

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДВНЗ «Ужгородський національний університет»
Фізичний факультет
Кафедра прикладної фізики

«ЗАТВЕРДЖУЮ»
Декан Фізичного факультету
Лазур В.Ю./
« 02 » вересня 2023 року



РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ
ФІЗИКА КВАНТОВО-РОЗМІРНИХ СИСТЕМ

Рівень вищої освіти
Галузь знань
Спеціальність
Освітня програма
Статус дисципліни
Мова навчання

другий (магістерський)
10 природничі науки
105 Прикладна фізика та наноматеріали
Освітньо – професійна програма
обов'язкова
українська

Ужгород 2023 рік

Робоча програма навчальної дисципліни «Фізика квантово-розмірних систем» для магістрів в галузі **10 Природничі науки** спеціальності **105 Прикладна фізика і наноматеріали** освітньої програми **Прикладна фізика і наноматеріали**.

Розробник: Небола І.І., професор, доктор-фізико математичних наук

Робочу програму розглянуто та затверджено на засіданні кафедри прикладної фізики

Протокол № 8 від «23» 02. 2023 р.

Завідувач кафедри прикладної фізики



Небола І.І.

Схвалено науково-методичною комісією фізичного факультету

Протокол № 7 від «02» 03. 2023 р.

Голова науково-методичної комісії



Карбованець М. І.

1. ОПИС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Найменування показників	Розподіл годин за навчальним планом	
	Денна форма навчання	Заочна форма навчання
Кількість кредитів ЄКТС – 4	Рік підготовки:	
Загальна кількість годин – 120	1 -й	-
Кількість модулів – 3	Семестр:	
Тижневих годин для денної форми навчання: аудиторних –3 самостійної роботи студента – 6	2-й	-
	Лекції:	
	24	-
	Практичні (семінарські):	
	-	-
Вид підсумкового контролю: екзамен	Лабораторні:	
	22	-
Форма підсумкового контролю: усна	Самостійна робота:	
	74	

Примітка.

Співвідношення кількості годин аудиторних занять до самостійної індивідуальної роботи становить:

для денної форми навчання – 46 / 74

для заочної форми навчання – відсутня

2. МЕТА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Метою вивчення даної навчальної дисципліни є формування цілісної системи знань та навиків в області фізики квантово-розмірних систем, галузі найбільш перспективних для практичного використання матеріалів та їх вплив на реалізацію сучасної нової матеріальної галузі електроніки та її особливостей. Засвоєння фізики квантово-розмірних систем і специфіки трансформації фізичних властивостей в низько розмірних композиціях, особливостях приладних рішень на цій базі, нових фізичних мало енергетичних і нано-компактних сенсорних і функціональних елементів мікроелектроніки з використанням сучасних методів моделювання та технологій їх реалізації.

Основні завдання навчальної дисципліни - «Фізика квантово-розмірних систем» дати опис та розуміння трансформаційних аспектів фізичних явищ і ефектів в системах при переході в нано розмірну область, виявлення специфічних особливостей, вивчення основних методів їх вивчення та комп'ютерного моделювання та їх практичного застосування.

Відповідно до освітньої програми, вивчення дисципліни сприяє формуванню у здобувачів вищої освіти таких компетентностей:

- **інтегральна компетентність:** здатність самостійно ставити та розв'язувати на інноваційному рівні наукові та науково-технічні задачі в галузі прикладної фізики та наноматеріалів.

- **загальні компетенції (ЗК):**

- здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях (ЗК1);
- знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності (ЗК2);
- здатність спілкуватися державною мовою як усно, так і письмово (ЗК3);
- здатність спілкуватися іноземною мовою (ЗК4)
- навички використання інформаційних і комунікаційних технологій (ЗК5);
- здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел (ЗК7);
- здатність працювати автономно (ЗК9);
- здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями (ЗК 11).

- **фахові компетенції (ФК):**

- здатність виконувати аналіз спеціальної літератури, формулювати постановку наукової або науково-технічної задачі, обирати методи та методики, складати програми наукових досліджень та науково-технічних розробок у галузі прикладної фізики та наноматеріалів (ФК1);

- здатність аналізувати отримані результати, презентувати їх фахівцям у даній галузі, оформлювати наукові статті та науково-технічні звіти (ФК3);

- здатність відповідно до поставленої задачі виконувати науково-технічні розробки в галузі прикладної фізики та наноматеріалів (ФК4);

- здатність до постійного розвитку компетентностей у сфері прикладної фізики, інженерії та комп'ютерних технологій (ФК8);

- здатність використовувати сучасні теоретичні уявлення в галузі фізики для аналізу фізичних систем (ФК9).

- здатність використовувати методи і засоби теоретичного дослідження та математичного моделювання в професійній діяльності (ФК10)

3. ПЕРЕДУМОВИ ДЛЯ ВИВЧЕННЯ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Не потребує.

4. ОЧІКУВАНІ РЕЗУЛЬТАТИ НАВЧАННЯ

Відповідно до освітньої програми вивчення навчальної дисципліни «Фізика квантово-розмірних систем» повинно забезпечити досягнення здобувачами вищої освіти таких програмних результатів навчання (ПРН):

Програмні результати навчання	Шифр ПРН
Використовувати знання в галузі прикладної фізики, математики, електроніки та інформаційних технологій для виконання наукових досліджень та розв'язання виробничих задач.	ПРН01
Знаходити та аналізувати наукову та науково-технічну інформацію в галузі прикладної фізики та наноматеріалів із вітчизняних та зарубіжних джерел, в тому числі з використанням сучасних пошукових систем.	ПРН02
Класифікувати, аналізувати та інтерпретувати науково-технічну інформацію в галузі прикладної фізики.	ПРН03
Встановлювати та аргументувати нові залежності між параметрами та характеристиками фізичних систем.	ПРН05
Коректно формувати професійні висновки, аргументувати власну позицію, презентувати результати досліджень і розробок та доносити їх до аудиторії різного фахового рівня, використовуючи сучасні методики наукової та технічної комунікації українською та іноземними мовами	ПРН07
Застосовувати сучасні математичні методи для побудови й аналізу математичних моделей фізичних процесів.	ПРН08
Застосовувати фізичні, математичні та комп'ютерні моделі для дослідження фізичних явищ, розробки приладів і наукоємних технологій.	ПРН10
Розуміти закономірності розвитку прикладної фізики, її місце в розвитку техніки, технологій і суспільства, у тому числі в розв'язанні екологічних проблем.	ПРН14

Очікувані результати навчання, які повинні бути досягнуті здобувачами освіти після опанування навчальної дисципліни «Фізика квантово-розмірних систем».

Очікувані результати навчання з дисципліни	Шифр ПРН
знати ефективні технології, інструменти та методи експериментального дослідження властивостей речовин і матеріалів, включаючи наноматеріали, при розв'язанні практичних проблем прикладної фізики.	ПРН01
знати сучасні математичні методи для побудови й аналізу математичних моделей фізичних процесів.	ПРН08
вміти знаходити та аналізувати наукову та науково-технічну інформацію в галузі прикладної фізики та наноматеріалів із вітчизняних та зарубіжних джерел, в тому числі з використанням сучасних пошукових систем	ПРН02.
вміти класифікувати, аналізувати та інтерпретувати науково-технічну інформацію в галузі прикладної фізики.	ПРН03
вміти встановлювати та аргументувати нові залежності між параметрами та характеристиками фізичних низькорозмірних систем.	ПРН05
вміти застосовувати сучасні математичні методи для побудови й аналізу математичних моделей фізичних процесів включаючи низькорозмірні системи.	ПРН10
вміти застосовувати фізичні, математичні та комп'ютерні моделі для дослідження фізичних явищ, розробки приладів і наукоємних технологій.	ПРН08

знати закономірності розвитку прикладної фізики, її місце в розвитку техніки, технологій і суспільства, у тому числі в розв'язанні екологічних проблем на базі сучасних приладів.	ПРН014
---	--------

5. ЗАСОБИ ДІАГНОСТИКИ ТА КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ НАВЧАННЯ

Засоби оцінювання та методи демонстрування результатів навчання

Засобами оцінювання та методами демонстрування результатів навчання з навчальної дисципліни є:

- поточний контроль успішності,
- проміжний модульний контроль,
- підсумковий семестровий контроль.

Форми контролю та критерії оцінювання результатів навчання

Форми поточного контролю:

- вибіркове усне опитування
- фронтальне стандартизоване усне та/або письмове опитування за основними питаннями теми няття;
- експрес-опитування
- тестування;
- реферативні повідомлення та їх обговорення;
- перевірка якості виконання завдань для самостійної роботи, зокрема за конспектами матеріалів;
- оцінювання якості та повноти виконання завдань модульної контрольної роботи.

Форма модульного контролю: виконання модульної контрольної роботи, результати якої оцінюються за 100-бальною шкалою за кожний модуль.

Форми підсумкового семестрового контролю: екзамен. До екзамену допускаються магістри, які відпрацювали пропущені заняття і виконали модульні контрольні роботи.

Розподіл балів, які отримують здобувачі вищої освіти (модуль 1)

Поточне оцінювання та самостійна робота			Модульна контрольна робота	Сума
T1	T2	T3	70	100
10	10	10		

T1, T2, T3, – теми

Розподіл балів, які отримують здобувачі вищої освіти (модуль 2)

Поточне оцінювання та самостійна робота						Модульна контрольна робота	Сума
T1	T2	T3	T4	T5	T6	40	100
10	10	10	10	10	10		

T1, T2, T3, T4, T5, T6 – теми

Розподіл балів, які отримують здобувачі вищої освіти (модуль 3)

Поточне оцінювання та самостійна робота			Модульна контрольна робота	Сума
T1	T2	T3	70	100
10	10	10		

T1, T2, T3 – теми

Оцінювання окремих видів навчальної роботи з дисципліни

Вид діяльності здобувача вищої освіти	Модуль 1		Модуль 2		Модуль 3	
	Кількість	Максимальна кількість балів (сумарна)	Кількість	Максимальна кількість балів (сумарна)	Кількість	Максимальна кількість балів (сумарна)
Практичні (семінарські) заняття						
Лабораторні заняття (допуск, виконання та захист)	2	80	4	80		
Комп'ютерне тестування при тематичному оцінюванні		-				
Письмове тестування при тематичному оцінюванні						
Презентація	1	20	2	20	2	20
Реферат		-				
Есе		-				
Модульна контрольна робота	1		1		1	80
Разом	4	100	7	100	3	100

Критерії оцінювання підсумкового семестрового контролю

Підсумковий семестровий контроль з дисципліни «Фізика квантово-розмірних систем» здійснюється через екзамен. Екзамен проводиться в усній формі шляхом співбесіди. Результати екзамену оцінюються за чотирибальною шкалою: «відмінно», «добре», «задовільно», «незадовільно».

Оцінка „відмінно” виставляється в тому разі, коли студент бездоганно оволодів всіма розділами програми, дав глибокі, чіткі і вичерпні відповіді на всі основні і додаткові запитання, виявив розуміння суті програмового матеріалу, вільне володіння фактичним матеріалом та відповідним математичним апаратом, кваліфіковано використовувати набуті знання для розв’язання конкретних практичних задач.

Оцінка „добре” виставляється тоді, коли студент виявив повне знання і розуміння програмового матеріалу, добре оволодів програмовим матеріалом курсу, може використовувати набуті знання в практичній діяльності, дав вичерпні відповіді на всі запитання, але під час відповіді допускав окремі нечіткі формулювання і незначні неточності.

Оцінка „задовільно” виставляється в тому разі, коли студент в основному знає і розуміє фактичний матеріал курсу, дав в основному правильні відповіді на запитання, виявив уміння розібратися в окремих питаннях матеріалу дисципліни, вміння використовувати відповідний математичний апарат, але не може ґрунтовно пояснити окремі положення пройденого курсу, недостатньо вміє застосовувати набуті знання для розв’язання конкретних практичних задач.

Оцінка „незадовільно” виставляється тоді, коли студент не оволодів матеріалом даного курсу, виявив суттєві прогалини в знаннях основного програмового матеріалу, коли він під час відповіді на запитання виявив нерозуміння сутності основних понять та термінів дисципліни, допускає плутанину, не може застосовувати набуті знання для розв’язування конкретних практичних задач, тобто виявив відсутність мінімально необхідної кількості знань з даного курсу.

За бажанням студента результуюча підсумкова оцінка може бути визначена як інтегрована оцінка засвоєння всіх тем дисципліни і кількісно дорівнює середньому арифметичному балів, отриманих за кожний модуль.

Переведення результатів, отриманих за 100-бальною шкалою оцінювання в національну 4-х бальну та шкалу за системою ECTS здійснюється за наступною схемою:

Оцінка за шкалою балів	ECTS	
	Оцінка	Характеристика
90 та вище	A	відмінно
80-89 65-79	B	добре
	C	добре
55-64 50-54	D	задовільно
	E	задовільно
35-49 1-34	FX	незадовільно з можливістю перескладання
	F	незадовільно з обов'язковим повторним навчанням

Студент, який отримав за результатами підсумкового контролю оцінку «незадовільно» (1-34 балів, F), зобов'язаний пройти повторний курс вивчення дисципліни (під час додаткового семестру) і скласти екзамен.

Результати підсумкового контролю знань із навчальних дисциплін, з яких передбачено залік, заносяться до екзаменаційної відомості.

Тема 1. Принцип розмірного квантування. умови спостереження квантових ефектів.	10	2				8
Тема 2. Квантово-механічний опис квантово-розмірних структур. частинка в прямокутній потенціальній ямі кінцевої глибини.	10	2		4		4
Тема 3. Квантово-механічний опис квантово-розмірних структур. енергетичні стани в потенціальній ямі складної форми.	10	2		4		4
Тема 4. Квантово-механічний опис квантово-розмірних структур. енергетичні стани в симетричних трикутні і трапецевидних потенціальних ямах.	10	2				8
Тема 5. Особливості руху частинок над потенціальним рельєфом.	8	2		2		4
Тема 6. Рух частинки в двох-бар'єрних квантових структурах.	12	2		4		6
Модульна контрольна робота	2			2		
Разом за модуль	62	12		16		34
Модуль 3. Нанoeлектронні прилади на основі квантово-розмірних структур.						
Тема.1. Резонансно-тунельні прилади. Квантові ями. Гетеропереходи.	8	2				6
Тема.2. Провідність низкорозмірних структур. Резонансне тунелювання. Спін-контрольоване тунелювання. Одноелектронне тунелювання.	10	2				8
Тема.3. Кінетичні ефекти в двохмірних системах. Гігантський магнітоопір.	10	2				8
Разом за модуль	28	6				22
Разом за семестр	120	24		22		74

6.3. Теми лабораторних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин	
		денна	заочна
1.	Моделювання і аналіз енергетичного спектру і густини станів квантових ям, ниток і локальних точок..	4	
2.	Модель транспорту носіїв заряду в низько розмірних структурах.	2	
3.	Енергетичний спектр частинки в прямокутній потенціальній ямі кінцевої глибини.	4	
4.	Енергетичні стани в потенціальній ямі складної форми	4	
5.	Особливості руху частинок над потенціальним рельєфом.	4	
6.	Рух частинки в двох-бар'єрних квантових структурах.	4	
Разом		22	

6.4. Самостійна робота

№ з/п	Назва теми	Кількість годин	
		денна	заочна
1.	Моделювання і аналіз кристалічної структури з використанням оболонки CaRine.	4	
2.	Знаходження позицій атомів, орбіт і їх виродження об'єкту дослідження з використанням оболонки CaRine.	4	
3.	Одновимірна потенціальна яма. Стани з дискретним спектром.	4	
4.	Стани з неперервним спектром. Віртуальні рівні енергії.	4	
5.	Розрахунок дисперсії фононного спектру складних кристалів в середовищі MAPLE.	6	
6.	Розрахунок електронного спектру в наближенні пустої ґратки.	6	
7.	. Фононні залежності для високо симетричних напрямків ЗБ, умови сумісності. повне коливне зображення для коливних віток та розклад його по незвідним зображенням групи симетрії кристалу.	6	
8.	Розрахунок енергетичної структури германію в методі електронної щільності.	6	
9.	Моделювання псевдо потенціалів.	6	
10.	Розсіювання та поглинання фононних мод. Правила відбору. Нейтронні та рентгенівські вимірювання..	4	
11.	Моделювання резонансних явищ у квантово-розмірних системах.	6	
12.	Поверхня фермі, побудова Харісона. Густина станів.	4	
13.	Метод Вігнера-Зейтца та метод комірок. Метод приєднаних плоских хвиль. Побудова симетризованих комбінацій плоских хвиль.	4	
14.	Повно-потенціальні схеми розрахунку зонного спектра.	6	
15.	Енергетичні властивості атома в кристалічному полі. Гібридизація хвильових функцій та розщеплення енергетичних рівнів.	4	
	Разом	74	

7. ІНСТРУМЕНТИ, ОБЛАДНАННЯ ТА ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ, ВИКОРИСТАННЯ ЯКИХ ПЕРЕДБАЧАЄ НАВЧАЛЬНА ДИСЦИПЛІНА

Технічні засоби: Мультимедійний проектор.

Обладнання: персональні комп'ютери, ноутбуки.

Програмне забезпечення Windows 10, Microsoft Power Point, MAPLE.

8. РЕКОМЕНДОВАНІ ДЖЕРЕЛА ІНФОРМАЦІЇ

Основна література

1. Шпак А. П., Куницький Ю. А., Коротченков О. О., Смик С. Ю. Квантові низькорозмірні системи. К.: Академперіодика, 2003.- 310 с.
2. Д.М. Заячук. Низькорозмірні структури і надґратки. Навч. посібник. – Львів: Видавництво Національного університету "Львівська політехніка", 2006. – 220с.
3. Савчук А.Й. Ефекти розмірного квантування в напівпровідникових квантових структурах.

Навчальний посібник.- Чернівці : Рута, 2002.- 56 с.

4. Савчук А.Й. Напівпровідникові квантові структури. Навчальний посібник.- Чернівці: Рута, 2002.- 51 с.

5. О. В. Третьак, В. З. Лозовський.. В. Фізика низьковимірних систем : навч. посіб. К. : Видавничо-поліграфічний центр "Київський університет", 2013. – 123 с.

6. Венгер Є.Ф., Грибань В.М., Мельничук О.В. Збірник задач з квантової механіки: Навч. посіб. – К.: Вища шк., 2003. – 230 с.

7. Вакарчук І.О. Квантова механіка: підручник / І.О. Вакарчук. 4-те вид., доп. Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2012. – 872 с.

8 Висоцький В.І. Квантова механіка та її використання в прикладній фізиці/ В.І. Висоцький. – К.: ВПЦ «Київський університет», 2008. – 367с.

9. Юхновський І.Р. Основи квантової механіки/ І.Р. Юхновський. – К.: Либідь, 2002. – 392с.

10. Папроцька О., Терещенко О. Наноматеріали та нанотехнології. Навчальний посібник. – Київ: Університет "Україна", 2018. – 140 с.

11. Поплавко Ю.М. Нанофізика, наноматеріали, наноелектроніка: навч. посіб. / Ю.М. Поплавко, О.В. Борисов, Ю.І. Якименко. – К.: НТУУ «КПІ», 2012. – 299 с.

12. Коротченко О.О. Вступ до фізики низькорозмірних напівпровідникових систем. Властивості гетеропереходів, Київ: Бавок, 2011. – 48 с.

Допоміжна література

1. Д.М. Заячук. Нанотехнології і наноструктури. Навч. посібник. – Львів: Видавництво Національного університету "Львівська політехніка", 2009. – 580 с.

2. Пека Г.П., Стріха В.І. Поверхневі та контактні явища у напівпровідниках.- Київ : Либідь, 1992. - 240 с.

3. Gaponenko S.V. Optical Properties of Semiconductor Nanocrystals. – Cambridge, 1998. – 218 с.

4. Davies J.H. The Physics of low-dimentional semiconductors. – Cambridge, 1998. – 439 p.

5. Шпак А.П., Куницький Ю.А., Смик С.Ю. Діагностика наносистем. – Київ: Академперіодика, 2003. – 149 с.

6. Основи субмікронної та нанотехнології: навч. посібник. Ч.1 / уклад.: В.М. Стребежев, І.М. Юрійчук. Чернівці: Чернівецький національний університет ім. Юрія Федьковича. 2021. – 120 с.

7. Готра З.Ю. Технологія електронної техніки. Навчальний посібник у двох томах. – Львів: Видавництво Національного університету "Львівська політехніка", 2010. – 884 с.

8. Datta S. Electronic transport in mesoscopic physics. Cambridge Univ. Press, 1995, 377 p.

9. Bastard G. Wave Mechanics Applied to Semiconductor Heterostructures. Les Editions de Physique, 1991. – 358 p.

10. Bimberg D., Grundmann M., Ledentsov N.N. Quantum dot heterostructures. Wiley, 1999. – 328 p.

11. Gonsalves K.E., Halberstadt C.R., Laurencin C.T., Nair L.S. Biomedical nanostructures. Wiley, 2008. – 516 p.

12. <http://vlp.com.ua/node/2785>

13. http://me.kpi.ua/downloads/Poplavko_Nanophysics_2012.pdf

14. http://karazinbook.univer.kharkov.ua/sites/default/files/fragments/azarenkov_-_kopiya.pdf