

Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича
(повне найменування вищого навчального закладу)

Інститут фізико-технічних та комп'ютерних наук

(назва факультету / інституту)

Кафедра теоретичної фізики та комп'ютерного моделювання

“ЗАТВЕРДЖУЮ”



Директор Інституту ФТКН

Ангельський О.В.

серпня 2020 року

РОБОЧА ПРОГРАМА

навчальної дисципліни

Квантова фізика наносистем

(назва навчальної дисципліни)

вибіркова дисципліна

(вказати: обов'язкова)

Освітньо-наукова програма «Фізика та астрономія»

(назва програми)

Спеціальність 104 «Фізика та астрономія»

(вказати: код, назва)

Галузь знань 10 «Природничі науки»

(вказати: шифр, назва)

Рівень вищої освіти: третій (освітньо-науковий)

Інститут фізико-технічних та комп'ютерних наук

(назва факультету/інституту, на якому здійснюється підготовка фахівців за вказаною освітньо-професійною програмою)

Мова навчання: українська

Чернівці 2020

Робоча програма навчальної дисципліни
Квантова фізика наносистем складена

(назва навчальної дисципліни)

відповідно до вимог її змісту (Ліцензійні умови провадження освітньої діяльності 2016 р.) та відповідає освітньо-науковій програмі «Фізика та астрономія» спеціальності 104 «Фізика та астрономія» галузь знань: 10 «Природничі науки»

(назва освітньо-наукової програми, код та назва спеціальності, галузь знань: шифр та назва)

затвердженої Вченою радою Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича (Протокол № від «___» _____ 20__ року).

Розробник:

Маханець О.М. проф. каф. теоретичної фізики та комп'ютерного моделювання

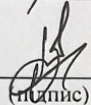
(вказати авторів, їхні посади, наукові ступені, вчені звання)

Робоча програма затверджена на засіданні кафедри

теоретичної фізики та комп'ютерного моделювання

Протокол № 1 від "27" серпня 2020 року

Завідувач кафедри


(підпис)

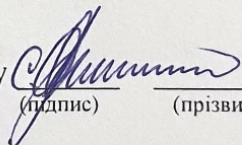
(Ткач М.В.)
(прізвище та ініціали)

Схвалено

Методичною радою інституту / факультету ФТКН

Протокол № 1 від "31" 08 2020 року

Голова методичної ради інституту / факультету


(підпис) Струк Я.М.
(прізвище та ініціали)

1. Мета навчальної дисципліни: (у меті стисло зазначити місце навчальної дисципліни та програмних результатів навчання з цієї дисципліни, які визначені освітньо-науковою програмою).

Мета даної дисципліни полягає в тому, щоб аспіранти отримали певні професійні знання про поведінку квантових квазічастинок (електронів, дірок та екситонів), що взаємодіють з домішками і зовнішніми полями у тонких плівках, сферичних квантових точках, циліндричних напівпровідникових нанотрубках та нанокільцях.

Формування в аспірантів

Програмних результатів навчання:

ПРН2. Здатність здійснити завершене оригінальне дослідження, що ґрунтується на використанні сучасних методів науки.

ПРН11. Планувати і виконувати експериментальні та/або теоретичні дослідження з фізики та дотичних міждисциплінарних напрямів з використанням сучасних наукових методів, критично аналізувати результати власних досліджень і результати інших дослідників у контексті усього комплексу сучасних знань щодо досліджуваної проблеми.

ПРН18. Мати ґрунтовні знання предметної області та розуміння професії

2. Опис навчальної дисципліни

2.1. Загальна інформація

Назва навчальної дисципліни Квантова фізика наносистем											
Рік підготовки	Семестр	Кількість			Кількість годин						Вид підсумк. контролю
		Кредитів	годин	Змістових модулів	лекції	практичні	семінарські	лабораторні	самостійна робота	індивідуальні завдання	
1	1	4	120	2	10	20			90		іспит

2.2. Дидактична карта навчальної дисципліни

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин					
	Усього	у тому числі				
		Л	п	Лаб	інд	с.р.
1	2	3	4	5	6	7
Теми занять	Змістовий модуль 1					
Тема 1. Спектри електронів і дірок у найпростіших наносистемах (проста тонка плівка, сферична квантова точка, циліндричний квантовий дріт).	15	1	2			12
Тема 2. Енергетичний спектр та хвильові функції електрона дірки та екситона у багатшарових тонкій плівці та сферичній квантовій точці.	15	1	2			12
Тема 3. Енергетичний спектр та хвильові функції електрона дірки та екситона у багатшаровій циліндричній нанотрубі.	15	1	3			11
Тема 4. Спектр електрона, що взаємодіє з донорною домішкою у багатшарових сферичних квантових точках та циліндричних	15	2	3			10

нанотрубках						
Разом за ЗМ 1	60	5	10			45
Теми занять	Змістовий модуль 2.					
Тема 5. Вплив магнітного поля на енергетичний спектр електрона у багатошаровій циліндричній нанотрубці.	20	2	4			14
Тема 6. Вплив магнітного поля на енергетичний спектр електрона у подвійних напівпровідникових нанокільцях.	20	2	4			14
Тема 7. Вплив електричного поля на енергетичний спектр електрона у подвійних напівпровідникових нанокільцях.	20	1	2			17
Разом за ЗМ 2	60	5	10			45

2.3. Зміст навчальної дисципліни

Тема 1. Спектри електронів і дірок у найпростіших наносистемах (проста тонка плівка, сферична квантова точка, циліндричний квантовий дріт).

Стационарне рівняння Шредингера. Функції Бесселя цілого та напівцілого порядків. Наближення безмежно-глибокої потенціальної ями. Потенціальна яма скінченної глибини. Типові залежності енергетичних спектрів електрона (дірки) від геометричних параметрів найпростіших наносистем.

Тема 2. Енергетичний спектр та хвильові функції електрона дірки та екситона у багатошарових тонкій плівці та сферичній квантовій точці.

Гамільтоніан електрона (дірки) у сферичній системі координат. Хвильові функції. Граничні умови. Дисперсійне рівняння. Гамільтоніан екситона. Теорія збурень. Енергія зв'язку. Залежності енергетичних спектрів електрона, дірки, енергії зв'язку та енергії екситонного збудження від геометричних параметрів багатошарових тонких плівок та сферичних квантових точках на основі напівпровідників CdS/HgS. Порівняння з експериментом.

Тема 3. Енергетичний спектр та хвильові функції електрона дірки та екситона у багатошаровій циліндричній нанотрубці.

Гамільтоніан електрона (дірки) у циліндричній системі координат. Хвильові функції. Граничні умови. Дисперсійне рівняння. Гамільтоніан екситона. Модифікований варіаційний метод Бете. Функціонал енергії екситона. Енергія зв'язку. Залежності енергетичних спектрів електрона, дірки, енергії зв'язку та енергії екситонного збудження від геометричних параметрів багатошарових нанотрубок на основі напівпровідників GaAs/AlAs.

Тема 4. Спектр електрона, що взаємодіє з донорною домішкою у багатошарових сферичних квантових точках та циліндричних нанотрубках.

Гамільтоніани електрона, що взаємодіє з донорною домішкою у сферичній та циліндричній системах координат. Конфлюентні гіпергеометричні функції. Модифікований варіаційний метод Бете у циліндричних нанотрубках. Залежності енергетичних спектрів електрона, енергії зв'язку електрона з домішкою від геометричних параметрів багатошарових сферичних квантових точок та циліндричних нанотрубок на основі напівпровідників GaAs/AlAs.

Тема 5. Вплив магнітного поля на енергетичний спектр електрона у багатошаровій циліндричній нанотрубці.

Гамільтоніан електрона у багатошаровій циліндричній нанотрубці в магнітному полі. Симетрична калібровка. Конфлюентні гіпергеометричні функції. Граничні умови. Дисперсійне рівняння. Залежності енергетичних спектрів електрона від величини індукції магнітного поля та геометричних параметрів багатошарової циліндричної нанотрубки на основі напівпровідників GaAs/AlAs. Рівні Ландау.

Тема 6. Вплив магнітного поля на енергетичний спектр електрона у подвійних напівпровідникових нанокільцях.

Гамільтоніан електрона у подвійних напівпровідникових нанокільцях у магнітному полі. Симетрична калібровка. Конфлюентні гіпергеометричні функції. Граничні умови. Дисперсійне рівняння. Залежності енергетичних спектрів та сил осциляторів внутрішньозонних квантових переходів електрона від величини індукції магнітного поля та геометричних параметрів подвійних напівпровідникових нанокільців на основі напівпровідників GaAs/AlAs. Ефект Ааронова-Бома.

Тема 7. Вплив електричного поля на енергетичний спектр електрона у подвійних напівпровідникових нанокільцях.

Гамільтоніан електрона у подвійних напівпровідникових нанокільцях в електричному полі. Хвильові функції електрона у наносистемі без поля. Розклад хвильової функції електрона за повною системою циліндрично-симетричних функцій. Матричні елементи. Секулярне рівняння. Залежності енергетичних спектрів та сил осциляторів внутрішньозонних квантових переходів електрона від величини напруженості електричного поля у подвійних напівпровідникових нанокільцях на основі напівпровідників GaAs/AlAs.

2.4. Тематика індивідуальних завдань

№	Назва теми
1	Спектр електрона, що взаємодіє з донорною домішкою у багатошарових сферичних квантових точках та циліндричних нанотрубках
2	Вплив магнітного поля на енергетичний спектр електрона у багатошаровій циліндричній нанотрубі.
3	Вплив електричного поля на енергетичний спектр електрона у подвійних напівпровідникових нанокільцях.

2.5. Самостійна робота

№	Назва теми
1	Спектри електронів і дірок у найпростіших наносистемах (проста тонка плівка, сферична квантова точка, циліндричний квантовий дріт).
2	Енергетичний спектр та хвильові функції електрона дірки та екситона у багатошарових тонкій плівці та сферичній квантовій точці.

3. Критерії оцінювання результатів навчання з навчальної дисципліни

Види та форми контролю

Форми поточного контролю - усна відповідь, практична робота.

Форма підсумкового контролю - іспит.

Засоби оцінювання

- контрольні роботи;
- демонстрація результатів виконаних завдань та досліджень;

Критерієм успішного проходження здобувачем освіти підсумкового оцінювання може бути досягнення ним мінімальних порогових рівнів оцінок за кожним запланованим результатом навчання навчальної дисципліни.

Мінімальний пороговий рівень оцінки варто визначати за допомогою якісних критеріїв і трансформувати його в мінімальну позитивну оцінку використовуваної числової (рейтингової шкали).

Шкала оцінювання: національна та ЄКТС

(Оцінка за національною шкалою)	Оцінка за шкалою ECTS	
	Оцінка (бали)	Пояснення за розширеною шкалою
Відмінно	A (90-100)	відмінно
Добре	B (80-89)	дуже добре
	C (70-79)	добре
Задовільно	D (60-69)	задовільно
	E (50-59)	достатньо
Незадовільно	FX (35-49)	(незадовільно) з можливістю повторного складання
	F (1-34)	(незадовільно) з обов'язковим повторним курсом

Розподіл балів, які отримують аспіранти

Поточне оцінювання (аудиторна та самостійна робота)							Кількість балів залік	Сумарна к-ть балів
Змістовий модуль №1				Змістовий модуль № 2				
T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	40	100
5	5	10	10	12	12	6		

4. Рекомендована література

4.1. Базова (основна) література

1. Ткач М. В. Квазічастинки у наногетеросистемах. Квантові точки та дроти / Ткач М. В. – Чернівці: Рута, 2003. – 312 с.
2. Ткач М. В. Квазічастинки у наногетеросистемах. Квантові точки та дроти / Ткач М. В., Сеті Ю.О., Войцехівська О.М – Чернівці: Книги - XXI, 2015. – 386 с.
3. O. Makhanets Exciton spectrum in multi-shell hexagonal semiconductor nanotube / O. Makhanets, N.Tsiupak, V.Gutsul, O.Voitsekhivska // Condensed Matter Physics. – 2012. – V. 15, № 3. – P. 33704:1-9.
4. Маханець О.М. Спектральні параметри електрона в багатошаровій циліндричній напівпровідниковій нанотрубці з донорною домішкою на аксіальній осі / О.М.Маханець, А.І.Кучак, В.І.Гуцул // УФЖ. – 2014. – Т. 59, №8. – С. 818 – 824.
5. Маханець О.М. Енергетичний спектр електрона та сили осциляторів внутрішньозонних квантових переходів у подвійних напівпровідникових нанокільцях у магнітному полі / О.М. Маханець, В.І. Гуцул, А.І. Кучак // Журнал нано- та електронної фізики. – 2017. – Т. 9, № 6. – Р. 06015: 1 – 6.
6. Маханець О.М. Енергетичний спектр електрона та сили осциляторів внутрішньозонних квантових переходів у подвійних напівпровідникових нанокільцях у магнітному полі / О.М. Маханець, В.І. Гуцул, А.І. Кучак // Журнал нано- та електронної фізики. – 2017. – Т. 9, № 6. – Р. 06015: 1 – 6.

4.2. Допоміжна література

1. Davies J.H. The physics of low-dimensional semiconductors: an introduction / Davies J.H. – New York : Cambridge University Press, 1998. –438 p.
2. Fontcuberta i Morral A. Prismatic Quantum Heterostructures Synthesized on Molecular-Beam Epitaxy GaAs Nanowires / A. Fontcuberta i Morral, D. Spirkoska, J. Arbiol [et al.] // Small. – 2008. – V.4, №. 7. – P. 899–903.
3. Heigoldt M. Long range epitaxial growth of prismatic heterostructures on the facets of catalyst-free GaAs nanowires / M. Heigoldt, J. Arbiol, D. Spirkoska [et al.] // J. Mater. Chem. – 2009. – V. 19, № 9. – P. 840–848.
4. Mano T. Nanometer-scale GaAs ring structure grown by droplet epitaxy / T. Mano, N. Koguchi // J. Cryst. Growth. – 2005. – V. 278 (1). – P. 108 – 112.
5. Photoluminescence of GaAs/AlGaAs quantum ring arrays / Yu. D. Sibirmovskii, I. S. Vasil'evskii, A. N. Vinichenko [et al] // Semiconductors. – 2015. – 49(5). – P. 638 – 643.

4.3. Інформаційні он-лайн ресурси

Джерела інтернет