

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА

Фізичний факультет  
Кафедра загальної фізики



«ЗАТВЕРДЖУЮ»  
Декан фізичного факультету

16 05 2018 року

**РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ**

**Новітні експериментальні методи досліджень у фізиці конденсованого стану**

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	<b>обов'язкова</b>
Форма навчання	<b>очна/заочна</b>
Навчальний рік	<b>2018/2019</b>
Рік навчання	<b>другий рік</b>
Кількість кредитів ECTS	<b>4</b>
Мова викладання, навчання та оцінювання:	<b>українська</b>
Форма заключного контролю:	<b>іспит</b>

Викладачі: д.ф.-м.н., проф. **Боровий Микола Олександрович**

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

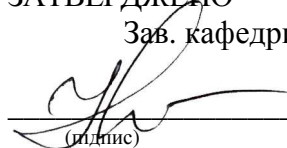
Пролонговано: на 20\_\_/20\_\_ н.р. \_\_\_\_\_ (\_\_\_\_\_)\_ «\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р. №\_\_

Пролонговано: на 20\_\_/20\_\_ н.р. \_\_\_\_\_ (\_\_\_\_\_)\_ «\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р. №\_\_

Розробники **Боровий Микола Олександрович**, д.ф.-м.н., професор, завідувач кафедри загальної фізики.

ЗАТВЕРДЖЕНО

Зав. кафедри загальної фізики

  
(підпис)

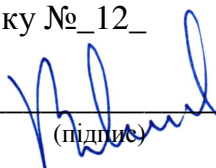
(Боровий М.О.)  
(прізвище та ініціали)

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

**1. Мета навчальної дисципліни:** отримання аспірантами сучасних знань щодо фізичних принципів та особливостей застосування новітніх методів експериментальних досліджень конденсованих систем, зокрема, наноструктур. Оволодіння сучасними методичними досягненнями у плануванні, розробці та проведенні фізичного експерименту у галузі фізики конденсованого стану для виконання власного наукового дослідження.

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

- аспірант повинен **знати:** основні закони та ключові експерименти класичної електродинаміки, оптики, атомної фізики та квантової теорії твердого тіла, а також основи математичного, векторного та тензорного аналізу, теорії функції комплексної змінної;
- аспірант повинен **вміти:** застосовувати знання з курсів експериментальної та теоретичної фізики, а також фізики твердого тіла для розв'язку задач з кристалічної будови, електронної структури та фононних спектрів об'ємних кристалів, наносистем та нанокомпозитів, експериментального визначення їх механічних електро- та теплотранспортних властивостей, оптичних та магнітних характеристик.

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

навчальна дисципліна «Новітні експериментальні методи досліджень у фізиці конденсованого стану» є складовою освітньо-наукової програми підготовки фахівців за освітньо-кваліфікаційним рівнем «доктор філософії». Дисципліна «Новітні експериментальні методи досліджень у фізиці конденсованого стану» належить до переліку вибірових компонентів освітньої-наукової програми «Фізика та астрономія» (ДВА.3) і читається українською мовою на першому році навчання. Дисципліна спрямована на формування уявлень та отримання систематичних знань про сучасні методи експериментальних досліджень у фізиці конденсованого стану, які забезпечують діагностику фізичних властивостей новітніх функціональних та конструкційних матеріалів сучасної наноелектроніки, наномеханіки та сонячної енергетики. Аналізуються можливості практичного застосування таких методів при проектуванні та розробці технологій наукоємного виробництва на основі сучасних конструкційних матеріалів.

**4. Завдання (навчальні цілі)** – засвоєння новітніх експериментальних методів дослідження наноструктур та нанокомпозитів на основі досягнень графенової наноелектроніки, стрейнтроники та сканувальної зондової мікроскопії.

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 (ЗК 1);
- навички використання новітніх інформаційних і комунікаційних технологій (ЗК 2); .
- здатність генерувати нові ідеї та застосовувати знання у практичних ситуаціях (ЗК 3);

- вміння виявляти, ставити та вирішувати проблеми (ЗК 4);
- здатність працювати в міжнародному контексті (ЗК 6);
- здатність працювати автономно та в команді (ЗК 7);
- здатність розробляти та управляти проектами (ЗК 8);
- здатність оцінювати та забезпечувати якість виконуваних робіт (ЗК 10);
- визначеність і наполегливість щодо поставлених завдань і взятих обов'язків (ЗК 11);
- здатність діяти соціально відповідально та свідомо, нести повну відповідальність за самотійно виконану роботу (ЗК 12).

**Фахових:**

- вміння, застосовуючи методики фотоніки, досліджувати електронно-коливальні, фотофізичні та фотохімічні процеси в органічних та неорганічних середовищах, включаючи нано- та біооб'єкти (ФК4);
- здатність проводити прикладні спектральні дослідження біологічних об'єктів з метою створення лікарських препаратів, ранньої фізичної діагностики, фотодинамічної терапії та інших застосувань у медицині (ФК5);
- вміння застосовувати методи термодинаміки та статистичної фізики для розв'язку
- теоретичних і практичних задач в галузі теплофізики та молекулярної фізики (фізики м'якої матерії) (ФК12);
- здатність застосовувати знання з використанням сучасних технологій для створення нових металевих сплавів з прогнозованими властивостями (ФК18);
- здатність застосовувати знання з використанням сучасних технологій для розробки високоефективних функціональних матеріалів різного призначення та створення новітніх технологій в альтернативній енергетиці (ФК19).

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

<i>Результат навчання</i>		<i>Методи викладання і навчання</i>	<i>Методи оцінювання</i>	<i>Відсоток у підсумковій оцінці з дисципліни</i>
(1. знати; 2. вміти; 3. комунікація*; 4. автономність та відповідальність*)				
<i>Код</i>	<i>Результат навчання</i>			
	<b>Знати:</b>			
1.1	фізичні принципи визначення електронної зонної структури графену, методи створення шаруватих графенових гетероструктур на різного типу підкладниках, загальні основи проектування приладів графенової наноелектроніки	<i>Лекція, самотійна робота</i>	<i>Модульна контрольна робота, опитування у процесі лекції, перевірка рефератів та інших форм самотійної роботи, іспит</i>	20
1.2	фізичні ефекти при деформаціях наношарів та гетероструктур під дією зовнішніх керуючих полів, основи деформаційної інженерії тонких магнітних плівок (магнітної стрейтроніки), принципи функціонування основних приладів	<i>Лекція, самотійна робота</i>	<i>Модульна контрольна робота, опитування у процесі лекції, перевірка рефератів та</i>	25

	стрейнтроніки		<i>інших форм самостійної роботи, іспит</i>	
1.3	фізичні принципи, призначення та точність основних типів скануючих зондових мікроскопів, зокрема, тунельного, атомно-, магнітно-, електро-силових мікроскопів, ближньопольового скануючого оптичного мікроскопу, а також можливості і межі їх застосування, основні методики реєстрації сигналів у скануючій зондовій мікроскопії та методи обробки і виправлення зондових спектрів.	<i>Практичне заняття, самостійна робота</i>	<i>Опитування в процесі практичного заняття, перевірка рефератів та інших форм самостійної роботи, іспит</i>	20
	<b>Вміти:</b>			
2.1	логічно та послідовно формулювати основні фізичні принципи формування електронної зонної структури графену та фізичні підходи при проектуванні приладів нанографенової електроніки, здійснювати математичний опис процесів, що відбуваються прикладанні керуючих магнітних та електричних полів до магнітних гетероструктур, а також процесів взаємодії зонду з поверхнею у сканувальній зондовій мікроскопії. Розв'язувати основні типи задач щодо вказаних процесів.	<i>Лекція, самостійна робота</i>	<i>Модульна контрольна робота, опитування у процесі лекції, перевірка рефератів та інших форм самостійної роботи, іспит</i>	10
2.2	планувати експериментальні дослідження атомно-просторової структури поверхні конденсованих систем, її електричних та магнітних властивостей. Оцінювати можливості створення приладів графенової наноелектроніки та стрейнтроніки з заданими фізичними параметрами. Оцінювати точність основних методів скануючої зондової мікроскопії. Самостійно працювати з науковою літературою в галузі графенової наноелектроніки, стрейнтроніки та зондової мікроскопії.	<i>Лекція, самостійна робота</i>	<i>Модульна контрольна робота, опитування у процесі лекції, перевірка рефератів та інших форм самостійної роботи, іспит</i>	10
	<b>Комунікація</b>			
3.1	Вільне спілкування з питань, що стосуються методів дослідження фізичних параметрів графенових нанокомпозитів, питань стрейнтроніки та сканувальної зондової	<i>Дискусія під час практичного заняття та захисту реферату</i>	<i>Оцінювання виступу на практичному занятті та дискусії при захисті реферату</i>	10

3.2	Використання академічної української мови при письмовому відображенні та презентації результати своїх досліджень	<i>Дискусія під час практичного заняття та перевірка реферату</i>	<i>Оцінювання виступу на практичному занятті та якості представлення матеріалу українською мовою в рефераті</i>	5
-----	--	---	---	---

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

Результати навчання дисципліни	1.1	1.2	1.3	2.1	2.2	3.1	3.2
	<b>Програмні результати навчання</b>						
ПРН 1.1. Знати основи методології та організації наукових досліджень	+	+	+			+	+
ПРН 1.2. Знати основи теорії твердого тіла та процесів взаємодії електромагнітного випромінювання з молекулами та кристалами	+	+	+	+	+		
ПРН 1.4. Знати особливості будови, фізичних властивостей та елементарних збуджень наноструктур, теоретичних моделей, що застосовуються для їх опису та методів експериментального дослідження	+	+	+	+	+		
ПРН 1.6. Знати принципи побудови низькорозмірних систем, сучасні експериментальні методи дослідження та діагностики низькорозмірних систем	+	+	+	+	+		
ПРН 1.7. Знати теоретичні методи опису процесів розсіювання рентгенівських променів та нейтронів низькорозмірними системами			+		+		
ПРН 1.8. Знати основи фізики напівпровідникових низькорозмірних систем, явища екранування носіїв заряду, приповерхневого квантування, основи емісійної 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 1.11. Знати методи отримання, особливості структури та властивості металевих систем		+	+		+		
ПРН 1.12. Знати програмні пакети для розрахунку електронної та атомної структури матеріалів				+	+		
ПРН 1.13. Знати дифракційні методи для дослідження неупорядкованих структур			+		+		
ПРН 1.14. Знати методи отримання та відповідні особливості структури та властивостей функціональних матеріалів	+	+	+		+		
ПРН 1.15. Знати експериментальні методи дослідження функціональних матеріалів	+	+	+		+		

## **7. Схема формування оцінки.**

### **7.1 Форми оцінювання студентів:**

**- семестрове оцінювання:**

**1. Модульна контрольна робота :** РН 1.1-1.3, 2.1,2.2 - 30 балів / 10 балів

**2. Опитування під час лекції та практичного заняття :** РН 1.1-1.3, 2.1,2.2, 3.1,3.2 - 10 балів / 5 балів

**3. Захист реферату :** РН 1.1-1.3, 3.1,3.2 - 20 балів / 5 балів

### **- підсумкове оцінювання: у формі іспиту**

*Підсумкова оцінка з освітнього компонента в цілому, підсумковою формою контролю за яким встановлено іспит, визначається як сума оцінок (балів) за всіма успішно оціненими результатами навчання під час семестру (оцінки нижче мінімального порогового рівня до підсумкової оцінки не додаються) та оцінки, отриманої під час іспиту.*

*Формою проведення іспиту є написання письмової роботи з подальшою усною співбесідою. Результатами навчання, які оцінюються на іспиті, є РН 1.1-3.2. Максимальна кількість балів, яка може бути отримати здобувачем освіти під час іспиту, становить 40 балів за 100 бальною шкалою.*

*Перескладання семестрового контролю з метою покращення позитивної оцінки не допускається.*

### **- умови допуску до підсумкового іспиту:**

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

### **7.2. Організація оцінювання:**

*Модульна контрольна робота 1 проводяться по завершенні 2-х тематичних лекцій з Розділів 1-3 відповідно.*

*Захист звітів просамостійну роботу та рефератів проводиться упродовж семестру.*

### **7.3 Шкала відповідності оцінок**

<b>Відмінно / Excellent</b>	90-100
<b>Добре / Good</b>	75-89
<b>Задовільно / Satisfactory</b>	60-74
<b>Незадовільно / Fail</b>	0-59

**8. СТРУКТУРА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ  
ТЕМАТИЧНИЙ ПЛАН ЛЕКЦІЙ ТА САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ**

№ п/п	Назва теми	Кількість годин		
		лекції	практичні	Самостійна робота
1	Структура енергетичних зон графена. Особливості, характерні для двомірних безмасових діраковських ферміонів. Графен як безщілинний напівпровідник з лінійним енергетичним спектром. Принципи створення графенових гетероструктур. Шаруваті гетероструктури. Вирощування надграток графену на підкладинці h-BN	2	1	8
2	Принципи керування електронною структурою твердого тіла за допомогою деформацій. Використання деформацій у нанощарах та гетероструктурах під дією електричного та магнітного полів для керування фізичними характеристиками систем. Флексоелектричний ефект та деформаційна інженерія. Композиційні матеріали магнітної стеїтроніки.	2	-	8
3	Фізичні основи сканувальної тунельної, атомно-силової, електросилової та магнітосилової мікроскопії. Будова та функціонування зондового мікроскопу. Методи вимірювань у сканувальній зондовій мікроскопії	2	1	8
4	Властивості шаруватих графенових гетероструктур з сульфідами та селенідами металів на підкладинці h-BN. Ван-дер-вальсівська епітаксія.	2	-	7
5	Латерально-наноструктуровані ван-дер-ваальсові гетероструктури, планарні гетероструктури на основі графена, «долинна» поляризація граничних станів	-	-	7
6	Прилади графенової наноелектроніки: транзистори на основі графенової луски, графенової квантової точки та графенової наносмуги	2	-	8
7	Тунельні польові транзистори на основі ван-дер-ваальсової гетероструктури. Тунельні діоди на основі графена. Світловипромінюючі діоди на основі в-д-в гетероструктур.	2	-	7
8	Органічні сегнетоелектричні графенові комірки пам'яті. Інтегральні схеми на основі графена. Батареї та суперконденсатори на основі графена. Сонячні елементи на основі нанокмполітів графен-оксиди металів.	-	-	7
9	Фізичні ефекти в магнітних наносистемах та композитах, індуковані механічними напругами. Перемикання намагніченості у наночастинках. Зміна мікромагнітної структури	2	1	8



	під дією механічних напруг			
10	Термоіндукований магнітопружний ефект у тонких феромагнітних плівках. Перетворення електричних та магнітних полів в композитних структурах	-	-	7
11	Прилади пам'яті та логіки, що перемикаються електричним полем. Датчики та перетворювачі енергії, мікродвигуни на основі деформаційних перетворювань.	2	-	7
12	Прилади обробки радіосигналів, що налаштовуються електричними полем через зміну намагніченості плівок. Нові елементи стрейтроніки: гідратори, транстори та нейроморфні елементи.	-	-	7
13	Загальні принципи та сучасні тенденції зондових нанотехнологій. Модифікація властивостей поверхні за допомогою СТМ/АСМ/МСМ.	2	-	8
	<i>Підсумкова модульна контрольна робота</i>		1	
	<b>ВСЬОГО</b>	<b>18</b>	<b>4</b>	<b>96</b>

Примітка: слід зазначити теми, винесені на самостійне вивчення

**Загальний обсяг 120 год.**, у тому числі:

Лекції – **18 год.**

Семінари – **0 год.**

Практичні заняття – **4 год.**

Лабораторні заняття – **0 год.**

Консультації - **2\_ год.**

Самостійна робота – **96 год.**

## РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА:

*Основна: (Базова)*

1. E. F. Sheka, N. A. Popova and V. A. Popova. Physics and chemistry of graphene: Emergentness, magnetism, mechanophysics and mechanochemistry. Physics-USpekhi, V. 61, N.7. DOI: <https://doi.org/10.3367/UFNe.2017.11.038231>
2. A. A. Bukharaev, A. K. Zvezdin, A. P. Pyatakov and Y. K. Fetisov. Straintronics: a new trend in micro- and nanoelectronics and materials science. Physics-USpekhi, V.61, N. 12, DOI: <https://doi.org/10.3367/UFNe.2018.01.038279>
3. Liu M Controlled Synthesis and Scanning Tunneling Microscopy Study of Graphene and Graphene-Based Heterostructures (New York: Springer, 2018)
4. Dragoman M, Dragoman D 2D Nanoelectronics: Physics and Devices of Atomically Thin Materials (NanoScience and Technology) (Cham: Springer, 2017).
5. Srinivasan G, Priya S, Sun N Composite Magnetoelectrics. Materials, Structures, and Applications (Boston, MA: Elsevier, 2015)
6. Yihong W, Zexiang S, Ting Y (Eds) Two-Dimensional Carbon. Fundamental Properties, Synthesis, Characterization, and Applications (Stanford: Taylor and Francis, 2014)
7. Zabel H, Farle M (Eds) Magnetic Nanostructures. Spin Dyand Spin Transport (Berlin: Springer-Verlag, 2013)

8. Ratnikov P V "Concept for planar graphene integrated circuits", in Graphene Conf. From Research to Application, April 10 ÷ 13, 2012, Brussels, Belgium (London: NPL, 2012)
9. Е.Г. Дедкова, А.А Чуприк, И.И. Бобринецкий, В. К. Неволин. Приборы и методы зондовой микроскопии. Учебное пособие. М.: МФТИ, 2011, 160 с.
10. И.И. Бобринецкий, В. К. Неволин. Зондовая микроскопия в нанотехнологии. М.: Из-во МИСИ, 2008, 132 с.
11. В.Л. Миронов. Основы сканирующей зондовой микроскопии. М.: Техносфера, 2004, 143 с.

*Додаткова:*

12. Tiwari A, Shukla S K (Eds) Advanced Carbon Materials and Technology (Beverly: Scrivener Publ., 2014)
13. Gong J R (Ed.) Graphene. Synthesis, Characterization, Properties, and Applications (Zagreb: InTech, 2011)
14. Georgakilas V (Ed.) Functionalization of Graphene (Weinheim:Wiley-VCH, 2014)
15. В.А. Быков, М.И. Лазарев, С.А. Саунин - Сканирующая зондовая микроскопия для науки и промышленности. М.: //Электроника: наука, технология, бизнес, 1997, № 5, стр. 7 - 14.
16. А.П.Володин. Новое в сканирующей микроскопии. // Приборы и техника эксперимента, 1998, № 6, стр. 3 - 42.
17. Scanning probe microscopy and spectroscopy: methods and applications byRoland Wiesendanger Cambridge University Press, 1994 ISBN 0521428475, 9780521428477.
18. Scanning Probe Microscopy - Analytical Methods by Roland Wiesendanger, Springer, 1998 ISBN 3540638156, 9783540638155.
19. Scanning Probe Microscopy and Spectroscopy : Theory, Techniques, and Applications by Dawn Bonnell (Editor), Wiley-VCH, 2000.
20. Scanning Probe Microscopy: The Lab on a Tip by Ernst Meyer ,Hans Josef Hug, Roland Bennewitz, Springer-Verlag, 2003, ISBN: 3540431802.