

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

Фізика дисперсних систем: фізичні основи нанотехнологій

(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. М. Ліфшиця

Протокол від “ 8 ” вересня 2015 року протокол № 8

Завідувач кафедри теоретичної фізики академіка. 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 ” вересня 2015 року № 1

Голова методичної комісії _____

Макаровський М.О.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

ВСТУП

Програма навчальної дисципліни «Фізика дисперсних систем: фізичні основи нанотехнологій» 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 «Фізика дисперсних систем: фізичні основи нанотехнологій» є фізичні явища у дисперсних системах та використання їх з метою створення наукової бази сучасної нанотехнології.

Програма навчальної дисципліни складається з таких розділів:

Розділ 1. Нанотехнології і мезоскопічна фізика. (теми 1-3)

Розділ 2. Квантова механіка – основа мезоскопічної фізики. (теми 4-6)

Розділ 3. Кубіти. (теми 7-11)

Розділ 4. Квантові точкові контакти. (теми 12-15)

Розділ 5. Транспорт тепла і термоелектричні ефекти у балістичних системах. (теми 16-18)

Розділ 6. Резонансне тунелювання. (теми 19-21)

Розділ 7. Квантові точки і кулонівська блокада. (теми 22-25)

Розділ 8. Вуглецеві нанотрубки. (теми 26-28)

Розділ 9. Молекулярні транзистори. (теми 29-32)

1. Мета та завдання навчальної дисципліни

1.1. Метою викладання навчальної дисципліни «Фізика дисперсних систем: фізичні основи нанотехнологій» є ознайомлення студентів з сучасними проблемами мезоскопічної фізики та створення у них уявлень стосовно того, як дія квантових законів трансформується при переході у класичний макроскопічний режим.

1.2. Основними завданнями вивчення дисципліни «Фізика дисперсних систем: фізичні основи нанотехнологій» 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 точкові контакти у двовимірному електронному газі,
- володіти технікою теоретичного дослідження транспорту тепла і термоелектричних ефектів у балістичних системах,
- досліджувати явище резонансного тунелювання у дисперсних системах,
- вміти розраховувати фізичні характеристики квантових точок у тому числі і при наявності кулонівської блокади,
- досліджувати фізичні явища у вуглецевих нанотрубках в залежності від кута кіральності,
- описувати фізичні процеси у молекулярних транзисторах.

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 – 30 | Галузь знань (предметна область) 0402 – фізико-математичні науки Напрямок: 040203 – фізика. | Нормативна |
| Індивідуальне науково-дослідне завдання курсова робота (назва) | Спеціальність: 8.04020301 – фізика. | Рік підготовки 5-й |
| Загальна кількість годин – 90 | Рівень вищої освіти (освітньо-кваліфікаційний рівень): Магістр. | Семестри |
| Тижневих годин для денної форми навчання: аудиторних – 2 год. в 9-му семестрі. Самостійної роботи студента – 1.5 год. в 9-му сем. | | 9-й |
| | | Лекції |
| | | 36 год. |
| | | Практичні, семінарські |
| | | Немає |
| | | Лабораторні |
| | | Немає |
| | | Самостійна робота |
| | | 54 год. |
| | | Індивідуальні завдання: |
| | | 0 год. |
| | | Вид контролю: |
| | | екзамен |

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

для денної форми навчання – 67 %.

3. Виклад змісту навчальної дисципліни

9-й семестр

Розділ 1. Нанотехнології і мезоскопічна фізика.

Тема 1. Фазова когерентність макроскопічних систем.

Тема 2. Інтерференція молекул фулерена.

Тема 3. Надпровідні кубіти.

Розділ 2. Квантова механіка – основа мезоскопічної фізики.

Тема 4. Рівняння Шредінгера і Гейзенберга.

Тема 5. Інтеграл по траєкторіям Фейнмана.

Тема 6. Різні представлення в квантовій механіці.

Розділ 3. Кубіти.

Тема 7. Дворівневі квантові системи.

Тема 8. Матриця перетворень кубіта.

Тема 9. Матриця густини і змішані стани.

Тема 10. Переплутані стани в квантовій теорії.

Тема 11. Геометрична ентропія (ентропія фон Неймана).

Розділ 4. Квантові точкові контакти.

Тема 12. Гетероструктури і двовимірний електронний газ.

Тема 13. Формула Ландауера для кондактанса.

Тема 14. Адіабатичні контакти і квантування кондактансу у двовимірному електронному газі.

Тема 15. «Break junction» і квантування кондуктансу в атомних контактах.

Розділ 5. Транспорт тепла і термоелектричні ефекти у балістичних системах.

Тема 16. Вимірювання кванта термокондактансу.

Тема 17. Закон Відемана-Франца.

Тема 18. Термо е.д.с. і формула Мотта.

Розділ 6. Резонансне тунелювання.

Тема 19. Формула Брейта-Вігнера для резонансного коефіцієнту проходження електронів скрізь два бар'єра.

Тема 20. Температурна залежність резонансного кондуктансу.

Тема 21. Максимальний струм скрізь однорівневу систему.

Розділ 7. Квантові точки і кулонівська блокада.

Тема 22. «Ортодоксальна» теорія кулонівської блокади.

Тема 23. Однорівневі і багаторівневі квантові «точки».

Тема 24. Осциляції кондактансу по напрузі на затворі.

Тема 25. Одноелектронні транзистори.

Розділ 8. Вуглецеві нанотрубки.

Тема 26. Графен і вуглецеві нанотрубки.

Тема 27. Діраковські електрони в одношарових вуглецевих нанотрубках (спектр, кут киральності).

Тема 28. Киральне тунелювання.

Розділ 9. Молекулярні транзистори.

Тема 29. Молекулярний транзистор на основі C₆₀.

Тема 30. Вільно підвішені вуглецеві нанотрубки.

Тема 31. Транспорт електронів в одномолекулярних транзисторах.

Тема 32. Блокада Франка-Кондона і аномальна температурна залежність кондактансу.

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. Нанотехнології і мезоскопічна фізика. | | | | | | |
| Тема 1 | 3 | 1 | | | | 2 |
| Тема 2 | 3 | 1 | | | | 2 |
| Тема 3 | 3 | 1 | | | | 2 |
| Разом за модулем 1 | 9 | 3 | | | | 6 |
| Розділ 2. Квантова механіка – основа мезоскопічної фізики. | | | | | | |
| Тема 4 | 3 | 1 | | | | 2 |
| Тема 5 | 3 | 1 | | | | 2 |
| Тема 6 | 3 | 1 | | | | 2 |
| Разом за модулем 2 | 9 | 3 | | | | 6 |
| Розділ 3. Кубіти. | | | | | | |
| Тема 7 | 3 | 1 | | | | 2 |
| Тема 8 | 3 | 1 | | | | 2 |
| Тема 9 | 3 | 1 | | | | 2 |
| Тема 10 | 3 | 1 | | | | 2 |
| Тема 11 | 3 | 1 | | | | 2 |
| Разом за модулем 3 | 15 | 5 | | | | 10 |
| Розділ 4. Квантові точкові контакти. | | | | | | |
| Тема 12 | 3 | 1 | | | | 2 |
| Тема 13 | 3 | 1 | | | | 2 |
| Тема 14 | 3 | 1 | | | | 2 |
| Тема 15 | 3 | 1 | | | | 2 |
| Разом за модулем 4 | 12 | 4 | | | | 8 |
| Розділ 5. Транспорт тепла і термоелектричні ефекти у балістичних системах. | | | | | | |
| Тема 16 | 3 | 1 | | | | 2 |
| Тема 17 | 3 | 1 | | | | 2 |
| Тема 18 | 3 | 1 | | | | 2 |
| Разом за модулем 5 | 9 | 3 | | | | 6 |
| Розділ 6. Резонансне тунелювання. | | | | | | |
| Тема 19 | 3 | 1 | | | | 2 |
| Тема 20 | 3 | 1 | | | | 2 |
| Тема 21 | 3 | 1 | | | | 2 |
| Разом за модулем 6 | 9 | 3 | | | | 6 |
| Розділ 7. Квантові точки і кулонівська блокада. | | | | | | |
| Тема 22 | 3 | 1 | | | | 2 |

| | | | | | |
|---|-----------|-----------|--|--|-----------|
| Тема 23 | 2 | 1 | | | 1 |
| Тема 24 | 2 | 1 | | | 1 |
| Тема 25 | 2 | 1 | | | 1 |
| Разом за модулем 7 | 9 | 4 | | | 5 |
| Розділ 8. Вуглецеві нанотрубки. | | | | | |
| Тема 26 | 2 | 1 | | | 1 |
| Тема 27 | 2 | 1 | | | 1 |
| Тема 28 | 2 | 1 | | | 1 |
| Разом за модулем 8 | 6 | 3 | | | 3 |
| Розділ 9. Молекулярні транзистори. | | | | | |
| Тема 29 | 3 | 2 | | | 1 |
| Тема 30 | 3 | 2 | | | 1 |
| Тема 31 | 3 | 2 | | | 1 |
| Тема 32 | 3 | 2 | | | 1 |
| Разом за модулем 9 | 12 | 8 | | | 4 |
| Екзамен | | | | | |
| Усього годин | 90 | 36 | | | 54 |

5. Теми практичних занять

Не передбачені навчальним планом.

6. Самостійна робота

| № з/п | Назва теми | Кількість годин | Форма контролю |
|-------|--|-----------------|----------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1. | Теорія Таулеса. | 2 | опитування |
| 2. | Локалізація у тонких плівках та ефекти скінченної температури. | 2 | опитування |
| 3. | Скейлінгвая теорія локалізації. | 2 | опитування |
| 4. | Режим слабкої локалізації. | 3 | опитування |
| 5. | Дефазування за рахунок електрон-електронної взаємодії. | 3 | опитування |
| 6. | Співвідношення між часом дефазування та часом електрон-електронного розсіяння. | 2 | опитування |
| 7. | Термодинамічні флуктуаційні ефекти. | 3 | опитування |
| 8. | Квантова інтерференція та рівноважні властивості. | 3 | опитування |
| 9. | Персистентні струми. | 2 | опитування |
| 10. | Провідність Кубо для систем обмежених розмірів. | 3 | опитування |
| 11. | Формулювання Ландауера для кондуктансу мезоскопічної системи. | 3 | опитування |
| 12. | Локалізація у потужних магнітних полях та КЕХ. | 3 | опитування |
| 13. | Дробний КЕХ. | 3 | опитування |
| 14. | Мезоскопіка та надпровідність. | 3 | опитування |

| | | | |
|-----|--|-----------|------------|
| 15. | Надпровідні кільця та тонкі дроти. | 2 | опитування |
| 16. | Слабозв'язані провідники. | 3 | опитування |
| 17. | Ефект Джозефсона. | 3 | опитування |
| 18. | Шум в мезоскопічних системах. | 2 | опитування |
| 19. | Дробовий шум для випадку «випромінювання із резервуара». | 3 | опитування |
| 20. | Квантова теорія кореляторів шумів. | 2 | опитування |
| 21. | Ефект Ааронова-Бома і теорема Байерса-Янга та Блоха. | 2 | опитування |
| | Разом | 54 | |

7. Індивідуальні завдання

Не передбачені навчальним планом.

8. Методи навчання

Лекції, самостійна робота.

9. Методи контролю

Екзамен.

10. Розподіл балів, які отримують студенти

| | |
|---|------|
| Підсумковий семестровий контроль (екзамен) | Сума |
| 100 | 100 |

Шкала оцінювання

| Сума балів за всі види навчальної діяльності протягом семестру | Оцінка за національною шкалою | |
|--|-------------------------------|--|
| | для екзамену | |
| 90 – 100 | відмінно | |
| 70-89 | добре | |
| 50-69 | задовільно | |
| 1-49 | незадовільно | |

11. Рекомендоване методичне забезпечення

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

Базова література

1. Й. Имри. Введение в мезоскопическую физику. Москва. Физматлит. 2004.

Допоміжна література

1. O.A.Pinskaya, S.I.Kulinich, I.V.Krive, R.I.Shekhter, M.Jonson "Magnetically controlled single-electron shuttle", Low Temperature Physics v.41 (No 1), pp.70-74 (2015).
2. S.I. Kulinich, L.Y. Gorelik, A.N. Kalinenko, I.V. Krive, R.I. Shekhter, Y.W. Park, M. Jonson, Single electron shuttle based on electron spin, Phys. Rev. Lett. v.112, 117206 (2014).
3. A.V. Parafilo, I.V. Krive, R.I. Shekhter, Y.W. Park, M. Jonson, Polaronic effects and thermally enhanced superconductivity, Phys. Rev. B v.89, 115138 (2014).
4. R.I. Shekhter, L.Y. Gorelik, I.V. Krive, M. Kiselev, S.I. Kulinich, A.V. Parafilo, K. Kikoin, M. Jonson, Electronic spin working mechanically, ФНТ 40, No 7 (2014).

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/>