

Відгук
офіційного опонента на дисертаційну роботу
Шкоп Анастасії Дмитрівни
**«Ефекти електрон-електронної та електрон-вібронної взаємодії
в транспорті заряду та спіну в тунельних наноструктурах»,**
що висувається на здобуття наукового ступеня
кандидата фізико-математичних наук
за спеціальністю 01.04.02 – «теоретична фізика»

Головною метою дисертаційної роботи Шкоп А. Д. є теоретичний опис впливу електрон-електронної та електрон-вібронної взаємодії на тунельний транспорт заряду та спіну в вуглецевих нанотрубках та молекулярних транзисторах. Ці системи привертають увагу, бо вони є перспективними для застосування в нанорозмірній електроніці. Дослідження проходження електронами потенціального бар'єру у вуглецевій нанотрубці за наявності електрон-фононої взаємодії є важливою задачею з огляду на проблему локалізації носіїв заряду в нанотрубках. Спін-поляризований транспорт, що розглянутий в дисертації, є об'єктом сучасних досліджень в галузі спінтроники. Пошук нових підходів до створення квантового комп'ютера стимулює також інтерес до вивчення майоранівських зв'язаних станів, що утворюються на кінцях нанодроту на поверхні надпровідника. В дисертаційній роботі розглянуто транспортні властивості системи контактів з майоранівським нанодротом. Описані тунельні процеси важливі для можливих застосувань для розвитку фундаментальних основ квантової механіки та збагачення знань щодо мезоскопічних транзисторів. Таким чином, тема дисертаційної роботи Шкоп А. Д. є, безумовно, **актуальною**.

Зазначу, що **актуальність** досліджень дисертаційної роботи Шкоп А. Д. підтверджується також тим, що вони є складовою частиною наступних проектів, які виконувались у відділі теоретичної фізики Фізико-технічного інституту низьких температур імені Б.І. Веркіна НАН України: «Теоретичні дослідження нелінійних та квантових явищ в наноструктурах і нових матеріалах» (номер державної реєстрації 0112U002642, термін виконання 2012 – 2016 рр.), «Теоретичні дослідження колективних явищ у квантових конденсованих структурах та наноматеріалах» (номер державної реєстрації 0117U002292, термін виконання 2017 – 2021 рр.).

Дисертаційна робота складається з п'яти розділів. В першому розділі надається огляд літератури за темою дисертації, чотири розділи є оригінальними, наведено висновки і список використаних джерел.

У **першому розділі** міститься послідовний огляд літератури з питань, тісно пов'язаних з темою дисертації. Наведено висновки з робіт інших авторів, що зумовлюють коло задач для вирішення в дисертаційній роботі. **Другий розділ** присвячений пошуку особливостей струму через систему тунельних контактів з майоранівським нанодротом порівняно з системою зі звичайними резонансними тунельними контактами, при цьому враховується

асиметрія тунельних зв'язків. У **третьому розділі** досліджено вплив електрон-фононої взаємодії, зумовленою пружними деформаціями металевої одношарової вуглецевої нанотрубки, на спектр носіїв заряду. Виявлено, що в спектрі відкривається щілина, розраховано коефіцієнт проходження електронами електростатичного бар'єру в такій системі. Залежність результатів від куту хіральності нанотрубки приводить до хірального тунелювання в розглянутій моделі. **Четвертий розділ** представляє теоретичний опис транспортних властивостей молекулярного транзистора зі спін-поляризованими електродами, поміщеного у зовнішнє магнітне поле. На транспортні характеристики транзистора, в якому квантова точка (молекула) має коливальні ступені свободи, сильно впливає електрон-віброна взаємодія. Зовнішнє магнітне поле впроваджує перевероти спіну на квантовій точці та керує спіновим транспортом. При обчисленнях враховується й кулонівська взаємодія. Систему досліджено в наближенні послідовного тунелювання при слабкому тунельному зв'язку. Обчислено вольт-амперні характеристики та кондуктанс із застосуванням аналітичних та чисельних методів. Проаналізовано поведінку кривих при комбінаціях параметрів, які розкривають взаємодію кулонівських та вібронних ефектів та особливості системи, зумовлені зєсманівським розщепленням. Отримано, що кондуктанс спінтронного молекулярного транзистора при сильній електрон-вібронній взаємодії є немонотонною функцією температури в широкому діапазоні значень зовнішнього магнітного поля та при довільній кулонівській енергії. У **п'ятому розділі** для спінтронного молекулярного транзистора, в якому враховуються також обмінні сили, досліджується виникнення магнітнокерowanego човникового транспорту – шатлювання заряду та спіну. Пристрій розглянуто в двох конфігураціях: коли до електродів прикладено тягнучу напругу та коли електроди підтримуються при суттєво різних температурах. В останньому випадку, коли можливе термоіндуковане шатлювання, проводяться розрахунки діаграм областей параметрів, при яких явище має місце. Отримано, що термоіндукований магнітний шатл є пороговим за різницею температур електродів, величиною кулонівської взаємодії та зовнішнього магнітного поля.

Таким чином, в дисертаційній роботі Шкоп А. Д. отримано важливі **нові результати** в області нанофізики, а саме: знайдено коефіцієнт проходження енергетичного бар'єру в вуглецевій нанотрубці для електронів зі щілиною в спектрі, що індукована електрон-фононою та електрон-електронною взаємодією; розраховано залежність струму від напруги та кондуктансу від температури для спінтронного молекулярного транзистора в зовнішньому магнітному полі; знайдено оптимальні умови для спостереження максимуму кондуктансу при нульовій напрузі в системі з майоранівськими станами; отримано порогові значення енергії кулонівської взаємодії, зовнішнього магнітного поля та різниці температур в електродах для термоіндукованого магнітнокерowanego човникового транспорту в спінтронному молекулярному транзисторі.

Достовірність наукових результатів і обґрунтованість висновків не викликає сумнівів, оскільки для розрахунків використовувались добре апробовані аналітичні та чисельні методи, а саме: метод матриці густини, теорія збурень, метод Хартрі-Фока, метод ренормгрупи.

Практичне значення результатів дисертації. Результати представлених теоретичних досліджень мають фундаментальне значення, оскільки розширюють знання щодо впливу електрон-електронної та електрон-вібронної взаємодії на транспорт заряду та спіну в наноструктурах. Особливості струму та кондуктансу майоранівської системи при сильній асиметрії можуть бути використані для аналізу експериментів з виявлення майоранівських станів. Знайдені особливості вольт-амперних характеристик спітронного молекулярного транзистора можуть пояснити експериментальні дані реальних систем та мати застосування в спектроскопії молекул.

Вважаю, що було б доцільно ознайомити з науковими результатами дисертаційної роботи Шкоп А. Д. фахівців таких інститутів НАН України і університетів МОН як Інститут радіофізики та електроніки ім. О.Я. Усикова НАН України (м. Харків), Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна МОН України, Фізико-технічний інститут низьких температур імені Б. І. Веркіна НАН України (м. Харків), Інститут теоретичної фізики ім. М.М. Боголюбова НАН України (м. Київ), Інститут фізики НАН України (м. Київ), Донецький фізико-технічний інститут ім. О.О. Галкіна НАН України (м. Київ).

Маю наступні **зауваження** до тексту дисертації:

1. В першому підрозділі четвертого розділу розв'язується задача щодо струму в молекулярному транзисторі зі спін-поляризованими електродами в граничному випадку відсутності електрон-електронної взаємодії. В загальному випадку довільних значень кулонівської взаємодії струм знайдено іншим методом у другому підрозділі. При цьому в тексті дисертації не обговорюється, чи є відповідність результатів у випадку нульової взаємодії.


2. В четвертому розділі йдеться про аномальну температурну залежність кондуктансу молекулярного транзистора. Пояснення цієї залежності через збільшення кондуктансу, зумовлене термічно індукованими вібронами, доречно було б зробити більш детальним.

Ці зауваження скоріше мають характер побажань на майбутнє і не впливають на загальну безсумнівно позитивну оцінку дисертації. В цілому дисертаційна робота Шкоп А. Д. виконана на високому науковому рівні. Вона є завершеним теоретичним дослідженням, в якому отримані нові результати, що мають важливе наукове і практичне значення.

Тема дисертації «Ефекти електрон-електронної та електрон-вібронної взаємодії в транспорті заряду та спіну в тунельних наноструктурах» відповідає спеціальності 01.04.02 – теоретична фізика. Основні результати дисертації наведені у 5 статтях у провідних фахових журналах. Матеріали дисертаційної роботи Шкоп А. Д. пройшли апробацію на багатьох міжнародних конференціях. Наприклад, вона зробила доповіді на Міжнародних наукових конференціях «Фізичні явища в твердих тілах» (м. Харків) у 2015 та 2017 р.р. Організаційний комітет вищезгаданих конференцій, до складу якого я входив, зазначив, що доповіді А. Д. Шкоп зробили вагомий внесок у роботу конференцій, і, від імені Оргкомітету, висловлюю щире подяку їй за це. Дисертація добре оформлена, матеріал роботи викладено кваліфіковано і ясно. Автореферат повністю відображає зміст і висновки дисертації.

В дисертації Шкоп А. Д. вирішено важливу наукову задачу, яка має істотне значення для теоретичної фізики конденсованого стану, а саме: теоретично описано вплив електрон-електронної та електрон-вібронної взаємодії на тунельний транспорт заряду та спіну в вуглецевих нанотрубках та молекулярних транзисторах. Враховуючи актуальність обраної теми, новизну та наукову значимість отриманих результатів, достовірність та обґрунтованість висновків, вважаю, що дисертація задовольняє вимогам МОН України до кандидатських дисертацій, зокрема пп. 9, 11 та 12 Порядку присудження наукових ступенів, а автор дисертації, Шкоп Анастасія Дмитрівна, поза сумнівом, заслуговує на присудження наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.02 – теоретична фізика.

Офіційний опонент,
кандидат фізико-математичних наук, доцент,
Харківський національний університет
імені В.Н. Каразіна,
виконуючий обов'язки завідувача кафедри
теоретичної фізики імені академіка І.М. Ліфшиця



Г.І. Рашба

Підпис Г.І. Рашби засвідчую.

