

Київський національний університет
імені Тараса Шевченка

Інститут високих технологій

Кафедра математики, теоретичної фізики та комп'ютерних технологій

Укладачі: доктор фіз.-мат. наук, с.н.с. Колежук О.К.
доктор фіз.-мат. наук, проф. Лозовський В.З.

ВИБРАНІ РОЗДІЛИ ЗАГАЛЬНОЇ ТА КВАНТОВОЇ ФІЗИКИ

РОБОЧА НАВЧАЛЬНА ПРОГРАМА ДИСЦИПЛІНИ
освітньо-професійної програми спеціальності
„магістр природничих наук та високих технологій”

Затверджено
на засіданні кафедри
Протокол № ____ від «____» _____ 20__ р.

Зав. кафедрою
Лозовський В.З. _____

Директор Інституту
Третяк О.В. _____

КИЇВ - 2013

Робоча навчальна програма з дисципліни „Вибрані розділи загальної та квантової фізики”

Укладачі: доктор. фіз.-мат. наук, с.н.с. **Колежук О.К.**
доктор. фіз.-мат. наук, професор **Лозовський В.З.**

Лектори: доктор. фіз.-мат. наук, с.н.с. **Колежук О.К.**
доктор. фіз.-мат. наук, професор **Лозовський В.З.**

Викладачі: доктор. фіз.-мат. наук, с.н.с. **Колежук О.К.**
доктор. фіз.-мат. наук, професор **Лозовський В.З.**

Погоджено
з науково-методичною комісією
«_____» _____ 201__р.

Методичні рекомендації по вивченню дисципліни

Дисципліна „Вибрані розділи загальної та квантової фізики” є базовою дисципліною для спеціальності "високі технології", яка викладається в 1 семестрі магістратури в обсязі 4 кредитів (за Європейською Кредитно-Трансферною Системою ECTS), в тому числі 68 години аудиторних занять (з них 34 годин лекцій, 17 годин лабораторних та 17 годин практичних занять), та 76 годин самостійної роботи. Підсумковий контроль – залік.

Метою вивчення дисципліни "Вибрані розділи загальної та квантової фізики" є вдосконалення знань з фізики, отриманих студентами під час навчання в бакалавраті і створення бази для вивчення курсів фізики низьковимірних систем, сучасної мікро- та наноелектроніки, сучасних мікробіології та супрамолекулярної хімії.

Предметом навчальної дисципліни "Вибрані розділи загальної та квантової фізики" є квантові явища та ефекти, що є основою сучасної фізики, а також методи їх опису.

В курсі детально розглядаються методи опису та аналізу фізичних властивостей квантових систем. I кредит – загальні принципи квантової фізики; II кредит - елементи статистичної фізики, III кредит – застосування методів квантової фізики і статистики для аналізу фізичних явищ в конденсованих середовищах.

Вимоги до знань та вмінь.

Знати: Основні принципи та математичні методи квантової фізики. Мати уявлення про практичні застосування квантових ефектів в сучасних мікро- та нано-електронних технологіях, мікробіології та хімії.

Вміти: Застосовувати базові методи квантової фізики для оцінки характерних параметрів ефектів та явищ в фізиці, біології, та хімії. Пояснювати результати експериментів на основі побудови простих моделей.

Місце в структурно-логічній схемі спеціальності. Навчальна дисципліна „Вибрані розділи загальної та квантової фізики” є складовою циклу професійної підготовки фахівців освітньо-кваліфікаційного рівня „магістр”, і є базовою для вивчення більшості спеціальних дисциплін спеціальності "магістр природничих наук та високих технологій", зокрема „фізика низьковимірних систем”, „основи сучасної спектроскопії” та ін.

Контроль знань

Контроль здійснюється за модульно-рейтинговою системою. Підсумкова оцінка розраховується за **накопичувальною системою**. При цьому максимальна кількість балів встановлюється наступним чином:

	Змістовний модуль 1	Змістовний модуль 2	Змістовний модуль 3	Комплексний підсумковий модуль (залік)	Індивідуальний навчальний проект (самостійна робота)	Лабораторні роботи	Підсумкова оцінка за повний курс
Максимальна кількість балів	20	20	20	30	10	10	100

На семестр заплановано по одному індивідуальному навчальному проекту для кожного студента (за бажанням).

За 1 контрольну роботу студент може отримати максимум 20 балів.
За перший змістовний модуль – максимум 20 балів.

За 2 контрольну роботу студент може отримати максимум 20 балів.
За другий змістовний модуль – максимум 20 балів.

За 3 контрольну роботу студент може отримати максимум 20 балів.
За третій змістовний модуль – максимум 20 балів.

За виконання всього запланованого обсягу лабораторних робіт студент може отримати максимум 10 балів.

Якщо за результатами модульно-рейтингового контролю (три модульні контрольні плюс оцінка за виконання лабораторних робіт) студент отримав сумарну оцінку за три змістовні модулі, яка менше ніж 40 балів, то студент не допускається до заліку і вважається таким, що не виконав усі види робіт, які передбачаються навчальним планом на семестр з дисципліни „Вибрані розділи загальної та квантової фізики”.

При цьому **кількість балів** відповідає оцінці:

1-34 – «незадовільно» з **обов'язковим повторним вивченням дисципліни**;

35-59 – «незадовільно» з **можливістю повторного складання**;

60-64 – «задовільно» («**достатньо**»);

65-74 – «задовільно»;

75 - 84 – «добре»;

85 - 89 – «добре» («**дуже добре**»);

90 - 100 – «відмінно».

Шкала відповідності:

За 100-бальною шкалою	Оцінка за національною шкалою	
90 – 100	5	відмінно
85 – 89	4	добре
75 – 84		
65 – 74	3	задовільно
60 – 64		
35 – 59	2	незадовільно
1 – 34		

Тематичний план лекцій та практичних занять

1 семестр

Номер лекції	Назва лекції	Кількість годин				
		лекції	практичні	СРС	Контрольно-модульна робота	Лабораторні роботи
ЗМ1: Вибрані питання квантової механіки						
1	<i>Вступ. Основні поняття і математичний апарат квантової механіки. Квантові стани, суперпозиція, оператори фізичних величин, гамільтоніан, рівняння руху, власні стани, ідентичні частинки, принцип Паулі.</i>	4	2	4		4
2	<i>Квантові частинки у потенціальних ямах, поблизу потенціальних бар'єрів і границь. Граничні умови для хвильової функції; потенціал у вигляді дельта-функції. Розсіяння на потенціальній сходинці, метод матриці переходу. Частинка в потенціальній ямі, зв'язані і незв'язані стани, одно-, дво-, і тривимірний випадок.</i>	4	2	4		4
3	<i>Квантове тунелювання. Тунелювання через бар'єр. Тунелювання між квантовими ямами. Метастабільні стани.</i>	2	2	4		4
4	<i>Оператори народження і знищення. Гармонічний осцилятор. Фонони. Когерентні стани. Ферміонні оператори.</i>	2		4		
5	<i>Унітарні перетворення. Еволюція квантових станів. Діагоналізація квадратичних гамільтоніанів. Перетворення Боголюбова.</i>	2	2	5		
6	<i>Теорія збурень. Різні форми теорії збурень. Самоузгоджена теорія збурень Брілюєна-Вігнера. Теорія збурень для вироджених рівнів. Раптові та адіабатичні збурення. Збурення граничних умов. Часткова діагоналізація гамільтоніана (перетворення Шріфера-Вольфа).</i>	4	2	5		
	Модульна контрольна робота №1				1	

Номер лекції	Назва лекції	Кількість годин				
		лекції	практичні	СРС	Контрольно-модульна робота	Лабораторні роботи
ЗМ2: Елементи статистичної фізики						
7	<i>Основні принципи квантової статистики.</i> Статистичний розподіл. Матриця густини. Ентропія. Закон зростання ентропії. Розподіл Гіббса, його властивості. Статистична рівновага. Великий канонічний розподіл Гіббса. Хімічний потенціал.	2	2	4		
8	<i>Фермі- та Бозе-статистика.</i> Квантові гази. Густина станів. Бозе-Ейнштейнівська конденсація.	2	2	2		
9	<i>Теорія лінійного відгуку.</i> Формула Кубо. Співвідношення Крамерса-Кроніга. Флуктуаційно-дисипаційна теорема.	4		4		
10	<i>Основи фізичної кінетики:</i> Рівняння повільних процесів. Принцип детальної рівноваги. Кінетичне рівняння Больцмана.	2		4		
	Модульна контрольна робота №2				1	

Номер лекції	Назва лекції	Кількість годин				
		лекції	практичні	СРС	Контрольно-модульна робота	Лабораторні роботи
ЗМ3: Елементи квантової теорії конденсованого стану						
11	<i>Квантові частинки у періодичному потенціалі.</i> Обернена ґратка. Теорема Блоха. Енергетична зонна структура.	2	1	4		5
12	<i>Загальні властивості енергетичної зонної структури.</i> Фермі-поверхня. Ефективна маса. Сингулярності Ван Хофа. Метали, напівпровідники і діелектрики. Локалізація електронних станів внаслідок безпорядку. Квазіперіодичні структури та особливості їх спектрів.	2	2	4		
13	<i>Взаємодія речовини з електромагнітними полями.</i> Процеси поглинання і емісії, золоте правило Фермі. Правила відбору. Розсіювання випромінювання на квазічастинках, спектроскопія.	2		6		
	Модульна контрольна робота №3				1	
	ВСЬОГО	34	17	76	3	17

Докладний план лекційних, практичних та самостійних занять

1 семестр

Змістовний модуль 1: Вибрані питання квантової механіки

ЛЕКЦІЯ 1. (4 години)

Вступ. Основні поняття квантової механіки. Квантові стани, суперпозиція, оператори фізичних величин, гамільтоніан, рівняння руху, власні стани, зміна базису, унітарні перетворення, ідентичні частинки

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №1. (2 години)

Обчислення спектрів елементарних гамільтоніанів. Правила обчислення комутаторів, функції від операторів та їх похідні. Властивості операторів із скінченним спектром. Властивості спектру у випадку наявності декількох операторів, що одночасно комутують з гамільтоніаном. Ермітові і самоспряжені оператори. Загальна форма співвідношень невизначеності.

Лабораторна робота №1 (виконується в комп'ютерному класі, програмне забезпечення — JRE): Фотоефект.

Лабораторна робота №2 (виконується в комп'ютерному класі, програмне забезпечення — JRE): Поведінка квантових частинок в потенціальних ямах. Зв'язані стани. Тунелювання.

ЛЕКЦІЯ 2. (4 години)

Квантові частинки у потенціальних ямах, поблизу потенціальних бар'єрів і границь. Граничні умови для хвильової функції; потенціал у вигляді дельта-функції. Розсіяння на потенціальній сходинці, метод матриці переходу. Частинка в потенціальній ямі, зв'язані і незв'язані стани, одно-, дво-, і тривимірний випадок.

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №2. (2 години)

Знаходження власних станів і хвильових функцій для модельних одновимірних потенціалів (напр. нескінченно глибока яма з дельта функцією посередині, несиметрична прямокутна яма). Квантовий тиск частинки в прямокутній ямі.

ЛЕКЦІЯ 3. (2 години)

Квантове тунелювання. Тунелювання через бар'єр. Тунелювання між квантовими ямами. Метастабільні стани.

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №3. (2 години)

Розв'язання задачі тунелювання для модельних бар'єрів і ям (напр. подвійна дельта функція, нескінченна стінка з дельта-функцією).

ЛЕКЦІЯ 4. (2 год.)

Оператори народження і знищення. Гармонічний осцилятор. Фоони. Когерентні стани. Ферміонні оператори.

ЛЕКЦІЯ 5. (2 год.) *Унітарні перетворення.* Зміна квантового стану з часом. Оператор еволюції. Представлення Шредінгера, Гайзенберга, представлення взаємодії. Діагоналізація квадратичних гамільтоніанів. Перетворення Боголюбова.

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №4. (2 год.)

Знаходження еволюції квантового стану. Діагоналізація простих гамільтоніанів за допомогою унітарних перетворень.

ЛЕКЦІЯ 6. (4 години)

Теорія збурень. Різні форми теорії збурень. Самоузгоджена теорія збурень Брілюена-Вігнера. Теорія збурень для вироджених рівнів. Раптові та адіабатичні збурення. Збурення граничних умов. Часткова діагоналізація гамільтоніана (перетворення Шріфера-Вольфа).

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №5. (2 год.) Теорія збурень для квантових ям, для ротатора, для спінових станів. “Відштовхування” квантових рівнів.

Проведення модульної контрольної роботи №1

Модульний контроль №1

Контрольні запитання.

1. Що означає нормування хвильових функцій?
2. Як принцип суперпозиції пов'язаний з ймовіротною природою квантових станів?
3. Поясніть фізичний зміст ефекту тунелювання електронів. Чому тунелювання не спостерігається для макрооб'єктів?
4. В чому полягає ідея квазічастинок в квантовій механіці систем багатьох частинок?
5. В чому полягає суть співвідношень невизначеності?

Змістовний модуль 2: Елементи статистичної фізики

ЛЕКЦІЯ 7. (2 години)

Основні принципи квантової статистики. Статистичний розподіл. Матриця густини. Ентропія. Закон зростання ентропії. Розподіл Гіббса, його властивості. Статистична рівновага. Великий канонічний розподіл Гіббса. Хімічний потенціал.

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №6. (2 год.)

Спін у зовнішньому полі, осцилятор, частинка в коробці при скінченній температурі. Ланцюжок Ізінга при скінченній температурі.

ЛЕКЦІЯ 8. (2 години)

Квантові гази. Функції розподілу Бозе-Ейнштейна і Фермі-Дірака. Вироджений бозе-газ, критична температура.

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №7. (2 години) Вироджений Фермі-газ, його теплоємність.

Лабораторна робота №3 (в комп'ютерному класі, програмне забезпечення — Maple): Комп'ютерне моделювання дифузійних процесів як випадкових блукань.

ЛЕКЦІЯ 9. (2 години)

Теорія лінійного відгуку. Формула Кубо. Співвідношення Крамерса-Кроніга. Флуктуаційно-дисипаційна теорема. Співвідношення Ейнштейна.

ЛЕКЦІЯ 10. (2 години)

Основи фізичної кінетики: Рівняння повільних процесів. Принцип детальної рівноваги. Кінетичне рівняння Больцмана.

Проведення модульної контрольної роботи №2

Модульний контроль №2

Контрольні запитання.

1. Чим відрізняються канонічний та мікроканонічний ансамблі?
2. В якому випадку треба описувати систему матрицею густини?
3. Що таке ентропія?
4. В чому полягає правило фаз Гіббса?
5. Як пов'язані функції розподілу Фермі, Бозе, і Больцмана?

Змістовний модуль 3: Елементи квантової теорії конденсованого стану

ЛЕКЦІЯ 11. (2 години)

Квантові частинки у періодичному потенціалі. Обернена ґратка. Теорема Блоха. Енергетична зонна структура.

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №8. (1 год.)

Обчислення спектру для частинки в періодичному потенціалі дельта-функцій (гребінка Дірака). Поверхневі (таммівські) стани для гребінки Дірака, обмеженої з одного боку стінкою.

ЛЕКЦІЯ 12. (2 години)

Загальні властивості енергетичної зонної структури. Фермі-поверхня. Ефективна маса. Густина станів, сингулярності Ван Хова. Метали, напівпровідники і діелектрики. Локалізація електронних станів внаслідок безпорядку. Квазіперіодичні структури та особливості їх спектрів.

Лабораторна робота №4 (виконується в комп'ютерному класі, програмне забезпечення — Maple): Встановлення структури ДНК за даними рентгенівської дифракції.

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №9. (2 год.)

Зонна структура, Фермі-поверхня і густина станів в наближенні сильного зв'язку (tight-binding) і взаємодії найближчих сусідів для квадратної і гексагональної ґраток. Графен.

ЛЕКЦІЯ 13. (2 години)

Взаємодія речовини з електромагнітними полями. Процеси поглинання і емісії, правила відбору. Розсіяння випромінювання на квазічастинках, спектроскопія.

Проведення модульної контрольної роботи №3.

Модульний контроль №3

Контрольні запитання.

1. Що таке сингулярності Ван Хова?
2. В чому полягає явище надплинності?
3. Чим обумовлена необхідність введення граничних умов Борна-Кармана?
4. На чому базуються спектроскопічні методи вивчення елементарних збуджень в конденсованих середовищах?
5. Що зумовлює особливості фазових переходів в низьковимірних системах ?

Самостійна робота студентів.

Постійними завданнями для самостійної роботи є:

- робота над лекційним матеріалом з конспектом та рекомендованою літературою;
- виконання домашніх завдань;
- опрацювання частини лекційного матеріалу, винесеного на самостійне вивчення.

Приблизні теми індивідуальних навчальних проєктів (кінцевий варіант списку готується протягом перших 2-3 лекцій)

1. Фотонні кристали
2. Ефект Ааронова-Бома
3. Квазікласичне наближення в квантовій теорії.
4. Періодична система елементів з точки зору квантової теорії
5. Інтеграл по шляхам. Інстантони.
6. Квантовий ефект Хола.
7. Феноменологічна теорія надпровідності Гінзбурга-Ландау.
8. Лазери на квантових гетероструктурах
9. Надпровідність тонких плівок
10. Спінтроніка (органічні матеріали та системи)

Підсумковий контроль – залік.

Перелік рекомендованої літератури

Основна:

1. Л.Д.Ландау, Е.М.Лифшиц, Квантовая механика// М.: Наука, 1989
2. Д.И.Блохинцев, Основы квантовой механики М.: Наука, 1976
3. Л.Д.Ландау, Е.М.Лифшиц, Статистическая физика // М.: Наука, 1976
4. Р.Фейнман, Статистическая механика// М.: Мир, 1978
5. О.В.Третьяк, В.З.Лозовський, Основы фізики напівпровідників. Т.І // Київ: ВПЦ «Київський університет», 2007
6. А.Анималу, Квантовая теория кристаллических твердых тел // М.: Мир, 1981

Додаткова:

1. Tang C. Fundamentals of Quantum Mechanics, for solid state electronics and optics (Cambridge University Press, 2005)
2. Ziman J.M. Elements of Advanced Quantum Theory (CUP, 1969)
3. Nayak C. Solid state physics (UCLA lecture notes, 2000)
4. Greiner W. Quantum Mechanics.. Special Chapters (Springer,1998).
5. Basdevant J.-L., Dalibard J. Quantum mechanics (Springer, 2002)