

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА

Фізичний факультет

Кафедра експериментальної фізики



**РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ**

**Фізичні властивості низькорозмірних систем**

для аспірантів

галузь знань 10 Природничі науки  
(шифр і назва)  
спеціальність 104 Фізика та астрономія  
(шифр і назва спеціальності)  
освітній рівень доктор філософії  
(молодший бакалавр, бакалавр, магістр, доктор філософії)  
освітня програма Фізика та астрономія  
(назва освітньої програми)  
  
(за наявності) (назва спеціалізації)  
вид дисципліни вибіркова

Форма навчання	<u>очна</u>
Навчальний рік	<u>2018 /2019</u>
Семестр	<u>2</u>
Кількість кредитів ECTS	<u>4</u>
Мова викладання, навчання та оцінювання	<u>українська</u>
Форма заключного контролю	<u>іспит</u>

Викладач: професор Дмитрук Ігор Миколайович

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

Пролонговано: на 2019/2020 н.р. \_\_\_\_\_ (Оліх О.Я.) «10» 05 2019 р. №21  
(підпис, ПІБ, дата)

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

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


**КИЇВ – 2018**

Розробники: Дмитрук Ігор Миколайович, доктор фіз.-мат. наук, професор,

*(вказати авторів: ПІБ, науковий ступінь, вчене звання, посада, кафедра)*

ЗАТВЕРДЖЕНО

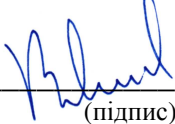
Зав. кафедри експериментальної фізики

  
\_\_\_\_\_ (Ящук В.М.)  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Протокол № 6 від « 22 » 02 2018 р.

Схвалено науково - методичною комісією фізичного факультету

Протокол від «\_16\_» \_\_\_04\_\_\_\_\_ 2018 року №\_12\_

Голова науково-методичної комісії \_\_\_\_\_ (Зеленський С.Є.)  
 (підпис) (прізвище та ініціали)

## ВСТУП

**1. Мета дисципліни** – отримання систематичних знань з розділу фізики, що вивчає основні властивості наноструктур. Ознайомлення з основними теоретичними та експериментальними методами дослідження наноструктур. Розуміння теоретичних основ методів розрахунку енергетичних параметрів та характеристик наноструктур, вміння застосовувати ці методи у науковій роботі.

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

1. знання методів класичної електродинаміки, оптики, квантової механіки, експериментальні та теоретичні методи спектроскопії кристалів та молекулярної спектроскопії.
2. уміння кількісно аналізувати та інтерпретувати спектральну інформацію, отриманої зі спектрів поглинання, розсіяння та фотолюмінесценції, робити висновки про домінуючі фізичні механізми, що визначають оптичні спектри досліджуваних систем; використовувати теоретичні аналітичні методи та методи комп'ютерного моделювання для розрахунків електронних оптичних спектрів наноструктур.

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

Дисципліна «Фізичні властивості нанорозмірних систем» належить до переліку дисциплін вільного вибору аспіранта. Внаслідок їх унікальних фізичних властивостей нанорозмірні структури займають на сьогодні суттєву нішу як у фундаментальних дослідженнях, так і в ряді прикладних та технологічних застосувань. У курсі буде розглянуто фізичні принципи аналізу властивостей нанорозмірних систем та стан сучасних досліджень та застосувань наноструктур у електроніці, фотоніці, лазерній техніці. Методи викладання: лекції, консультації, практичні заняття. Методи оцінювання: опитування під час лекцій, контрольні роботи після основних розділів курсу, іспит. Підсумкова оцінка виставляється на основі проміжних оцінок (60%) та іспиту (40%).

### **4. Завдання (навчальні цілі).**

В результаті вивчення навчальної дисципліни аспірант повинен

**знати:** Класифікацію наноструктур та їх основні характеристики. Властивості елементарних збуджень наноструктур, квантово-розмірний ефект на електронах, дірках, екситонах, фононах, плазмонах. Методи приготування та дослідження наноструктур. Особливості електронних процесів у наноструктурах. Типи різних наноструктур та галузі їх практичного застосування.

**вміти:** Виконувати квантово-механічні розрахунки енергетичного спектру електронів у наноструктурах. Застосовувати методи теорії груп для симетричного аналізу коливних станів кристалів та кількісних розрахунків коливальних та електронних станів наноструктур в подальшій науково-дослідницькій чи інженерній роботі.

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

*інтегральної:*

Здатність розв'язувати комплексні проблеми в галузі професійної та/або дослідницько-інноваційної діяльності, що передбачає глибоке 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 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).
- Визначеність і наполегливість щодо поставлених завдань і взятих обов’язків (ЗК 11).

*фахових:*

- Здатність виконувати обчислювальні експерименти, використовувати чисельні методи для розв’язування фізичних та астрономічних задач і моделювання фізичних систем (ФК1).
- Вміння досліджувати електронні та коливальні процеси в кристалах та наночастинках металів і напівпровідників, включаючи процеси перенесення збуджень та їх взаємодії з електромагнітним випромінюванням (ФК3).
- Вміння, застосовуючи методики фотоніки, досліджувати електронно-коливальні, фотофізичні та фотохімічні процеси в органічних та неорганічних середовищах, включаючи нано- та біооб’єкти (ФК4).
- 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).
- Здатність використовувати знання й уміння в галузі практичного використання комп’ютерних технологій для дослідження низькорозмірних систем (ФК8).
- Здатність проводити фундаментальні та прикладні наукові дослідження з використанням сучасних експериментальних та теоретичних методів в галузі оптики і лазерної фізики (ФК13).
- Здатність до пошуку, обробки та аналізу інформації, розробка і впровадження інформаційних систем, використання сучасних програмних пакетів для розрахунку електронної та атомної структури матеріалів (ФК16).
- Здатність застосовувати знання з використанням сучасних методів квантово-хімічних розрахунків та програмних пакетів для встановлення механізмів взаємодії та енергетичного обміну молекулярних систем (ФК20).

## 5. Результати навчання за дисципліною:

<i>Результат навчання</i> (1. знати; 2. вміти; 3. комунікація*; 4. автономність та відповідальність*)		<i>Методи викладання і навчання</i>	<i>Методи оцінювання</i>	<i>Відсоток у підсумковій оцінці з дисципліни</i>
Код	Результат навчання			
1	1.1.Класифікацію наноструктур. Основні характеристики: кількість атомів, періодичність. Нано- та мікрочастинки, кластери, молекули, квантові точки, штучні атоми.	<i>Лекції</i>	<i>контрольна робота, перевірка рефератів, самостійна робота, іспит</i>	10
	1.2.Фізичні методи приготування наноструктур. Самоорганізація Хімічні методи вирощування наночастинок, їх стабілізація	<i>Лекції</i>	<i>контрольна робота, іспит</i>	10
	1.3.Визначення розмірів, форми, структури та хімічного складу наночастинок. Просвічуючий та	<i>Лекції</i>	<i>контрольна робота, самостійна</i>	10

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

	скануючий електронний мікроскоп, скануючий тунельний мікроскоп, мікроскоп атомних сил, скануючий оптичний мікроскоп ближнього поля.		<i>робота, іспит</i>	
	1.4.Мас-спектроскопію. Кластери. Магічні числа. Заповнення оболонки. Методи дослідження структури наночастинок.	<i>Лекції, практичні заняття</i>	<i>контрольна робота, перевірка рефератів, перевірка практичних завдань іспит</i>	20
2	2.1.Енергетичний спектр носіїв заряду в наночастинках. Одновимірні потенціальні ями. Кубічна потенціальна яма Сферична потенціальна яма Порівняння з експериментальними даними.	<i>Лекції</i>	<i>контрольна робота, перевірка рефератів, іспит</i>	10
	2.2.Спектри поглинання та фотолюмінесценції ансамблів наночастинок Спектроскопія окремих наночастинок. Колективні збудження наночастинок.	<i>Лекції, практичні заняття</i>	<i>контрольна робота, перевірка рефератів, перевірка практичних завдань іспит</i>	20
	2.3.Комбінаційне розсіяння світла в наночастинках. Квантово-розмірний ефект на фононах. Металеві наночастинки. Плазмони. Квантово-розмірний ефект на плазмонах.	<i>Лекції</i>	<i>контрольна робота, іспит</i>	10
	2.4.Приклади наночастинок різних типів. Вуглецеві фулерени та нанотрубки. Ендофулерени Невуглецеві фулерени та інші наночастинок-молекули.	<i>Лекції</i>	<i>контрольна робота, практичні заняття, іспит</i>	10

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

<b>Результати навчання дисципліни</b> <b>Програмні результати навчання</b>	<b>1.1</b>	<b>1.2</b>	<b>1.3</b>	<b>1.4</b>	<b>2.1</b>	<b>2.2</b>	<b>2.3</b>	<b>2.4</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 1.3. Знати основи теорії та методики експериментальних досліджень елементарних збуджень молекул, кристалів та наночастинок.		+			+		+	
ПРН 1.4. Знати особливості будови, фізичних властивостей та елементарних збуджень наноструктур, теоретичних моделей, що застосовуються для їх опису та методів експериментального дослідження.					+			
ПРН 1.5. Знати основи методології та організації наукових досліджень.	+							
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 ємнісної спектроскопії, процесів саморегулювання при одержанні та дослідження напівпровідникових низькорозмірних систем, включаючи квантові ями, дроти, точки, надгратки.					+			
ПРН 1.9. Знати загальні методи представлення та передачі інформації та основні способи побудови локальних мереж та методи поєднання їх між собою.								
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.									
ПРН 1.16. Знати методи квантово-хімічних розрахунків.								+	+
ПРН 2.1. Здійснювати основні типи спектроскопічних досліджень зразків у конденсованому стані, обробляти та аналізувати результати таких досліджень.								+	+
ПРН 2.2. Застосовувати наявні та створювати нові теоретичні моделі для опису процесів взаємодії електромагнітного випромінювання з молекулами, кристалами та наночастинками.								+	
ПРН 2.3. Здійснювати розрахунки енергетичного спектру електронних та коливальних елементарних збуджень молекул, кристалів та наночастинок.								+	+
ПРН 2.4. Вміти формулювати фізичні принципи дифракції рентгенівських променів та нейтронів низькорозмірними системами; планувати та виконувати експеримент в галузі дослідження низькорозмірних систем.									
ПРН 2.5. Вміти оцінювати точність основних експериментальних методів спостереження дифракції рентгенівських променів та нейтронів низькорозмірними та нанорозмірними системами.									
ПРН 2.6. Вміти застосовувати знання із функціонування та діагностики низькорозмірних напівпровідникових систем, планувати та виконувати фізичний експеримент в галузі фізики низькорозмірних напівпровідникових систем.									+
ПРН 2.7. Володіти методами кодування та стиснення даних, вміти визначати основні характеристики									

найпоширеніших технологій локальних мереж та критерії вибору маршруту доправлення пакетів.								
ПРН 2.8. Вміти обирати відповідні програмні пакети для розрахунків фізичних властивостей низькорозмірних систем.					+	+		+
ПРН 2.9. Вміти оцінювати точність основних експериментальних методів спостереження дифракції рентгенівських променів.								
ПРН 2.10. Вміти встановлювати зв'язки між особливостями структури та властивостями металевих систем.								
ПРН 2.11. Вміти обирати відповідні програмні пакети для наукових розрахунків.						+		
ПРН 2.12. Вміти застосовувати квантово-хімічні розрахунки для органічних молекулярних систем.								
ПРН 2.13. Вміти проводити дослідження будови, конформації, електронних, коливних, фізико-механічних, радіаційних, радіобіологічних, радіоекологічних властивостей функціональних матеріалів.								



## 7. Схема формування оцінки

### 7.1 Форми оцінювання студентів:

– семестрове оцінювання:

1. контрольна робота 1 (10 балів).
2. контрольна робота 2 (10 балів).
3. Реферати (10 балів)
4. Опитування в процесі лекції (10 балів).
5. Виконання практичних завдань (10 балів).
6. Самостійна робота (10 балів).

– **підсумкове оцінювання у формі іспиту:** на іспиті максимально можна отримати 40 балів.

– **умови допуску до іспиту:** обов'язково здати 2 реферати на теми, запропоновані викладачем, отримати протягом семестру за лекції та практичні заняття не менше 36 балів.

### 7.2 Організація оцінювання:

Контроль здійснюється за рейтинговою системою. Система оцінювання знань включає поточний та підсумковий контроль знань. Результати навчальної діяльності студентів оцінюються за 100-бальною шкалою. Форми поточного контролю: оцінювання контрольних робіт, рефератів, усних відповідей під час лекції, письмових та усних самостійних завдань. Студент може отримати максимально 60 балів за оцінювання реферату, усних відповідей під час лекції, письмових та усних самостійних завдань. Поточний контроль: 2 контрольні роботи, за які студент може отримати максимально 20 балів (по 10 балів за кожну роботу). Підсумковий семестровий контроль проводиться у формі іспиту, під час якого студент може отримати максимально 40 балів. При звіті за кожну семестрову форму контролю (контрольні роботи, реферати та звіти про самостійну роботу) знань студент має набрати мінімум 60% від максимальної кількості балів, інакше він отримує за цю форму контролю 0 балів.

### 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
<b>Зараховано / Passed</b>	60-100
<b>Не зараховано / Fail</b>	0-59

**8. Структура навчальної дисципліни. Тематичний план лекцій, лабораторних робіт та самостійної роботи**

№ п/п	Назва теми	Кількість годин		
		Лекції	Практичні заняття	Самостійна робота
<b><i>Частина 1. Класифікація та методи дослідження наноструктур</i></b>				
1	Вступ. Передумови виникнення та перспективи розвитку фізики наноструктур Класифікація наноструктур. Основні характеристики: кількість атомів, періодичність. Нано- та мікрочастинки, кластери, молекули, квантові точки, штучні атоми. Фізичні методи приготування наноструктур. Самоорганізація Хімічні методи вирощування наночастинок, їх стабілізація	3		12
2	Визначення розмірів, форми, структури та хімічного складу наночастинок Мікроскопія: просвічуючий та скануючий електронний мікроскоп, скануючий тунельний мікроскоп, мікроскоп атомних сил, скануючий оптичний мікроскоп ближнього поля. Мас-спектроскопія. Кластери. Магічні числа. Заповнення оболонок Методи дослідження структури наночастинок.	2		12
3	Енергетичний спектр носіїв заряду в наночастинках. Одновимірна потенціальна яма. Кубічна потенціальна яма Сферична потенціальна яма Порівняння з експериментальними даними. Відхилення від методу ефективної маси. Тунельна спектроскопія. Тунелювання окремих електронів. Кулонівська блокада	2		12
<i>Контрольна робота 1</i>				
<b><i>Частина 2. Приклади наноструктур різних типів</i></b>				
4	Екситони в наночастинках. Врахування кореляційної та обмінної взаємодії Спектри поглинання та фотолюмінесценції ансамблів наночастинок Спектроскопія окремих наночастинок. Колективні збудження наночастинок.	3	2	12
5	Комбінаційне розсіяння світла в наночастинках. Квантово-розмірний ефект на фононах. Металеві наночастинки. Плазмони. Квантово-розмірний ефект на плазмонах.	2		12
6	Практичне застосування наноструктур. Молекулярна та наноелектроніка. Квантові обчислення Лазери на квантових точках. Фотохімічні перетворення за участю наночастинок. Каталіз та фотокаталіз	2	2	12
7	Приклади наночастинок різних типів. Вуглецеві	2		12

	фулерени та нанотрубки. Ендофулерени Невуглецеві фулерени та інші наночастинки- молекули.			
8	Кластери. Щільність упаковки. Квазікристали Надстабільні нанокластери сполук $A_{II}B_{VI}$ . Їх структура та фотохімічні властивості	2		12
	<i>Контрольна робота 2</i>			
	<b>ВСЬОГО</b>	<b>18</b>	<b>4</b>	<b>96</b>

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

Лекції – **18 год.**

Практичні заняття – **4 год.**

Самостійна робота – **96 год.**

Консультації - **2 год.**

## 9. Рекомендовані джерела:

### *Основна (Базова):*

1. Ландау, Лифшиц, “Квантовая механика. Нерелятивистская теория”.
2. T.P.Martin “Shells of atoms”, Physics Reports, 273, 1996, 199-241.
3. A.I.Ekimov, A.I.L.Efros, A.A.Onushchenko, “Quantum size effect in semiconductor microcrystals”, Solid State Communications, 56 (1985), 921-924.
4. М.А. Ельяшевич. Атомная и молекулярная спектроскопия, М.,1962.
5. Дж.Эллиот, П.Добер. Симметрия в физике (т.1,2).

### *Додаткова:*

1. Р.Нокс, А.Голд. Симметрия в твердом теле. М.,1970.
2. Ю.Сиротин, М.Шаскольская. Основы кристаллофизики. М., 1979.
3. “Экситоны”, под. ред. Э.И. Рашба и М.Д. Стерджа, М., Наука, 1985.
4. В.Л. Бонч-Бруевич, С.Г. Калашников, “Физика полупроводников”, М., Наука, 1990.
5. V.Alperson, I.Rubinstein, G.Hodes, D.Porath, O.Millo “Energy level tunneling spectroscopy and single electron charging in individual CdSe quantum dots”, Applied Physics Letters, 75, 1999, 1751-1753.
6. P.W.Fowler, T.Heine, D.Mitchell, R.Schmidt, G.Seifert “Boron-nitrogen analogues of the fullerenes: The isolated-square rule”, J. Chem. Soc., Faraday Trans., 1996, 92, 2197-2201.
7. M.G.Bawendi, A.R.Kortan, M.L.Steigerwald, L.E.Brus “X-ray structural characterization of larger CdSe semiconductor clusters”, J. Chem. Phys. 91, 1989, 7282-7290.
8. S.A.Empedocles, D.J.Norris, M.G.Bawendi “Photoluminescence spectroscopy of single CdSe nanocrystallite quantum dots”, Phys. Rev. Lett., 77, 1996, 3873-3876.
9. А.В.Елецкий “Углеродные нанотрубки и их эмиссионные свойства”, УФН, 2002, 172, №4.
10. N.N.Ledentsov “Quantum dot lasers: the birth and future trends”, Физка и техника полупроводников, 1999, 33, 1039-1043.