

ВІДГУК

на дисертаційну роботу

Ільїнської Ольги Олександрівни

«Квантові електромеханічні та термоелектричні ефекти у наносистемах зі спін-поляризованими електронами»

подану на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за
спеціальністю 01.04.02 – теоретична фізика

Дисертаційну роботу О. О. Ільїнської присвячено теоретичному дослідженняю шатлівської нестійкості в наноелектромеханічних системах зі спін-поляризованими електродами і термоелектричних властивостей таких систем.

Дослідження транспортних властивостей нанорозмірних електронних систем, зокрема, систем з одноелектронним транспортом є важливим у зв'язку з мініатюризацією електроніки. Нанорозмірні електронні пристрої можуть містити в своєму складі рухомі квантові точки на основі металевих нанокуль або одиничних молекул. Завдяки механічним ступеням свободи струм через такий пристрій може значно зростати, якщо система переходить в так званий шатлівський режим, або режим одноелектронного човникового транспорту, що може бути використано для створення тригерних елементів. Якщо електроди є спін-поляризованими, управління процесом переключення в шатлівський режим може здійснюватись за допомогою зовнішнього магнітного поля. Також, такі наносистеми можуть працювати як ефективні термоелектрики. До початку досліджень, які було проведено в рамках даної дисертаційної роботи, не були розглянуті такі важливі питання, як вплив неповної спінової поляризації електронів в електродах на шатлівську нестійкість, можливість виникнення шатлівської нестійкості з рахунок градієнта температури, вплив спінової поляризації електродів на термоелектричні властивості. Вивчення цих питань присвячена дисертаційна робота О. О. Ільїнської. Ця обставина, а також загальний значний інтерес до наномеханоелектричних систем і молекулярних транзисторів робить тему роботи **актуальною**.

Теоретичні дослідження, які лягли в основу дисертації, були виконані в рамках тематичного плану ФТІНТ ім. Б.І. Веркіна НАН України за відомчими темами «Теоретичні дослідження нелінійних та квантових явищ в наноструктурах і нових матеріалах» (2012 – 2016 pp.) і «Теоретичні дослідження колективних явищ у квантових конденсованих структурах та наноматеріалах» (2017 – 2021 pp.).

Предметом досліджень дисертаційної роботи О.О.Ільїнської є процеси тунелювання електронів у наноелектромеханічних системах зі спін-поляризованими електродами, а також електромеханічні та термоелектричні ефекти, що супроводжують тунелювання. Успішне вирішення поставлених задач стало можливим завдяки

використанню сучасних методів і підходів теоретичної фізики конденсованого стану, зокрема, метода матриці густини і підходу Ландауера—Бюттікера.

Дисертація О.О.Ільїнської повністю відповідає спеціальності 01.04.02 – теоретична фізика.

Метою роботи є теоретичний опис в рамках квантового підходу транспорту спін-поляризованих електронів у наноелектромеханічних системах.

Дисертація робота складається з вступу, чотирьох розділів, висновків і списку використаних джерел. В першому розділі надано огляд літератури, в якому висвітлено результати основних теоретичних і експериментальних досліджень наноелектромеханічних систем. Другий розділ присвячено дослідженням умов виникнення шатлівської нестійкості в системах з неповною спіновою поляризацією електронів в електродах. В третьому розділі досліджено шатлівську нестійкість, яка виникає за рахунок різниці температур електродів. В четвертому розділі досліджено термоелектричні характеристики спінtronних термоелектричних пристрій на основі квантової точки і на основі хіральної одностінної вуглецевої нанотрубки.

Наукову новизну дослідження визначають наступні результати:

- виявлено можливість виникнення шатлівської нестійкості в системі з рухомою квантовою точкою, яку розташовано між спін-поляризованими в протилежних напрямках електродами, що підтримуються при різних температурах і нульовій різниці потенціалів, тобто, показана принципова можливість існування термоіндуктованого шатлу;
- знайдено області нестійкості магнітного і електричного шатлів з неповною поляризацією електронів в електродах в залежності від магнітного поля та енергії тунельного зв'язку; для магнітного шатлу визначено нижній поріг нестійкості по магнітному полю; для електричного шатлу показано, що управління шатлівською нестійкістю за допомогою магнітного поля можливе лише при достатньо високому ступені поляризації електронів;
- передбачено механізм тертя в наноелектромеханічних системах, який зумовлений тунельним зв'язком та дією обмінних або кулонівських сил між вібруючою квантовою точкою та електродом і для якого коефіцієнт тертя є немонотонною функцією температури;
- розраховано термоелектричні характеристики спінtronного транзистора на основі квантової точки та молекулярного транзистора на основі металічної вуглецевої нанотрубки і знайдено оптимальні параметри, при яких досягається максимальна термоелектрична добробутність і ефективність таких пристрійв.

Наукова і практична значимість результатів дисертаційної роботи полягає в тому, що одержані в ній результати поширяють теоретичні уявлення щодо транспорту електронів у шатлівських системах і розуміння фізики таких процесів. Передбачені в

роботі ефекти можуть бути використані для розробки наноелектромеханічних пристрій і молекулярних транзисторів, а також одноелектронних термоелектричних елементів.

Результати досліджень, що викладені в дисертації, є *обґрунтованими та достовірними*, оскільки вони базуються на сучасних теоретичних підходах і уявленнях, добре узгоджуються між собою та у відповідних граничних випадках співпадають з результатами інших авторів.

Матеріали дисертації О. О. Ільїнської **повністю висвітлено** в 6 статтях, роботи пройшли **апробацію** на 8 профільних наукових конференціях, тези доповідей було опубліковано у відповідних збірниках цих конференцій. Текст **автореферату** повністю та вірно викладає зміст дисертації.

До змісту дисертації є такі **зауваження**:

1. В розділі 3, де передбачено ефект термоіндуктованої шатлівськлі нестійкості, не обговорено, яким чином мають змінитись транспортні властивості системи в режимі такої нестійкості. Зокрема, можна поставити питання, чи буде різке зростання теплового потоку в шатлівському режимі, яким буде тепловий потік в ситуації, коли електричний струм дорівнює нулю (розімкнене електричне коло), чи буде в шатлівському режимі індукований градієнтом температури електричний струм того ж порядку, що і при наявності різниці потенціалів, або, іншими словами, чи є такий шатл термоелектриком з рекордними параметрами.

2. В підрозділі 2.2 в гамільтоніан магнітного шатлу не входить електричне поле. Але якщо магнітний шатл включено до замкненого електричного кола з джерелом струму, то в загальному випадку електричне поле в шатлі має виникнути. Тому варто було б вказати, за яких умов можна нехтувати електричним полем в гамільтоніані.

3. При тому, що в роботі значна увага приділяється дослідженню ефектів, зумовлених відмінною від нуля температурою, в розділі 2 не вказано, для якої температури проведено розрахунки, і чому в даному випадку температурними ефектами можна нехтувати.

Зазначені зауваження не носять принципового характеру і не впливають на загальну позитивну оцінку роботи.

Таким чином, дисертація О. О. Ільїнської є **завершеною науковою працею**, що містить нові результати, та в якій вирішено важливу задачу в області теоретичної фізики конденсованого стану, а саме, розвинuto теорію транспортних і термоелектричних явищ в спін-поляризованих наноелектромеханічних системах.

Вважаю, що за актуальністю вибраного напрямку роботи, обсягом виконаних досліджень, рівнем і кількістю наукових публікацій, новизною та практичною цінністю отриманих результатів дисертаційна робота О. О. Ільїнської «Квантові електромеханічні та термоелектричні ефекти у наносистемах зі спін-поляризованими електронами»

задовільняє всім вимогам, які ставляться МОН України до кандидатських дисертацій, зокрема пп. 9, 11, 12 «Порядку присудження наукових ступенів» а її автор, Ільїнська Ольга Олександрівна, заслуговує присудження їй наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.02 – теоретична фізика.

Офіційний опонент,
доктор фізико-математичних наук,
старший науковий співробітник
провідний науковий співробітник
відділу теорії конденсованого стану речовини
Інституту монокристалів НАН України

Філь Дмитро Вячеславович

Підпис д.ф.-м.н. Д.В.Філя засвідчує,
учений секретар
Інституту монокристалів НАН України,
кандидат фіз.-мат. наук



Кулик Костянтин Миколайович