

Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка



ЗАТВЕРДЖУЮ

Проректор з науково-педагогічної роботи

підпис

В.Л. Шаран
ініціали та прізвище

15 травня 20 18 р.

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

ФІЗИКА НАПРУЖЕНИХ НИЗЬКОРОЗМІРНИХ НАНОГЕТЕРОСИСТЕМ

Назва

Галузь знань 10 Природничі науки
Шифр Назва
Спеціальність 104 Фізика та астрономія
Шифр Назва
Статус дисципліни Нормативна
Нормативна (вибіркова)

Навчально-науковий інститут фізики, математики, економіки та інноваційних технологій

Кафедра фізики

Дані про вивчення дисципліни

Форма навчання	Курс	Семестр	Загальний обсяг дисципліни	Кількість годин						Курсова робота	Вид семестрового контролю	
				Аудиторні заняття					Самостійна робота		Залік	Екзамен
			Кредити ЕКТС	Разом	Лекції	Лабораторні роботи	Практичні заняття	Семінарські заняття				
Денна	I	2	120 год / 4	48	16	–	32	–	72	–	–	+
Заочна	I	2	120 год / 4	12	4	–	8	–	108	–	–	+

Робоча програма складена на основі освітньої програми та навчального плану підготовки докторів філософії.

Ступінь вищої освіти

Розробник:

[Підпис]
Підпис

Р.М. Пелешак, доктор фізико-математичних наук, професор

Ініціали та прізвище викладача, науковий ступінь та вчене звання

Схвалено на засіданні кафедри фізики.

Протокол № 4 від 23 04 20 18 р.

Завідувач кафедри

[Підпис]
Підпис

Р.М. Пелешак

Ініціали та прізвище

Схвалено на засіданні науково-методичної ради навчально-наукового інституту фізики, математики, економіки та інноваційних технологій.

Протокол № 4 від 26 04 20 18 р.

Схвалено на засіданні науково-методичної ради університету.

Протокол № 5 від 15 05 20 18 р.

1. МЕТА ТА ЗАВДАННЯ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Мета: сформувати в аспірантів знання про фізичні явища та процеси, які виникають при переході від об'ємних кристалів до напружених низькорозмірних квантових структур і надграток, класифікацію та властивості наногетеросистем.

Предмет: напружені нульвимірні, одновимірні, двовимірні та комбіновані наногетеросистеми.

Завдання:

- ознайомити аспірантів зі структурою та основними властивостями напружених низькорозмірних наногетеросистем;
- розкрити особливості прояву квантово-розмірних ефектів у напружених нульвимірних, одновимірних та двовимірних структурах;
- засвоїти принципи побудови та аналізу основних теоретичних моделей 0-, 1-, 2-вимірних та комбінованих гетеросистем;
- формувати в аспірантів сучасний науковий світогляд, уміння розв'язувати теоретичні, методологічні, світоглядні задачі сучасної науки.

Заплановані результати навчання. У результаті вивчення цієї навчальної дисципліни аспіранти повинні

знати:

- основні поняття і терміни фізики напружених низькорозмірних систем, механізми формування та властивості напружених наногетероструктур;
- основні фізичні явища та особливості перебудови енергетичного спектру в напружених низькорозмірних системах;
- явище квантування енергетичного спектру електронів в сильних магнітних полях як в об'ємних напівпровідниках, так і в напружених наногетероструктурах;
- оптичні процеси в напружених квантових точках різного розміру;
- принципи побудови та аналізу основних теоретичних моделей напружених наногетеросистем;

вміти:

- будувати та аналізувати математичні моделі напружених наногетеросистем, використовуючи процедури формального уявлення про систему та дані експериментальних досліджень;
- у межах теоретичних моделей наногетеросистем визначати їх основні електронні характеристики;
- аналізувати фізичні явища у напружених низькорозмірних наногетеросистемах.

Місце дисципліни у структурно-логічній схемі підготовки фахівців.
Дисципліна “Фізика напружених низькорозмірних наногетеросистем” вивчається після таких дисциплін: “Математичний аналіз”, “Загальна фізика”, “Теоретична фізика”, “Основи сучасної електроніки”, “Математичні методи фізики”, “Моделювання фізичних процесів”, “Фізика напівпровідників та діелектриків”, “Основи фізики твердого тіла”, “Експериментальні методи дослідження напівпровідників”.

Зміст дисципліни.

Класифікація наноструктур. Електронна структура та фізичні властивості напружених наногетеросистем.

Наноструктурні метали. Вуглецеві наноструктури.

Напівпровідникові наноматеріали. Наноструктурні феромагнетики.

2. СТРУКТУРА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Назва теми	Кількість годин							
	Денна форма навчання				Заочна форма навчання			
	Лекції	Лабораторні заняття	Практичні (семін.) заняття	СРС	Лекції	Лабораторні заняття	Практичні (семін.) заняття	СРС
2 семестр								
Тема 1. Класифікація наноструктур. Електронна структура та фізичні властивості напружених наногетеросистем.	6		12	22	2		4	36
Тема 2. Наноструктурні метали. Вуглецеві наноструктури.	4		10	24	1		2	34
Тема 3. Напівпровідникові наноматеріали. Наноструктурні феромагнетики.	6		10	26	1		2	38
Разом за 2 семестр	16		32	72	4		8	108

3. ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Зміст лекційного курсу для аспірантів денної форми навчання 2 семестр

№ з/п	Перелік тем лекцій, їх анотації	Кількість годин
1.	<p>Класифікація та властивості напружених низькорозмірних наногетеросистем.</p> <p>1.1. Розмірні ефекти. 1.2. Властивості нанокластерів. 1.2.1. Структура нанокластерів. 1.2.2. Період ґратки нанокластерів. 1.2.3. Фононний спектр і теплоємність нанокластерів. 1.2.4. Магнітні властивості нанокластерів. 1.2.5. Оптичні властивості нанокластерів.</p> <p>Посилання на літературні джерела, дидактичні матеріали: основна [1]; [2]; [6]; допоміжна [15]; [16]; [23].</p>	2
2.	<p>Квантоворозмірні ефекти.</p> <p>2.1. Хвильові властивості та енергетичний спектр електронів. 2.2. Кристал – тривимірна (3D) структура. 2.3. Квантова яма – двовимірна (2D) наноструктура. 2.4. Квантова нитка – одновимірна (1D) наноструктура. 2.5. Квантова точка – нульвимірна (0D) наноструктура.</p> <p>Посилання на літературні джерела, дидактичні матеріали: основна [1]; [2]; [6]; допоміжна [15]; [16]; [23].</p>	2
3.	<p>Властивості напружених напівпровідникових низькорозмірних структур. Надґратки.</p> <p>3.1. Потенціальні ями, бар'єри і тунелювання. 3.2. Одноелектронне тунелювання і кулонівська блокада. 3.3. Резонансне тунелювання. 3.4. Балістичне перенесення заряду. 3.5. Квантовий ефект Холла. 3.6. Надґратки.</p> <p>Посилання на літературні джерела, дидактичні матеріали: основна [7]; [9]; [12]; [13]; допоміжна [15]; [23].</p>	4
4.	<p>Наноструктурні метали.</p> <p>4.1. Визначальні особливості металів. 4.2. Аморфні та наноструктурні сплави. 4.3. Наноструктуровані квазікристали.</p> <p>Посилання на літературні джерела, дидактичні матеріали: основна [8]; [9]; [10]; допоміжна [19].</p>	2

5.	Вуглецеві наноструктури, графен і фулерени. Вуглецеві нанотрубки. 5.1. Вуглецеві наноструктури, графен і фулерени. 5.1.1. Класифікація вуглецевих структур. 5.1.2. Графен. 5.1.3. Фулерени. 5.1.4. Фулерити і фулериди. 5.2. Вуглецеві нанотрубки. 5.2.1. Методи виготовлення нанотрубок. 5.2.2. Основні фізичні властивості нанотрубок. Посилання на літературні джерела, дидактичні матеріали: основна [9]; [10]; [12]; допоміжна [22].	2
6.	Напівпровідникові матеріали. 6.1. Класифікація та особливості напівпровідників. 6.2. Методи створення неорганічних напівпровідників. 6.3. Легування неорганічних напівпровідників. Посилання на літературні джерела, дидактичні матеріали: основна [1]; [2]; [6]; допоміжна [17]; [18]; [23].	2
7.	Наноструктурні феромагнетики. 7.1. Магнетизм. 7.2. Магнітом'які наноматеріали. 7.3. Магнітотверді наноматеріали. 7.4. Наномагнітні плівки для пристроїв пам'яті ЕОМ. 7.5. Гігантський і колосальний магнітоопір. 7.6. Тунельний магнітоопір та інжекція носіїв заряду з поляризованим спіном. 7.7. Магнітні напівпровідники і діелектрики. Посилання на літературні джерела, дидактичні матеріали: основна [3]; [4]; [8].	2
	Разом за 2 семестр:	16

**Зміст лекційного курсу для аспірантів заочної форми навчання
2 семестр**

№ з/п	Перелік тем лекцій, їх анотації	Кількість годин
1.	Класифікація та фізичні властивості напружених низькорозмірних наногетеросистем. 1.1. Розмірні ефекти. 1.2. Властивості нанокластерів. 1.2.1. Структура нанокластерів. 1.2.2. Період ґратки нанокластерів. 1.2.3. Фононний спектр і теплоємність нанокластерів. 1.2.4. Магнітні властивості нанокластерів. 1.2.5. Оптичні властивості нанокластерів. Посилання на літературні джерела, дидактичні матеріали: основна [1]; [2]; [6]; допоміжна [15]; [16]; [23].	1
2.	Властивості напружених напівпровідникових низькорозмірних структур. Надґратки. 3.1. Потенціальні ями, бар'єри і тунелювання. 3.2. Одноелектронне тунелювання і кулонівська блокада. 3.3. Резонансне тунелювання. 3.4. Балістичне перенесення заряду. 3.5. Квантовий ефект Холла. 3.6. Надґратки. Посилання на літературні джерела, дидактичні матеріали: основна [7]; [9]; [12]; [13]; допоміжна [15]; [23].	1
3.	Наноструктурні метали. 4.1. Визначальні особливості металів. 4.2. Аморфні та наноструктурні сплави. 4.3. Наноструктуровані квазікристали. Посилання на літературні джерела, дидактичні матеріали: основна [8]; [9]; [10]; допоміжна [19].	1
4.	Напівпровідникові матеріали. 6.1. Класифікація та особливості напівпровідників. 6.2. Методи створення неорганічних напівпровідників. 6.3. Легування неорганічних напівпровідників. Посилання на літературні джерела, дидактичні матеріали: основна [1]; [2]; [6]; допоміжна [17]; [18]; [23].	1
	Разом за 2 семестр:	4

**Перелік практичних занять
для аспірантів денної форми навчання
2 семестр**

№ з/п	Тема практичного заняття	Кількість годин
1.	Роль механічної напруги у формуванні квантоворозмірних наноструктур. Літературні джерела: основна [6], [7], [13]; додаткова [1], [3].	4
2.	Формування дефектно-деформаційних структур під впливом лазерного опромінення. Літературні джерела: основна [6], [7], [14]; додаткова [23].	4
3.	Вплив гідростатичного тиску на формування поверхневої надгратки. Літературні джерела: основна [12], [14]; додаткова [17], [18].	4
4.	Формування напружених наноструктур у полі ультразвукової хвилі. Літературні джерела: основна [6], [9], [11]; додаткова [16].	4
5.	Вплив деформації на енергетичний спектр носіїв заряду у гетероструктурах з квантовими точками. Літературні джерела: основна [4], [14]; додаткова [3], [4].	4
6.	Акустoeлектронна взаємодія в гетероструктурах з квантовими точками. Літературні джерела: основна [4], [14]; додаткова [5].	4
7.	Модуляція напрямку випромінювання гетеролазера з напруженими квантовими ямами. Літературні джерела: основна [12], [14]; додаткова [17], [18].	4
8.	Формування електронно-діркових переходів у напружених наносистемах із самоорганізованими кластерами. Літературні джерела: основна [2], [5]; додаткова [19], [21].	4
Разом за 2 семестр:		32

**Перелік практичних занять
для аспірантів заочної форми навчання
2 семестр**

№ з/п	Тема практичного заняття	Кількість годин
1.	Роль механічної напруги у формуванні квантоворозмірних наноструктур. Літературні джерела: основна [6], [7], [13]; додаткова [1], [3].	2
2.	Вплив гідростатичного тиску на формування поверхневої надгратки. Літературні джерела: основна [12], [14]; додаткова [17], [18].	1

3.	Формування напружених наноструктур у полі ультразвукової хвилі. Літературні джерела: основна [6], [9], [11]; додаткова [16].	1
4.	Вплив деформації на енергетичний спектр носіїв заряду у гетероструктурах з квантовими точками. Літературні джерела: основна [4], [14]; додаткова [3], [4].	1
5.	Акустoeлектронна взаємодія в гетероструктурах з квантовими точками. Літературні джерела: основна [4], [14]; додаткова [5].	1
6.	Модуляція напрямку випромінювання гетеролазера з напруженими квантовими ямами. Літературні джерела: основна [12], [14]; додаткова [17], [18].	2
Разом за 2 семестр:		8

Зміст самостійної (індивідуальної) роботи

Номер тижня	Зміст самостійної (індивідуальної) роботи	Кількість годин
1 – 2.	Опрацювання теоретичного матеріалу, підготовка до практичного заняття № 1, отримання теми індивідуального завдання (ІЗ)	8
3 – 4.	Опрацювання теоретичного матеріалу, підготовка до практичного заняття № 2, робота над ІЗ	10
5 – 6.	Опрацювання теоретичного матеріалу, підготовка до практичного заняття № 3, робота над ІЗ, підготовка до контрольної роботи № 1	10
7 – 8.	Опрацювання теоретичного матеріалу, підготовка до практичного заняття № 4, робота над ІЗ	8
9 – 10.	Опрацювання теоретичного матеріалу, підготовка до практичного заняття № 5, робота над ІЗ	8
11 – 12.	Опрацювання теоретичного матеріалу, підготовка до практичного заняття № 6, підготовка до контрольної роботи № 2	10
13 – 14.	Опрацювання теоретичного матеріалу, підготовка до практичного заняття № 7, підготовка до захисту ІЗ	8
15 – 16.	Опрацювання теоретичного матеріалу, підготовка до практичного заняття № 8, підготовка до контрольної роботи № 3	10
Разом за 2 семестр:		72

4. ІНДИВІДУАЛЬНІ ЗАВДАННЯ

Індивідуальні завдання (ІЗ) – це частина навчального матеріалу з дисципліни, що має на меті поглибити, узагальнити та закріпити знання, отримані аспірантами у процесі навчання, а також застосування цих знань на практиці.

Звіт про виконання ІЗ повинен містити титульну сторінку (згідно зразка) та змістове наповнення до 10 аркушів. Звіт про виконання ІЗ – це завершена робота теоретичного характеру, яка містить систематизований чітко викладений матеріал за обраною темою на основі спеціально підібраної літератури. ІЗ подається викладачу не пізніше, ніж за два тижні до екзамену.

Критерії оцінювання індивідуального завдання: повнота розкриття теми у роботі – 16 балів, якість мовного оформлення – 2 бали, якість бібліографічного опису – 2 бали.

Теми індивідуальних завдань:

1. Методи зондової нанотехнології.
2. Йонно-променева нанолітографія.
3. Вирощування наноструктур на фасетованих поверхнях.
4. Нанокрапельні (droplet) технології.
5. Структури з періодичною модуляцією складу в епітаксійних плівках твердих розчинів напівпровідників.
6. Гетероструктурний транзистор на квантових точках.
7. Біполярні транзистори.
8. Нанотранзистори на основі вуглецевих нанотрубок.
9. Нанотранзистори на основі графену.
10. Одноелектронний транзистор.
11. Фотоприймачі на квантових ямах.
12. Лазери на квантових ямах і квантових точках.
13. Резонансне відбивання та поглинання світла в структурах з квантовими ямами.
14. Люмінесцентна спектроскопія квантових ниток.
15. Розмірне квантування коливальної підсистеми квантових точок.

5. МЕТОДИ НАВЧАННЯ

З метою активізації навчально-пізнавальної діяльності аспірантів при вивченні дисципліни “Фізика напружених низькорозмірних наногетеросистем” на лекційних та практичних заняттях використовуються наступні методи навчання: словесні (пояснення, бесіда, проблемна лекція), наочні (ілюстрація, демонстрація, спостереження), практичні (розв’язування задач та творчих завдань, проведення експериментальних досліджень).

6. МЕТОДИ КОНТРОЛЮ

Засвоєння аспірантами матеріалу з дисципліни перевіряється контрольними роботами та виконанням індивідуального завдання. Також аспіранти повинні бути готовими до експрес-контролю на практичних заняттях (фронтальне опитування, співбесіда, письмовий тест). Поточний контроль знань здійснюється з метою перевірки рівня підготовленості аспіранта до практичного заняття та рівня засвоєння ним навчального матеріалу. Вивчення дисципліни завершується екзаменом.

Екзаменаційний контроль знань проводиться протягом терміну, визначеного навчальним графіком для складання екзаменів, у вигляді письмового виконання завдань та співбесіди з викладачем. Екзаменаційні завдання охоплюють весь програмний матеріал дисципліни “Фізика напружених низькорозмірних наногетеросистем”.

Сумарна кількість балів з дисципліни визначається як сума балів з усіх видів навчальної роботи і виставляється за трьома шкалами оцінювання: стобальною, національною і ЄКТС.

Екзамен за талонами № 2 і К проводиться в письмовій формі з оцінюванням за стобальною шкалою. Завдання охоплюють весь програмний матеріал даної навчальної дисципліни.

Контрольні роботи, окрім тестових завдань, обов’язково передбачають теоретичні дослідження та вміння аспіранта застосовувати теоретичні знання для розв’язування прикладних задач. У контрольній роботі зазначається кількість балів за правильне виконання кожного з її завдань з урахуванням їх складності, обсягу та значущості в засвоєнні дисципліни.

7. ОЦІНЮВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ НАВЧАННЯ

Поточний контроль та самостійна робота				Сума $S_{\text{пот}}$	Екзамен $S_{\text{підс}}$
Контрольні роботи (КР)			Індивідуальне завдання		
Тема 1	Тема 2	Тема 3			
КР 1	КР 2	КР 3			
20	30	30	20	100	100
Ваговий коефіцієнт				0,6	0,4

Сумарна кількість балів з дисципліни визначається за формулою:

$$S_{\text{сум}} = 0,6 \cdot S_{\text{пот}} + 0,4 \cdot S_{\text{підс}}.$$

8. РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

Основна

1. Готра З.Ю. Субмікронні та нанорозмірні структури електроніки : підручник / З.Ю. Готра, І.І. Григорчак, Б.А. Лукіянець. – Чернівці : Технолог. центр, 2014. – 839 с.
2. Заячук Д.М. Нанотехнології і наноструктури / Д.М. Заячук. – Л. : Львівська політехніка, 2009. – 580 с.
3. Ковтун Г.П. Наноматериалы: технологии и материаловедение / Г.П. Ковтун, А.А. Вережкин. – Харьков : Харьковский физико-технический институт, 2010. – 73 с.
4. Кобаяси Н. Введение в нанотехнологию : перевод с японского / Н. Кобаяси. – М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2008. – 134 с.
5. Назаров О.М. Наноструктури і нанотехнології / О.М. Назаров, М.М. Нищенко. – Київ : НАУ, 2012. – 248 с.
6. Пелещак Р.М. Математичне моделювання фізичних процесів. Матеріали до самостійної роботи / Роман Пелещак, Олег Кузик, Олеся Даньків. – Дрогобич : Видавничий відділ Дрогобицького державного педагогічного університету імені Івана Франка, 2015. – 98 с.
7. Peleshchak R.M. Role of acoustoelectric interaction in the formation of nanoscale periodic structures of adsorbed atoms / R.M. Peleshchak, I.I. Lazurchak, O.V. Kuzyk, O.O. Dan'kiv, G.G. Zegrya // Semiconductors. – 2016. – V. 50. – № 3. – P. 314 – 319.
8. Погосов В.В. Нанофізика і нанотехнології / В.В. Погосов, Ю.А. Куницький, А.В. Бабіч, А.В. Коротун, А.П. Шпак. – Запоріжжя : ЗНТУ, 2011. – 381 с.
9. Поплавко Ю.М. Нанофізика, наноматеріали, наноелектроніка : навчальний посібник / Ю.М. Поплавко, О.В. Борисов, Ю.І. Якименко. – К. : НТУУ “КПІ”, 2012. – 300 с.
10. Проценко І.Ю. Основи матеріалознавства наноелектроніки : навчальний посібник / І.Ю. Проценко, Н.І. Шумакова. – Суми : Видавництво СумДУ, 2004. – 108 с.
11. Семенець В.В. Введення в мікросистемну техніку та нанотехнології : підручник / В.В. Семенець, І.Ш. Невлюдов, В.А. Палагін. – Харків : СМІТ, 2011. – 415 с.
12. Сергеев Н.А. Физика наносистем / Н.А. Сергеев, Д.С. Рябушкин. – М. : ЛОГОС, 2015. – 192 с.
13. Peleshchak R.M. Spatial-temporal redistribution of point defects in three-layer stressed nanoheterosystems within the framework of self-assembled deformation-diffusion model / R.M. Peleshchak, N.Ya. Kulyk,

M.V. Doroshenko // Condensed Matter Physics. – 2015. – V. 18. – № 2. – P. 23602: 1 – 12.

14. Peleshchak R.M. Temperature regimes of formation of nanometer periodic structure of adsorbed atoms in GaAs semiconductors under the action of laser irradiation / R.M. Peleshchak, O.V. Kuzyk, O.O. Dan'kiv // Condensed Matter Physics. – 2015. – V. 18. – № 4. – P. 43801: 1 – 8.

Допоміжна

15. Алферов Ж.И. Наноматериалы и нанотехнологии / Ж.И. Алферов, А.Л. Асеев, С.В. Гапонов, П.С. Коптев // Микросистемная техника. – 2003. – № 8. – С. 3 – 13.
16. Леденцов Н.Н. Гетероструктуры с квантовыми точками: получение, свойства, лазеры. Обзор / Н.Н. Леденцов, В.М. Устинов, В.А. Щукин // Физика и техника полупроводников. – 1998. – Т. 32. – № 4. – С. 385 – 410.
17. Пелешак Р.М. Влияние легирующих изовалентных примесей Вi на формирование однородных когерентно-напряженных квантовых точек InAs в матрице GaAs / Р.М. Пелешак, С.К. Губа, О.В. Кузык, И.В. Курило, О.О. Данькив // Физика и техника полупроводников. – 2013. – Т. 47. – № 3. – С. 324 – 328.
18. Пелешак Р.М. Расчет потенциала и электронной плотности для напряженной полупроводниковой квантовой точки / Р.М. Пелешак, И.Я. Бачинский, Г.Г. Зегря // Письма в Журнал технической физики. – 2010. – Т. 36. – № 24. – С. 1 – 8.
19. Пул Ч. Нанотехнология / Ч. Пул, Ф. Оуэне. – М. : Техносфера, 2004. – 352 с.
20. Ткач М.В. Спектр електронів і дірок у сферичних наноструктурах / М.В. Ткач, В.А. Головацький, О.М. Войцехівська // Журнал фізичних досліджень. – 2000. – Т. 4. – № 3. – С. 342 – 349.
21. Тонких А.А. Влияние ростовых параметров на электронную структуру квантовых точек в гетероструктурах InGaAs/GaAs / А.А. Тонких, В.А. Егоров, Н.К. Поляков // Письма в Журнал технической физики. – 2002. – Т. 28. – № 5. – С. 44 – 50.
22. Peleshchak R.M. Modeling of the nano-acoustic-electronic converter on the basis of graphene nanotubes / R.M. Peleshchak, I.R. Peleshchak, O.V. Kuzyk, O.O. Dan'kiv // Journal of nano- and electronic physics. – 2016. – V. 8. – № 2. – P. 02015 (4 pp).
23. Peleshchak R.M. Formation of periodic structures under the influence of an acoustic wave in semiconductors with a two-component defect subsystem / R.M. Peleshchak, O.V. Kuzyk, O.O. Dan'kiv // Ukrainian Journal of Physics. – 2016. – V. 61. – № 8. – P. 741 – 746.