

Державний вищий навчальний заклад  
«Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника»

Кафедра фізики і хімії твердого тіла

Проректор \_\_\_\_\_  
" 15 " \_\_\_\_\_ 09 \_\_\_\_\_ 20 16 р.

"ЗАТВЕРДЖУЮ"



## РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

### Наноструктури і нанотехнології

(шифр і назва навчальної дисципліни)

галузь знань \_\_\_\_\_ 10 природничі науки \_\_\_\_\_

(шифр і назва напрямку підготовки)

спеціальність \_\_\_\_\_ 105 прикладна фізика та наноматеріали \_\_\_\_\_

(шифр і назва спеціальності)

спеціалізація \_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_

(назва спеціалізації)

факультет \_\_\_\_\_ фізико-технічний \_\_\_\_\_

(назва інституту, факультету)

Робоча програма

“ Наноструктури і нанотехнології ”

(назва навчальної дисципліни)

для студентів за спеціальністю \_\_\_\_\_ 105 прикладна фізика та наноматеріали  
„ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_, 20\_\_ р. – \_\_ с.

Розробники: (вказати авторів, їхні посади, наукові ступені та вчені звання)

Никируй Любомир Іванович, доцент кафедри фізики і хімії твердого тіла,  
кандидат фізико - математичних наук, доцент.

Робоча програма затверджена на засіданні кафедри Фізики і хімії твердого тіла

Протокол від “ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2016 р. № \_\_\_\_\_

Завідувач кафедри Фізики і хімії твердого тіла

\_\_\_\_\_ (Прокопів В.В. )  
(підпис) (прізвище та ініціали)

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2016 р.

Схвалено методичною комісією факультету, інституту.

Протокол від “ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2016 р. № \_\_\_\_\_

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2016 р.

Голова \_\_\_\_\_ (Яцура М.М.)  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Ó Никируй Л.І., 2016 рік  
ÓДВНЗ «Прикарпатський  
національний університет імені  
Василя Стефаника», 2016 рік

## 1. Опис навчальної дисципліни

Найменування показників	Галузь знань, напрям підготовки, освітньо-кваліфікаційний рівень	Характеристика навчальної дисципліни	
		денна форма навчання	заочна форма навчання
Кількість кредитів – 2	Галузь знань: <u>10 природничі науки</u> _____ (шифр і назва)	Нормативна (за вибором)	
Модулів – 1	Спеціальність: <u>105 прикладна фізика та наноматеріали</u>	<b>Рік підготовки:</b>	
Змістових модулів – 2		3-й	_____ -й
Індивідуальне науково-дослідне завдання		<b>Семестр</b>	
Загальна кількість годин - 60		5-й	_____ -й
Тижневих годин для денної форми навчання: <u>2</u>  аудиторних – <u>2</u> самостійної роботи студента – <u>4</u>	Освітньо-кваліфікаційний рівень: <u>бакалавр</u>	<b>Лекції</b>	
		10 год.	__ год.
		<b>Практичні, семінарські</b>	
		__ год.	__ год.
		<b>Лабораторні</b>	
		10 год.	__ год.
		<b>Самостійна робота</b>	
		40 год.	__ год.
<b>Індивідуальні завдання:</b>			
__ год.			
Вид контролю: <u>залік</u>			

Співвідношення кількості годин аудиторних занять до самостійної і індивідуальної роботи становить:

для денної форми навчання – 0,5

для заочної форми навчання –

## 2. Мета та завдання навчальної дисципліни

**Мета курсу:** Інтерес до створення структур із розмірами елементів у області нанометрів і великою густиною таких елементів ( $\sim 10^{11}$ - $10^{12}$  см<sup>-2</sup>) проявився у 90-х рр. минулого століття у зв'язку з виявленням у таких системах квантово-розмірних ефектів. У зв'язку із цим для студентів фізичних спеціальностей вводиться окремий курс „Наноструктури і нанотехнології”.

**Метою викладання дисципліни** є ознайомлення студентів з новими можливостями сучасної фізики, зокрема, матеріалознавства, завдяки переходу від макро- спочатку до мікро-, а тепер і до наносвіту. У курсі розглянуті питання, які тосуються класифікації наноматеріалів, методів їх отримання, дослідження, а також розглянуто існуючі та перспективні напрямки практичного застосування матеріалів нанорозмірів.

Курс дозволяє розширити світогляд студента та виробити навички для самостійної роботи.

### **Завдання курсу:**

У результаті вивчення курсу студент має набути таких компетенцій: знання про класифікацію та поділ напівпровідникових квантових структур на нульвимірні, одновимірні та двовимірні; основні фізичні явища та особливості перебудови енергетичного спектру в низькорозмірних напівпровідникових системах; особливості прояву квантово-розмірних ефектів в нульвимірних, одновимірних та двовимірних структурах; явище квантування енергетичного спектру електронів в сильних магнітних полях як в об'ємних напівпровідниках, так і в двовимірних системах; оптичні процеси за участю екситонних збуджень в квантових точках різного радіуса; основні технологічні методи одержання квантових шарів, нанониток, наночастинок та надграток; класифікацію напівпровідникових надграток та їхні фізичні властивості; можливості практичного застосування напівпровідникових квантових структур і надграток в опто-, мікро-, наноелектроніці та сучасних технологіях.

У результаті вивчення дисципліни студенти повинні:

### **знати**

- існуючу класифікацію наноматеріалів;
- основні принципи практичного отримання нанорозмірних матеріалів;
- фізичну суть сучасних методів дослідження наноматеріалів;
- властивості, технологічні аспекти отримання та застосування окремих класів наноматеріалів, зокрема, фулеренів;
- основні закони теоретичного опису наноструктур та аналізу їх властивостей.

### **вміти**

- використовувати отриманні знання для розв'язання сучасних задач;
- прогнозувати підходи щодо отримання новітніх матеріалів із наперед заданими фізичними властивостями;
- практично застосовувати свої знання щодо оптимізації фізичних властивостей базових матеріалів сучасної електроніки при пониженні їх розмірності;
- уміти користуватися набутими знаннями при розгляді різноманітних практичних задач;

- самостійно підготувати та зробити доповідь по сучасному стану нанорозмірного матеріалознавства, використовуючи самостійний літературний пошук.

### **3. Програма навчальної дисципліни**

#### **Змістовий модуль 1. Класифікація та властивості наноматеріалів**

- Тема 1.** „Квантові точки, квантові нитки, квантові стінки”.
- Тема 2.** „Класифікація наноматеріалів. Віскери, високотемпературні надпровідники. Фотонні кристали. Нанотрубки”
- Тема 3.** „Розмірні ефекти, квантово-розмірні ефекти”
- Тема 4.** „ Фізичні основи квантово-розмірних структур”
- Тема 5.** „Густина станів у низькорозмірних системах”
- Тема 6.** „Алмази і алмазоподібні матеріали”
- Тема 7.** „Технологія алмазів і алмазоподібних матеріалів”
- Тема 8.** „Фулерени і матеріали на їх основі. Вуглецеві нанотрубки ”
- Тема 9.** „Фрактали у фізиці твердого тіла”
- Тема 10.** „Моно- і мультифрактали. Фрактальні агрегати ”

#### **Змістовий модуль 2. Прикладні аспекти нанотехнологій**

- Тема 11.** „Методи синтезу наноматеріалів”
- Тема 12.** „Отримання напівпровідникових наноматеріалів: літографія, епітаксія”
- Тема 13.** „Самоорганізація та самозбірка у нанотехнологіях. Основні властивості самоорганізованих систем”.
- Тема 14.** „Використання самоорганізації в нанотехнологіях”
- Тема 15.** „Методи хімічного збирання поверхневих наноструктур”
- Тема 16.** „Отримання гетероструктур з квантовими точками”
- Тема 17.** „Методи отримання вуглецевих наноматеріалів”
- Тема 18.** „Дослідження топографії поверхні твердих тіл методом атомно-силової мікроскопії в контактному режимі”
- Тема 19.** „Дослідження топографії поверхні твердих тіл методом атомно-силової мікроскопії в безконтактному режимі”
- Тема 20.** „Принцип роботи і будова електронного просвічуючого мікроскопа у вивченні структури твердих тіл”
- Тема 21.** „Практичне застосування наноматеріалів. Одноелектронний транзистор. Квантовий комп’ютер”
- Тема 22.** „Гетероструктури – основа сучасних напівпровідникових технологій”
- Тема 23.** „Гетероструктури з квантовими ямами і над ґратками. Самоорганізація наночастинок”

#### 4. Структура навчальної дисципліни

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин											
	денна форма						заочна форма					
	усього	у тому числі					усього	у тому числі				
		л	п	лаб	інд	с.р		л	п	лаб	інд	с.р
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
<b>Модуль 1</b>												
<b>Змістовий модуль 1. Фізика низько вимірних структур</b>												
Тема 1. Квантові точки, квантові нитки, квантові стінки	2	1				1						
Тема 2. Класифікація наноматеріалів. Віскери, високотемпературні надпровідники. Фотонні кристали. Нанотрубки	1					1						
Тема 3. Розмірні ефекти, квантово-розмірні ефекти	2	1				1						
Тема 4. Фізичні основи квантово-розмірних структур	2	1				1						
Тема 5. Густина станів у низькорозмірних системах	2					2						
Тема 6. Алмази і алмазоподібні матеріали	3	1				2						
Тема 7. Технологія алмазів і алмазоподібних матеріалів	6			4		2						
Тема 8. Фулерени і матеріали на їх основі. Вуглецеві нанотрубки	3	1				2						
Тема 9. Фрактали у фізиці твердого тіла	2					2						
Тема 10. Моно- і мультифрактали. Фрактальні агрегати	2					2						
Разом за змістовим модулем 1	25	5		4		16						
<b>Змістовий модуль 2. Прикладні аспекти нанотехнологій</b>												
Тема 11. Методи синтезу наноматеріалів	2	1				1						
Тема 12. Отримання напівпровідникових наноматеріалів: літографія, епітаксія	7	1		4		2						

Тема 13. Самоорганізація та самозбірка у нанотехнологіях. Основні властивості самоорганізованих систем	3	1				2						
Тема 14. Використання самоорганізації в нанотехнологіях	2					2						
Тема 15. Методи хімічного збирання поверхневих наноструктур	2					2						
Тема 16. Отримання гетероструктур з квантовими точками	2					2						
Тема 17. Методи отримання вуглецевих наноматеріалів	2					2						
Тема 18. Дослідження топографії поверхні твердих тіл методом атомно-силовий мікроскопії в контактному режимі	4			2		2						
Тема 19. Дослідження топографії поверхні твердих тіл методом атомно-силовий мікроскопії в безконтактному режимі	2					2						
Тема 20. Принцип роботи і будова електронного просвічуючого мікроскопа у вивченні структури твердих тіл	2					2						
Тема 21. Практичне застосування наноматеріалів. Одноелектронний транзистор. Квантовий комп'ютер	3	1				2						
Тема 22. Гетероструктури – основа сучасних напівпровідникових технологій	2					2						
Тема 23. Гетероструктури з квантовими ямами і надгратками.	2	1				1						

Самоорганізація наночастинок												
Разом за змістовим модулем 2	35	5		6		24						
<b>Усього годин</b>	<b>60</b>	<b>10</b>		<b>10</b>		<b>40</b>						

### 5. Теми лабораторних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Технологія алмазів і алмазоподібних матеріалів	4
2	Отримання напівпровідникових наноматеріалів епітаксійними методами	4
3	Дослідження топографії поверхні твердих тіл методом атомно-силовий мікроскопії в контактному режимі	2

### 6. Самостійна робота

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1.	Енергетичні характеристики квантових точок, ниток, стінок	3
2.	Застосування фотонних кристалів	2
3.	Статистика у d-вимірному електронному газі	3
4.	Густина станів у низькорозмірних системах	3
5.	Алмази і алмазоподібні матеріали	3
6.	Історія відкриття фулеренів	2
7.	Фрактали у фізиці твердого тіла	2
8.	Моделювання і використання фрактальних агрегатів	2
9.	Методи синтезу наноматеріалів	3
10.	Отримання напівпровідникових наноматеріалів: літографія, епітаксія	3
11.	Самоорганізація та самозбірка у нанотехнологіях	3
12.	Основні властивості самоорганізованих систем	2
13.	Методи хімічного збирання поверхневих наноструктур	2
14.	Отримання гетероструктур з квантовими точками	3
15.	Методи отримання вуглецевих наноматеріалів	2
16.	Напівпровідникові гетероструктури	2
	<b>Разом</b>	<b>40</b>

### 7. Методи навчання

Лекції, лабораторні заняття. На лекційних заняттях заплановано використання мультимедійної техніки.

### 8. Методи контролю

Навчальна дисципліна „Наноструктури та нанотехнології” оцінюється за модульно-рейтинговою системою. Результати навчальної діяльності студентів оцінюються за 100-бальною шкалою.

Залік виставляється у рейтинговій формі за результатами оцінювання студента протягом семестру.

У курсі заплановано виконання 3 лабораторні роботи, які оцінюються у 15 (Т7), 20 (Т12) і 15 (Т18) балів, відповідно. Максимально можна отримати при цьому – 50 балів.

Ще 50 балів студент може отримати за роботою при вивченні змістових модулів: 20 балів за перший змістовий модуль і 30 балів за другий.

У межах змістовних модулів передбачається теоретичний розгляд питань та проведення колоквиуму.

Форми поточного контролю: усне опитування матеріалу, який розглядався під час лекційних занять, оцінювання вивчення матеріалу, винесеного на самостійне опрацювання.

## 9. Розподіл балів, які отримують студенти

*Приклад для заліку*

Поточне тестування та самостійна робота		Лабораторні роботи	Сума
Змістовий модуль №1	Змістовий модуль № 2	Т7, Т12, Т18	
T1-T10	T11-T23		100
20	30	50	

T1, T2 ... T25 – теми змістових модулів.

## Шкала оцінювання: національна та ECTS

Сума балів за всі види навчальної діяльності	Оцінка ECTS	Оцінка за національною шкалою	
		для екзамену, курсового проекту (роботи), практики	для заліку
90 – 100	<b>A</b>	відмінно	зараховано
80 – 89	<b>B</b>	добре	
70 – 79	<b>C</b>		
60 – 69	<b>D</b>	задовільно	
50 – 59	<b>E</b>		
26 – 49	<b>FX</b>	незадовільно з можливістю повторного складання	не зараховано з можливістю повторного складання
0-25	<b>F</b>	незадовільно з обов'язковим повторним вивченням дисципліни	не зараховано з обов'язковим повторним вивченням дисципліни

## 10. Рекомендована література

### Базова

1. Заячук Д.М. Нанотехнології і наноструктури. Львів: "Львівська політехніка", 2009. -580 с.
2. Ковальчук Б.М., Кремнев В.В. Сильноточные наносекундные коммутаторы. Новосибирск: Наука, 1979. -176 с.
3. Б.К.Остафійчук, І.М.Будзуляк, І.І.Григорчак, І.Ф.Миронюк. Наноматеріали в пристроях генерування і накопичення електричної енергії. Ів.-Франк.:ВДВ ЦІТ, 2007. -206 с.
4. Находкін М.Г., Шека Д.І. Фізичні основи мікро- та наноелектроніки. К.: Київський ун-т, 2005. -431 с.
5. Рагуля А.В., Скороход В.В. Консолидированные наноструктурные материалы. К.: Наукова думка, 2007. -376 с.
6. Большая книга о малом наномире. Луганск: Альма-матер, 2008. -531 с.
7. Грузинцев А.Н., Емельченко Г.А., Ермолаева Ю.В., и др. Материалы для нанофотоники: формирование и свойства наночастиц и наноструктур. Харьков: "ИСМА", 2010. -400 с.
8. Азаренко Н.А., Береснев В.М., Погребняк А.Д., та ін. Наноматеріали, нанопокриття, нанотехнології. Харків: ХНУ імені В.Н.Каразіна, 2009. -209 с.

9. Фреїк Д.М., Никируй Л.І., Чобанюк В.М. Фізика твердого тіла. Лабораторний практикум. Частина 1. Кристалічна структура. Ів.-Франк.: ВДВ ЦІТ, 2009 .- 138 с.
10. Демиховский В.Я. Квантовые ямы, нити, точки: Что это такое?. Соросовский Образовательный Журнал. 1997. № 5. С. 80-86
11. Борисенко В.Е. Нанoeлектроника – основа информационных систем XXI века. Соросовский Образовательный Журнал. 1997. № 5. С. 100-104.
12. С.П. Губин. Химия кластеров. М.: Наука, 1987
13. Суздаев И.П., Суздаев П.И. Нанокластеры и нанокластерные системы. Успехи Химии - 2001. Т. 70. №.3. С. 203-240
14. Наносистеми, наноматеріали, нанотехнології. К.: Академперіодика, 2004 .- 699 с.

### Допоміжна

1. И.В. Медихов. Тенденции развития нанохимии // Рос. Хим. Ж. XLVI, № 5, 2002.
2. Е.Ф. Шека. Квантовая нанотехнология и квантовая химия // Рос. Хим. Ж. XLVI, № 5, 2002.
15. М. Роко. Перспективы развития нанотехнологии: национальный программы, проблемы образования // Рос. Хим. Ж. XLVI, № 5, 2002.
3. В.В. Жиков. Фракталы // Соросовский образовательный журнал. – 1996. – С. 109-116
4. А.А. Малыгин. Поверхности и нанотехнология // Соросовский образовательный журнал. – Т. 8, № 1. – 2004. – С. 109-116
5. Б.И. Белявский. Физические основы полупроводниковой наноэлектроники // Соросовский образовательный журнал. – Т. 8, № 2. – 1998. – С. 92-98
6. Фреїк Д. М.
7. Напівпровідникові наноматеріали, нанотехнології та наноелектроніка//.-Ів.-Франківськ:Плай,2008.-№1(1) .-//ЧислоС. 74-112
8. Наносистеми, наноматеріали, нанотехнології [Текст]: зб. наук. праць. Т.7, Вип.3 .-К.:РВВ ІМФ, 2009 .-308 с.
9. Наносистеми, наноматеріали, нанотехнології [Текст]: зб. наук. праць. Т.7, Вип.2 .-К.:РВВ ІМФ, 2009 .-318 с.

## 11. Інформаційні ресурси

1. <http://lib.pu.if.ua/> – наукова бібліотека Прикарпатського національного університету імені Василя Стефаника.
2. <http://www.nbuv.gov.ua/> – Національна бібліотека України імені В.І. Вернадського.
3. <http://www.springer.com/?SGWID=5-102-0-0-0> - Доступ до колекції журналів Springer Journal Collection.
4. <http://www.sciencedirect.com> - Інформаційні продукти Elsevier sciencedirect
5. <http://www.scopus.com/home.url> - Scopus. Наукометрична реферативна база даних 38 млн. записів про публікації світового репертуару
6. <http://search.epnet.com/> - Бази даних Academic Search Premier; Inspec; Library, Information Science & Technology Abstracts; MEDLINE; Newspaper Source
7. Зібрання журналів американських наукових товариств  
 American Chemical Society: <http://pubs.acs.org/about.html>  
 American Institute of Physics: <http://journals.aip.org/>  
 American Physical Society: <http://publish.aps.org/>  
 American Society of Mechanical Engineers: <http://www.asmedl.org/journals/doc/ASMEDL-home/jrnls/>