «Фізичні властивості низьковимірних систем» є складовою освітньо-наукової програми підготовки фахівців за освітньо-кваліфікаційним рівнем «доктор філософії». Дисципліна «Фізичні властивості низьковимірних систем» належить до переліку вибіркових компонентів ОП (ДВА. 3.02.08) і читається українською мовою на першому році навчання.

**1. Мета дисципліни** – оволодіння основами сучасних знань з фізики напівпровідникових низьковимірних систем через систему знань, наближених до тем дисертаційного наукового дослідження, сформувані погляди на методологію сучасних науково-практичних досліджень у цій науковій галузі, фахово застосовувати теоретичні знання, набуті упродовж навчання в професійній діяльності.

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

1. Знати

основні питання фізики напівпровідників, основи математичного аналізу, квантової механіки, а також квантової фізики конденсованого стану;

2. Вміти

самостійно працювати з джерелами навчальної та наукової інформації; самостійно навчатися й опановувати нові знання з фізики наноструктур та суміжних галузей; логічно і послідовно формулювати основні закономірності фізики наноструктур;

3. Володіти

базовими навичками самостійного пошуку потрібної інформації в друкованих та електронних джерелах, аналізувати, систематизувати, розуміти, тлумачити та використовувати її для вирішення наукових і прикладних завдань фізики напівпровідникових низьковимірних систем.

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

Навчальна дисципліна передбачає вивчення основних питань сучасної фізики напівпровідникових низьковимірних систем; ознайомлення з методологією сучасних досліджень у цій галузі. Знання, отримані при вивченні дисципліни «Фізичні властивості низьковимірних систем» є необхідною складовою успішного опанування науковою літературою за темою дисертаційного дослідження, використання сучасних експериментальних методів наукових досліджень.

**4. Завдання (навчальні цілі)** – оволодіння фізичними основами функціонування низькорозмірних напівпровідникових систем та основами напівпровідникових нанотехнологій; розуміння сутності наукового дослідження в області фізики напівпровідникових наноструктур; здатність правильно формулювати об'єкт, предмет і завдання наукового дослідження; правильно аналізувати дані докторського наукового дослідження; навчити аспірантів заглиблюватись в конкретну наукову проблему, представляти її аудиторії, вміти відстоювати набути знання і відповідати на запитання за темою дослідження.

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

Інтегральних:

Здатність розв'язувати комплексні проблеми в галузі професійної та/або дослідницько-інноваційної діяльності, що передбачає глибоке переосмислення наявних та створення нових цілісних знань та/або професійної практики.

Загальних:

- Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу (ЗК1).
- Здатність генерувати нові ідеї та застосовувати знання у практичних ситуаціях (ЗК3).
- Вміння виявляти, ставити та вирішувати проблеми (ЗК4).
- Здатність працювати в міжнародному контексті (ЗК6).
- Здатність працювати автономно та в команді (ЗК7).
- Здатність оцінювати та забезпечувати якість виконуваних робіт (ЗК10).
- Здатність діяти соціально відповідально та свідомо, нести повну відповідальність за самостійно виконану роботу (ЗК12).

Фахових:

- Вміння досліджувати електронні та коливальні процеси в кристалах та наночастинках металів і напівпровідників, включаючи процеси перенесення збуджень та їх взаємодії з електромагнітним випромінюванням (ФК3).
- Здатність застосовувати сучасні експериментальні методи дослідження та діагностики низькорозмірних систем, володіння принципами структурної побудови низькорозмірних систем (ФК6).
- Здатність застосовувати знання теорій опису фізичних властивостей низькорозмірних систем різних типів та знання фізики низькорозмірних напівпровідників (ФК7).

**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 ПРН	Результат навчання			
1.1	Знати основи методології та організації наукових досліджень.	Самостійна робота	перевірка рефератів та інших форм самостійної роботи, іспит	10
1.4	Знати особливості будови, фізичних властивостей та елементарних збуджень наноструктур, теоретичних моделей, що застосовуються для їх опису та методів експериментального дослідження.	Лекції, Самостійна робота, Практичні роботи	Опитування в процесі лекції, перевірка рефератів та інших форм самостійної роботи, Звіти про виконання практичних робіт, іспит	20
1.6	Знати принципи побудови низькорозмірних систем, сучасні експериментальні методи дослідження та діагностики низькорозмірних	Лекції, Самостійна робота, Практичні роботи	Опитування в процесі лекції, перевірка	20

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

	систем.		рефератів та інших форм самостійної роботи, Звіти про виконання практичних робіт, іспит	
2.6	Вміти застосовувати знання із функціонування та діагностики низькорозмірних напівпровідникових систем, планувати та виконувати фізичний експеримент в галузі фізики низькорозмірних напівпровідникових систем.	Самостійна робота, Практичні роботи	Перевірка рефератів та інших форм самостійної роботи, Звіти про виконання практичних робіт, іспит	10
3.1	Володіти здатністю презентувати результати своїх досліджень на наукових конференціях, семінарах, практично використовувати іноземну мову (в першу чергу - англійську) у науковій діяльності	Самостійна робота, Практичні роботи	Перевірка рефератів та інших форм самостійної роботи, Звіти про виконання практичних робіт, іспит	15
4.2.	Здійснювати моніторинг наукових джерел інформації відносно досліджуваної проблеми	Самостійна робота, Практичні роботи	Звіти про виконання практичних робіт, іспит	15
5.1.	Знати ґрунтовні знання предметної області та розуміння професії	Самостійна робота,	Звіти про виконання практичних робіт, іспит	10

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

Результати навчання дисципліни	1.1	1.4	1.6	2.6	3.1	4.2	5.1
	Програмні результати навчання						
ПРН 1.8. Знати основи фізики напівпровідникових низькорозмірних систем, явища екранування носіїв заряду, приповерхневого квантування, основи ємнісної спектроскопії, процесів саморегулювання при одержанні та дослідження напівпровідникових низькорозмірних систем, включаючи квантові ями, дроти, точки, надгратки.		+	+				
ПРН 1.10. Знати основи методології та організації наукових досліджень.	+						
ПРН 1.15. Знати експериментальні методи дослідження функціональних матеріалів.		+	+	+			
ПРН 2.1. Здійснювати основні типи спектроскопічних досліджень зразків у конденсованому стані, обробляти та аналізувати результати таких досліджень.		+					
ПРН 3.2. Формулювати висновки фізичних досліджень у формі, що відповідає можливостям сприйняття не спеціалістів.					+	+	+
ПРН.4.1. Аналізувати наукові праці, виявляючи дискусійні та мало досліджені питання;	+				+	+	+
ПРН. 5.2. Знати праці провідних вчених та фундаментальні праці у галузі дослідження, формулювати мету власного наукового дослідження.					+	+	+

## 7. Схема формування оцінки.

Контроль знань здійснюється за системою ECTS, яка передбачає дворівневе оцінювання засвоєного матеріалу, зокрема **оцінювання теоретичної підготовки** – результати навчання (знання 1.1, 1.4, 1.6), що складає 50% від загальної оцінки та **оцінювання практичної підготовки** – результати навчання (**вміння 2.6**); (**комунікація 3.1**); (**автономність та відповідальність 4.2**), (**інтегральна компетентність 5.1**), що складає 50% загальної оцінки.

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

- семестрове оцінювання:

1 виступи на практичних заняттях (мак. 5 балів, мін. 2)

2. реферати (мак. 10 балів за один, мін. 5 балів за один)

3. есе (мак. 5 балів за один, мін. 2 балів за один)

- підсумкове оцінювання (у формі іспиту)

- умови допуску до підсумкового іспиту:

*Обов'язковою умовою допуску до іспиту є відпрацювання всіх практичних робіт та написання модульної контрольної роботи. Здобувач освіти не допускається до іспиту, якщо під час семестру набрав менше ніж 20 балів.*

## 7.2. Організація оцінювання:

*Захист звітів практичних та самостійних робіт проводиться упродовж семестру.*

Виступи на практичних заняття оцінюються виходячи з компетентностей, проявлених аспірантом на основі його самостійної роботи.: здатності до автономної роботи та вміння шукати інформацію та послуговуватися нею, а також зі здатності презентувати здобуті знання та проявляти комунікативну компетентність (вести дискусію, обстоювати власні міркування, брати участь у командній роботі).

**Реферат** оцінюється, виходячи з компетентностей, проявлених аспірантом на основі його самостійної роботи.: здатності до автономної роботи та вміння шукати інформацію та послуговуватися нею. Реферат має включати план та список джерел. Теми рефератів дані в інформаційному додатку до програми, а також можуть бути сформульовані аспірантом самостійно, виходячи з програми. Використання матеріалу з різних тем заохочується додатковими балами.

Есе готується аспірантом з одного з питань програми, має невеликий обсяг (1-3 сторінки тексту). Крім засвоєної інформації, може викладати власні міркування автора з обраної теми. Може бути написано кілька есе чи рефератів.

## Шкала відповідності

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

Структура навчальної дисципліни:  
ТЕМАТИЧНИЙ ПЛАН ЛЕКЦІЙ І ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ

№ п/п	Назва лекції	Кількість годин		
		лекції	практичні заняття	С/Р
1	Тема 1. Методи отримання напівпровідникових квантово-розмірних структур. Нанолітографія. Електронно-променева літографія. Скануюча зондова нанолітографія. М'яка літографія. Нанодрук. Порівняння нанолітографічних методів. Нові області застосування нанолітографічних методів в електроніці, медичній та біотехнічній галузі, фотоніці, методах захисту навколишнього середовища та відновлювальній енергетиці.	2		5
2	Тема 2. Основні типи низькорозмірних напівпровідникових структур. Розмірне квантування та умови його спостереження. Вплив концентрації та рухливості носіїв заряду на спостереження розмірного квантування.	2	1	10
3	Тема 3. Густина станів в об'ємних напівпровідниках та в низькорозмірному випадку (2D, 1D, 0D наносистеми). Розрахунок концентрації носіїв заряду в квантових ямах та квантових дротах.	2		11
4	Тема 4. Розсіювання носіїв заряду на границях поділу у наносистемах із гетеропереходами. Обчислення ймовірності розсіювання носіїв заряду на прямокутній сходинці та на потенціальному бар'єрі.	2	1	10
5	Тема 5. Особливості переносу заряду в низькорозмірних напівпровідниках. Тунельний транспорт носіїв заряду. Формула Ландауера. T- та S-матриці. Формалізм Ландауера-Буттікера.	4		20
6	Тема 6. Особливості фононних спектрів систем зниженої розмірності. Дисперсійні залежності фононів у структурах із надгратками. Складені моди (folding modes). Моди із квантовим обмеженням. Квантовані конфайнментні оптичні моди (confinement modes) Квантовані інтерфейсні оптичні моди (interface modes).	3	1	20
7	Тема 7. Особливості переносу тепла в низькорозмірних напівпровідниках. Теплопровідність в наноструктурах напівпровідників. Квантовий транспорт тепла. Теплопровідність одно- і двовимірних нано-напівпровідниках.	3	1	20
		18	4	96

Примітка: слід зазначити теми, винесені на самостійне вивчення

**Загальний обсяг 120 год.** В тому числі:

Лекцій – **18 год.**

Практичних занять **4 год.**

Консультації - **2 год.**

Самостійна робота – **96 год.**

## РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА:

### Основна:

1. Коротченков О.О. Вступ до фізики низькорозмірних напівпровідникових систем. Властивості гетеропереходів, Київ: Бавок, 2011, 48 с.
2. Подолян А.О., Коротченков О.О. Фізика низькорозмірних напівпровідників. Генерація та рекомбінація нерівноважних носіїв заряду. Фотоелектричний ефект, Вінниця: ТОВ "Твори", 2018, 64 с.
3. Воробьев Л.Е., Голуб Л.Е., Данилов С.Н., Ивченко Л.Е., Фирсов Д.А., Шалыгин В.А. Оптические явления в полупроводниковых квантово-размерных структурах. СПб. 2000, 156 с.
4. Гридчин В.А., Драгунов В.П., Неизвестный И.Г. Основы нанoeлектроники: Учебное пособие. М.: Физматкнига. 2006, 496 с.
5. Davies J.H. The physics of low-dimensional semiconductors. Cambridge Univ. Press, 1998, 438 p.
6. Шик А.Я., Бакуева Л.Г., Мусихин С.Ф., Рыков С.А. Физика низкоразмерных систем. СПб.: Наука. 2001, 160 с.
7. Борисенко В.Е., Воробьева А.И., Уткина Е.А. Нанoeлектроника: Учебное пособие, в 3-х частях. Минск: БГУИР. 2004, 205 с.
8. [http://bookwu.net/book\\_nanoelektronika](http://bookwu.net/book_nanoelektronika)

### Додаткова:

1. Datta S. Electronic transport in mesoscopic physics. Cambridge Univ. Press, 1995, 377 p.
2. Bastard G. Wave Mechanics Applied to Semiconductor Heterostructures. Les Editions de Physique, 1991, 358 p.
3. Vimbeg D., Grundmann M., Ledentsov N.N. Quantum dot heterostructures. Wiley, 1999, 328 p.
4. Стрoшио М., Дугта М. Фононы в наноструктурах. М.: Физматлит. 2006, 320 с.
5. Александров Е.Б., Вершовский А.К. Современные радиооптические методы квантовой магнитометрии. Успехи физических наук. 2009, Т. 179, С. 605-637.
6. Gonsalves K.E., Halberstadt C.R., Laurencin C.T., Nair L.S. Biomedical nanostructures. Wiley, 2008, 516 p.
7. Дмитриев А.С. Введение в нанотеплофизику. М.: БИНОМ, 2015. – 792 с.
8. Шпак А.П., Куницький Ю.А., Коротченков О.О., Смик С.Ю. Квантові низькорозмірні системи. Київ, 2003, 312 с.
9. <http://vlp.com.ua/node/2785>
10. [http://me.kpi.ua/downloads/Poplavko\\_Nanophysics\\_2012.pdf](http://me.kpi.ua/downloads/Poplavko_Nanophysics_2012.pdf)
11. [http://karazinbook.univer.kharkov.ua/sites/default/files/fragments/azarenkov\\_-\\_kopiya.pdf](http://karazinbook.univer.kharkov.ua/sites/default/files/fragments/azarenkov_-_kopiya.pdf)