

ВІДГУК
на дисертаційну роботу Багрової Ольги Миколаївни
«Електромеханічні явища в нормальних та надпровідних наноструктурах на основі рухомої
квантової точки»,
представлену на здобуття наукового ступеня доктора філософії
за спеціальністю 104 «Фізика та астрономія»

Актуальність теми дисертації

Дисертаційна робота Багрової О. М. присвячена теоретичному дослідженню ефектів, які виникають за рахунок електромеханічної взаємодії в наноструктурах на основі рухомої квантової точки. К таким структурам відносяться одномолекулярні транзистори, які являють собою пристрої на основі макромолекули (фулерена або вуглецевої нанотрубки). Ця молекула тунельно з'єднана з електродами витоку і стоку та ємнісно з'єднана з електродом затвора і, як правило, є рухомою. В результаті взаємодії механічних (вібронних) та електронних ступенів свободи такі нанорозмірні транзистори демонструють специфічні транспортні властивості. Для сильної електрон-вібронної взаємодії електричний струм при низьких напругах сильно пригнічується (блокада Франка-Кондона або поляронна блокада), а зняття цієї блокади напругою або температурою призводить до сходинкоподібної вольт-амперної характеристики та немонотонної температурної залежності провідності.

Зазвичай розглядається транспорт електронів через молекулярний транзистор для випадку, коли вібронна підсистема перебуває у рівноважному стані. Однак, такий підхід може привести до неправильного результату, коли зв'язок вібронної підсистеми з навколишнім середовищем є слабким. Крім того, включення до складу наноелектромеханічних систем надпровідних елементів дозволяє використовувати зв'язок, що виникає за рахунок делокалізації куперівських пар, як основу для підвищення ефективності електромеханічних пристроїв. Слід також відзначити, що одним з важливих явищ, яке лежить в основі функціональності наноелектромеханічних систем, є генерація самопідтримних механічних коливань під дією постійної напруги.

У зв'язку з вищепереліченим виникає коло невирішених проблем, що стосуються теоретичного опису наноелектромеханічних систем. Низку таких проблем було вирішено в дисертації О.М.Багрової, що визначає актуальність теми дослідження даної роботи.

Наукова новизна отриманих автором результатів полягає в наступному:

1. Описано особливості електронного транспорту через одномолекулярний транзистор для випадку, коли механічна підсистема знаходиться у нерівноважному когерентному стані. Показано, що вольт-амперні характеристики такого нанорозмірного транзистора є ступінчастими функціями тягнучої напруги, подібно до випадку поляронних сходинок. Однак, зняття

індукованої когерентними коливаннями блокади відбувається за напруг, значно менших за ті, що передбачаються теорією Франка-Кондона.

2. Показана можливість генерації квантової запутаності між зарядовими станами кубіта та когерентними станами наномеханічного резонатора за допомогою протоколу маніпуляції тягнуchoю напругою.

3. Описано квантову динаміку гібридної нанoeлектромеханічної системи на основі вуглецевої нанотрубки, нормального і двох надпровідних електродів, при наявності надпровідного ефекту близькості, зокрема, знайдено області механічної нестійкості для такої системи та передбачено явище самонасичення, що виникає як результат делокалізації куперівських пар завдяки ефекту близькості, і призводить до генерації самопідтримних механічних коливань.

4. Теоретично отримано ефект охолодження до основного стану наномеханічних коливань для нанoeлектромеханічної системи на основі вуглецевої нанотрубки, нормального і двох надпровідних електродів, при наявності надпровідного ефекту близькості.

Практичне значення одержаних результатів

Результати досліджень, які представлені в дисертаційній роботі, поглиблюють і поширюють знання щодо транспорту електронів у нанoeлектромеханічних системах. Передбачені в роботі ефекти збудження самопідтримних наномеханічних коливань та охолодження до основного стану наномеханічних осциляцій представляють значний інтерес з точки зору постановки експериментів щодо їх виявлення. Запропоновані протоколи маніпулювання тягнуchoю напругою можуть бути використані в кодуванні квантової інформації між станами кубіта та нанорезонатора в рамках однієї системи. Описані транспортні властивості транзистору, базисним елементом якого є рухома квантова точка, можуть бути використані для створення більш ефективних молекулярних транзисторів.

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій, які захищаються

Високий рівень обґрунтованості наукових положень та висновків, сформульованих в дисертації, їх достовірність забезпечені строгістю і коректністю математичних постановок задач. Дослідження базуються на сучасних теоретичних підходах і методах, результати чисельних розрахунків співпадають в граничних випадках з аналітичними результатами.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами

Дисертаційна робота виконана в рамках тематичного плану ФТІНТ ім. Б.І. Веркіна НАН України за затвердженими відомчими тематиками 2017-2021 рр. і 2022-2026 рр. Частина дисертаційної роботи була виконана в рамках проєктів «Condensed matter theory at

nanoscale» та «Disorder and chaos in low-dimensional systems» в Центрі теоретичної фізики складних систем інституту фундаментальних наук у Теджоні, Республіка Корея.

Повнота викладу в наукових публікаціях.

Результати наукових досліджень, отриманих у дисертації, повністю опубліковано у 4 статтях в виданнях, що індексуються в міжнародних наукових базах SCOPUS та Web of Science, в тому числі, 1 стаття в журналі квартиля Q_1 , що є більш, ніж достатнім для дисертаційної роботи доктора філософії.

Виявлені недоліки та зауваження до роботи:

1. В розділі 2 використано наближення безспінових електронів, в якому, зокрема нехтується можливістю присутності двох електронів з протилежним спіном на квантовій точці. Було б доцільним вказати, які є умови використання цього наближення.
2. Лишається незрозумілим, наскільки критичним є точне слідування запропонованому протоколу маніпуляції тягнуchoю напругою для утворення заплутаних станів типу "cat states", а саме, що в цьому протоколі є принциповим, а що ні. Також бажано було б розкрити фізичний зміст параметру ρ , від якого суттєво залежить ентропія заплутаності і вигляд вігнеровської функції розподілу (розділ 3).
3. В підрозділі, де розглянуто ефект охолодження, було б доцільним оцінити холодильний коефіцієнт (з англ. — the coefficient of performance of the fridge).

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

Висновки щодо відповідності дисертації встановленим вимогам

Тема дослідження і основні теоретичні положення, що виносяться на захист, свідчать про відповідність дисертаційної роботи Багрової Ольги Миколаївни «Електромеханічні явища в нормальних та надпровідних наноструктурах на основі рухомої квантової точки» спеціальності 104 «Фізика та астрономія».

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею, яка містить нові науково-обґрунтовані результати.


Основні результати дисертації з вичерпною повнотою викладені в 4 опублікованих наукових статтях автора і пройшли апробацію на 7 конференціях різного рівня, в тому числі, на конференції «29th International Conference on Low Temperature Physics, (Sapporo, Japan)», яка є найбільшою в світі профільною конференцією з даної тематики.

Дисертація Багрової О. М., за актуальністю, науковою новизною, об'ємом і глибиною теоретичних досліджень задовольняє вимогам до дисертацій ступеня доктора філософії згідно положень постанови Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. №44 «Про затвердження Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої

вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», а здобувач, Багрова Ольга Миколаївна, заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 104 «Фізика та астрономія».

Опонент

провідний науковий співробітник
відділу теорії конденсованого стану речовин
Інституту монокристалів НАН України,
доктор фіз.-мат. наук

 Д. В. Філь

Підпис д. ф.-м. н. Філя Д.В. завірено

Учений секретар Інституту монокристалів НАН України,
кандидат фіз.-мат. наук



К.М.Кулик