

Міністерство освіти і науки України

Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна

Кафедра теоретичної фізики імені академіка І.М.Ліфшиця

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Перший проректор

“ _____ ” _____ 20__ р.

Програма навчальної дисципліни

Мезоскопічна фізика

(назва навчальної дисципліни)

напрямок _____ 040203 – фізика _____
(шифр, назва напрямку)

спеціальність _____ 8.04020301 – фізика _____
(шифр, назва спеціалізації)

спеціалізація _____
(шифр, назва спеціалізації)

факультет _____ фізичний _____

2015 / 2016 навчальний рік

Програму рекомендовано до затвердження Вченою радою факультету (інституту, центру)

“18” вересня 2015 року, протокол № 7

РОЗРОБНИКИ ПРОГРАМИ:

Криве Ілля Валентинович, доктор фіз-мат. наук, професор.

Програму схвалено на засіданні кафедри

теоретичної фізики імені академіка І.М. Ліфшиця

Протокол від “7” вересня 2015 року протокол № 8.

Завідувач кафедри теоретичної фізики академіка І.М. Ліфшиця

(Рашба Г.І.)

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Програму погоджено методичною комісією

фізичного факультету

назва факультету, для здобувачів вищої освіти якого викладається навчальна дисципліна

Протокол від “ 17 ” _____ 2015 року № 1

Голова методичної комісії _____

Макаровський М.О.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

ВСТУП

Програма навчальної дисципліни «Мезоскопічна фізика» складена відповідно до освітньо-професійної (освітньо-наукової) програми підготовки другого рівню вищої освіти – магістр

напряму підготовки 040203 – фізика

спеціальності 8.04020301 – фізика

Предметом вивчення навчальної дисципліни «Мезоскопічна фізика» є сукупність фізичних явищ, які спостерігаються у тілах кінцевих розмірів, що містять мікроскопічні неоднорідності, що пов'язані з неусередненістю властивостей тіл за різними реалізаціями випадкових неоднорідностей. Проявляється це у тому, що у тіл, які характеризуються однаковими геометричними розмірами, концентрацією домішок, температурою та ін. макроскопічними параметрами, ряд властивостей різний.

Програма навчальної дисципліни складається з таких розділів:

Розділ 1. Квантова механіка – основа мезоскопічної фізики. Квантові обчислення – кубіти. (теми 1-3)

Розділ 2. Транспорт, термоелектричні та флуктуаційні явища у мезоскопії. (теми 4-6)

Розділ 3. S-матриця, T-матриця та кондактанс. (теми 7-8)

Розділ 4. Мезоскопічні явища у квазіодновимірних системах (теми 9-13)

1. Мета та завдання навчальної дисципліни

1.1. Метою викладання навчальної дисципліни «Мезоскопічна фізика» є ознайомлення студентів з сучасними проблемами мезоскопічної фізики та створення у них уявлень стосовно того, як побудувати квантову теорію ансамблю невпорядкованих малих систем, які знаходяться в однаковому макроскопічному стані, але відрізняються реалізацією невпорядкованості (концепція «домішкового ансамблю»).

1.2. Основними завданнями вивчення дисципліни «Мезоскопічна фізика» є навчити студентів:

- досліджувати фізичні явища у мезоскопічних системах,
- використовувати поняття та методи квантової механіки з метою дослідження мезоскопічних явищ,
- використовувати поняття кубітів при дослідженнях систем у змішаних станах,
- знати, як реалізуються квантові точки у двовимірному електронному газі,
- володіти технікою теоретичного дослідження транспорту електронів і термоелектричних ефектів,
- досліджувати явище резонансного тунелювання у мезоскопічних системах,
- вміти розраховувати фізичні характеристики квантових точок в умовах кулонівської блокади.

1.3. Згідно з вимогами освітньо-професійної (освітньо-наукової) програми студенти повинні досягти таких результатів навчання:

знати: точні та наближені методи дослідження мезоскопічних систем.

вміти: теоретичним шляхом досліджувати фізичні процеси у мезоскопічних системах.

2. Опис навчальної дисципліни

Найменування показника	Галузь знань (предметна область), напрям, спеціальність, рівень вищої освіти / освітньо-кваліфікаційний рівень	Характеристика навчальної дисципліни
		денна форма навчання
Кількість кредитів – 1.7	Галузь знань (предметна область) 0402 – фізико-математичні науки Напрямок: 040203 – фізика.	Нормативна
		Рік підготовки 5-й
Індивідуальне науково-дослідне завдання курсова робота (назва)	Спеціальність: 8.04020301 – фізика. Рівень вищої освіти (освітньо-кваліфікаційний рівень): Магістр.	Семестри
Загальна кількість годин – 52		9-й
Тижневих годин для денної форми навчання: аудиторних – 1 год. в 9-му семестрі. Самостійної роботи студента – 2 год. в 9-му сем.		Лекції
		18 год.
		Практичні, семінарські
		Немає
		Лабораторні
		Немає
		Самостійна робота
		34 год.
		Індивідуальні завдання:
		0 год.
Вид контролю:		
		Залік

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

для денної форми навчання – 53 %.

3. Виклад змісту навчальної дисципліни 9-й семестр

Тема 1. Вступ.

Що таке мезоскопічна фізика? Квантова когерентність. Декогеренція квантових систем. Довжина збою фази та її залежність від температури. Балістичний та дифузний транспорт.

Тема 2. Основні постулати квантової механіки.

Рівняння Шредінгера. Інтеграл по траєкторіях. Вектор стану системи і різні представлення хвильової функції. Часова динаміка квантової системи: представлення Шредінгера і Гейзенберга. Рівняння Гейзенберга.

Тема 3. Кубіти і квантові обчислення.

Що таке кубіт (qubit)? Перетворення кубіту. Матриця однокубітних перетворень. Перетворення Адамара. Двокубітові системи. Переплутаність (entanglement). Ентропія переплутаності (ентропія фон Неймана). Максимально переплутані двокубітові стани (стани Белла). Квантова телепортація.

Тема 4. Когерентний транспорт електронів, які не взаємодіють.

Виведення формули Ландауера. Квант кондактансу. Двовимірні квантові точкові контакти. Квантування кондактансу в квантових точкових контактах у двовимірному електронному газі.

Тема 5. Термоелектричні ефекти.

Матриця кінетичних коефіцієнтів. Співвідношення Онзагера. Термо-е.р.с. і термокондактанс (формули Сівана-Ірмі і формула Мотта). Квантування теплокондактансу. Універсальність кванту теплокондактансу.

Тема 6. Флуктуації струму і шуми в квантових системах.

Термічні шуми. Дробовий шум (shot noise). Загальна формула для інтенсивності шуму. Формула Джонсона-Найквіста і формула Шоттки. Статистика шумів (Full Counting Statistics).

Тема 7. S-матриця і T-матриця.

Властивості S-матриці. Загальний вигляд S-матриці одноканального розсіяння. «Y-junction». Параметризація Азбеля-Бюттікера-Ірмі для S-матриці. Трансфер матриця для одноканального розсіяння. Властивості трансфер матриці.

Тема 8. Резонансне розсіяння.

Вивід формули Брейта-Вігнера методом трансфер-матриці. Резонансне тунелювання. Температурна залежність кондуктансу при резонансному тунелюванні.

Тема 9. Кулонівська блокада.

Що таке «кулонівська блокада». Енергія «зарядки» E_c . Одноелектронні транзистори. Осциляції кондактансу в одно електронних транзисторах. Однорівневі квантові доти. Рівняння балансу (“master equation”) і вираз для струму при послідовному тунелюванні електронів через квантовий дот.

Тема 10. «Золоте правило» Фермі і обчислення ймовірностей переходів електронів в квантових «дотах».

Тунельний гамільтоніан. Обчислення ймовірностей тунельних процесів в найнижчому порядку по прозорості тунельного бар'єру. Когерентний та некогерентний транспорт електронів через квантові точки. Послідовне тунелювання, “cotunneling” та Кондо-резонанс. Температурна залежність кондактанса в умовах Кондо-резонансу.

Тема 11. Електрон-фононна взаємодія в квантових точках.

Одномолекулярні транзистори. НОМО і LUMO рівні. Непружне тунелювання. Гамільтоніан електрон-вібронаї взаємодії. Унітарне перетворення Ланга-Фірсова. Поляронна блокада. Унітарність та зняття блокади Франка-Кондора при високій температурі.

Тема 12. Персистентний струм в квантових кільцях.

Персистентний струм у надпровідних і нормальних системах. Розрахунок амплітуди персистентного струму при нульовій температурі. Ефект парності. Формула Куліка для персистентного струму у металевих кільцях. Залежність амплітуди від температури. Персистентний струм в діелектричних кільцях. Вплив домішок на персистентний струм.

Тема 13. Ефект Казимира.

Енергія нульових коливань. Ферміони і бозони. Розрахунок сили Казимира для квантових флуктацій фононних полів в скінченній одновимірній системі. Скінченні температури. Метод аналітичної регуляризації. Енергія Казимира.

4. Структура навчальної дисципліни

Назви модулів і тем	Кількість годин					
	Денна форма					
	Усього	у тому числі				
л		п	лаб	інд	с.р	
1	2	3	4	5	6	7
9 семестр						
Розділ 1. Квантова механіка – основа мезоскопічної фізики. Квантові обчислення – кубіти.						
Тема 1.	4	1				3
Тема 2.	5	2				3
Тема 3.	4	1				3
Разом за розділом 1.	13	4				9
Розділ 2. Транспорт, термоелектричні та флуктуаційні явища у мезоскопії.						
Тема 4.	4	1				3
Тема 5.	4	2				2
Тема 6.	4	1				3
Разом за розділом 2.	12	4				8
Розділ 3. S-матриця, T-матриця та кондактанс.						
Тема 7.	4	1				3
Тема 8.	3	1				2
Разом за розділом 3.	7	2				5
Розділ 4. Мезоскопічні явища у квазіодновимірних системах						
Тема 9.	5	2				3
Тема 10.	3	1				2
Тема 11.	5	2				3
Тема 12.	3	1				2
Тема 13.	4	2				2
Разом за розділом 4.	20	8				12
Залік						
Усього годин	52	18				34

5. Теми практичних занять

Не передбачені навчальним планом.

6. Самостійна робота

Назва теми	Кількість годин	Форма контролю
1	2	3
Тема 1. Квантова когерентність. Декогеренція квантових систем. Довжина збою фази та її залежність від температури. Балістичний та дифузний транспорт.	3	опитування
Тема 2. Теорія представлень. Інтеграл по траєкторіях. Вектор стану системи і різні представлення хвильової функції. Часова динаміка квантової системи: представлення Шредінгера і Гейзенберга. Рівняння Гейзенберга.	2	опитування
Тема 3. Поняття біта та квантового біта. Перетворення кубіту. Матриця однокубітних перетворень. Перетворення Адамара. Двокубітові системи. Переплутаність (entanglement). Ентропія переплутаності (ентропія фон Неймана). Максимально переплутані двокубітові стани (стани Белла). Квантова телепортація.	3	опитування
Тема 4. Когерентний транспорт електронів, які не взаємодіють. Вивід формули Ландауера. Квант кондактансу. Двовимірні квантові точкові контакти. Квантування кондактансу в квантових точкових контактах у двовимірному електронному газі.	2	опитування
Тема 5. Термоелектричні ефекти. Співвідношення Онзагера для кінетичних коефіцієнтів. Формули Сівана-Ірмі і формула Мотта. Квантування теплокондактансу. Квант теплокондактансу.	3	опитування
Тема 6. Флуктуації струму і шуми в квантових системах. Загальна формула для інтенсивності шуму. Формула Джонсона-Найквіста і формула Шотткі.	2	опитування
Тема 7. Матриця розсіяння і трансфер матриця. Трансфер матриця для одноканального розсіяння. Властивості трансфер матриці.	3	опитування
Тема 8. Резонансне розсіяння. Розгляд виводу формули Брейта-Вігнера методом трансфер-матриці. Поняття резонансного тунелювання. Температурна залежність кондуктансу при резонансному тунелюванні.	2	опитування
Тема 9. Кулонівська блокада. Одноелектронні транзистори. Осциляції кондактансу в одноелектронних транзисторах. Однорівневі квантові доти. Рівняння балансу ("master equation") і вираз для струму при послідовному тунелюванні електронів через квантовий дот.	3	опитування
Тема 10. Тунельний гамільтоніан. Обчислення ймовірностей тунельних процесів в найнижчому порядку по прозорості тунельного бар'єру. Когерентний та некогерентний транспорт електронів через квантові точки. Послідовне тунелювання, "cotunneling" та Кондо-резонанс. Температурна залежність кондактанса в умовах Кондо-резонансу.	2	опитування
Тема 11. Одномолекулярні транзистори. НОМО і LUMO рівні. Непружне тунелювання. Гамільтоніан електрон-вібронної взаємодії. Унітарне перетворення Ланга-Фірсова. Поляронна блокада. Унітарність та зняття блокади Франка-Кондора при високій температурі.	3	опитування
Тема 12. Вивід формули Куліка для персистентного струму у металевих кільцях. Залежність амплітуди від температури. Персистентний струм в	3	опитування

діелектричних кільцях. Вплив домішок на персистентний струм.		
Тема 13. Ефект Казимира. Нульові коливання. Розрахунок сили Казимира для квантових флуктацій фононних полів в скінченній одновимірній системі. Скінченні температури. Метод аналітичної регуляризації. Енергія Казимира.	3	опитування
Разом	34	

7. Індивідуальні завдання

Не передбачені навчальним планом.

8. Методи навчання

Лекції, самостійна робота.

9. Методи контролю

Залік.

10. Розподіл балів, які отримують студенти

Підсумковий семестровий контроль (залік)	Сума
100	100

Шкала оцінювання

Сума балів за всі види навчальної діяльності протягом семестру	Оцінка за національною шкалою	
	для заліку	
90 – 100	Зараховано	
70-89		
50-69		
1-49	Не зараховано	

11. Рекомендоване методичне забезпечення

1. Робоча програма навчальної дисципліни.
2. Навчальні посібники, монографії, наукові статті.
3. Мультимедійні презентації лекцій.

Базова література

1. Имри Й. Введение в мезоскопическую физику. Пер. с англ. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2004. – 304с.

Допоміжня

1. Datta S. Electronic Transport in Mesoscopic Systems. – Cambridge University Press. – 1995. -377P.
2. "Mesoscopic Electron Transport" edited by L. P. Kouwenhoven, G. Schoen, and L. L. Sohn, NATO ASI Series E (Kluwer Academic Publishing, Dordrecht) Посилання на електронне джерело:
<http://www.physics.drexel.edu/~goran/nano/references/QD/ElectronTransportQD.pdf>
3. Weinnmann D. The Physics of Mesoscopic Systems. Посилання на електронне джерело:
<http://www-ipcms.u-strasbg.fr/IMG/pdf/petra.pdf>

Інформаційні ресурси

1. Учбові матеріали на сайті кафедри теоретичної фізики
http://kaf-theor-phys.univer.kharkov.ua/ukrainian/for%20students_study_ukr.html
http://kaf-theor-phys.univer.kharkov.ua/ukrainian/for%20students_ref_ukr.html
2. Відеолекції та відкриті освітні матеріали МФТІ
<http://lectoriy.mipt.ru/course/viewall/>