

ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА

на дисертацію **Стародуба Івана Олексійовича**

“Динаміка солітонів у просторово-неоднорідних джозефсонівських переходах”,
яку подано на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук
за спеціальністю 01.04.02 – теоретична фізика

Дисертаційна робота Стародуба І.О. присвячена важливій проблемі теоретичної фізики – дослідженню впливу просторової-неоднорідності та дискретності на динаміку солітонів в джозефсонівських переходах. Актуальність та важливість теми дисертації обумовлена, в першу чергу, перспективою використання систем з Джозефсонівськими контактами для обробки квантової інформації. Основною проблемою на шляху створення системи великої кількості працездатних кубітів (і, як наслідок, квантового комп’ютера) є швидка декогеренція квантових станів в реальних системах. Дослідження процесів розсіяння та розповсюдження нелінійних збуджень, -- солітонів, -- в системах з просторово-неоднорідним розподілом властивостей відкривають можливість керування станами кубітів. Крім того, результати подібних досліджень, крім того, що вони поглиблюють наше розуміння фізики нелінійних систем, що взаємодіють, можуть використовуватись при створенні нових метаматеріалів на основі Джозефсонівських контактів.

Робота Стародуба І.О. спрямована на дослідження динаміки солітона, який має фізичний зміст кванту магнітного потоку, що рухається вздовж діелектричного прошарку в джозефсонівському контакті та опис ефектів, що виникають в процесі його динаміки.

Загальне враження від роботи позитивне. Автор демонструє високий (професійний) рівень володіння методами теоретичної фізики, зокрема, нелінійної динаміки, крім того, в дисертаційній роботі ці методи вдало поєднуються з чисельними розрахунками. Приємне враження створює і вільне володіння термінологією, широта автора – в роботі застосовуються різноманітні методи розрахунків. Слід також відмітити, що незважаючи на складність системи, що розглядається, авторові вдалося знайти дуже вдалі і прості для сприймання представлення вихідних рівнянь і результатів. Більшість наведених в роботі графічних залежностей стосується спостережувальних в експерименті величин, зокрема, вольт-амперних характеристик, що полегшує інтерпретацію результатів.

Дисертаційну роботу можна умовно розділити на дві логічно пов’язані між собою частини, одна з яких стосується дослідження довгих двовимірних Джозефсонівських контактів, а інша – масивів точкових контактів.

Перший розділ присвячений огляду наукової літератури з тематики дисертації та висвітленню сучасного стану напрямку дослідження. Попри обов'язковість, цей розділ написаний дуже вдало і робить дисертаційну роботу замкненою, оскільки в ньому наведені всі основні необхідні для подальшого відомості про Джозефсонівські контакти, що полегшує читання.

В другому розділі роботи вивчається процес випромінювання плазмонів, який виникає внаслідок взаємодії солітона, або, як використовується в роботі, флюксона з просторовими неоднорідностями різних геометричних форм в двовимірному джозефсонівському переході. Заслугою автора є узагальнення та розширення раніше відомого методу на випадок двовимірного контакту з неоднорідностями довільної форми, а також врахування локальної зміни ємності та магнітного поля в точці розташування дефекту, а не лише зміну критичного струму. В роботі показано, що розглянуті неоднорідності в граничних випадках відтворюють раніше відомі результати. Найбільш цікавим результатом цього розділу є побудова закону дисперсії (тобто, залежності повної випроміненої енергії від швидкості) флюксона. Швидкість флюксона в даній задачі пропорційна зовнішньому струму, тому можна говорити про можливість створення джерела високочастотного випромінювання, інтенсивністю якого можна керувати за допомогою зовнішнього струму. Крім того, автору вдалося довести можливість оптимізувати резонансну швидкість таким чином, щоб випромінювання було максимальним. Продемонстрована можливість і з'ясовані умови інтерференції випромінених хвиль, наявність якої призводить до суттєво немонотонної (з кількома максимумами та мінімумами) залежності енергії від швидкості. Показано, що геометричні параметри дефекту мають суттєвий вплив на процес випромінювання та також можуть бути використані для керування ним.

В третьому розділі представлені результати чисельного моделювання динаміки солітона в довгому двовимірному джозефсонівському переході з дисипацією та зовнішнім струмом, проведеного на основі методу Рунге-Кутта 4-го порядку. Моделювання показало слабку зміну солітонного фронту в поперечному напрямку при взаємодії з неоднорідністю. Помітна деформація солітону виникає лише при проходженні домішки великого розміру, де вздовж його фронту також виникає додаткова осциляторна мода, що швидко затухає внаслідок дисипації в системі. Ці результати взяті в основу при подальшому аналітичному розрахунку порогового струму закріплення – мінімального струму, необхідного для подолання флюксоном перерешкоди. Здобувач, враховуючи слабку зміну в напрямку, перпендикулярному напрямку поширення, записав класичне ньютонівське рівняння руху

центру мас солітона, що залежить від однієї координати та часу, перейшовши, таким чином, до розгляду солітона як частинки в полі потенціалу, створеному неоднорідністю. На основі модифікованого методу балансу енергії автором отримано аналітичне значення струму закріплення солітона на домішках різної форми. Аналітично та чисельно побудована залежність струму закріплення від ширини контакту, з якої можна зробити висновок, що зі збільшенням ширини переходу кінетична енергія флюксона також зростає, внаслідок чого йому легше пройти неоднорідність, а отже необхідне для цього значення зовнішнього струму зменшується. Порівнюючи результати аналітичних і чисельних розрахунків авторові вдалося встановити границю (граничні значення ширини переходу) між квазіодновимірною та суттєво двовимірною моделями солітона. Варто наголосити, що автору вдалося знайти та пояснити Чисельні та аналітичні результати добре узгоджуються для невеликих значень ширини переходу.

Використовуючи результати двох розділів, дисертантом аналітично побудовані вольт-амперні характеристики (ВАХ) контактів з неоднорідностями різної форми та розмірів. Ці ВАХ дещо змінюються в порівнянні з однорідним випадком, на них виникають точки перегину, що пов'язані з існуванням максимумів енергії випромінювання, яка також вносить свій вклад в залежність струму від напруги.

В четвертому, останньому розділі роботи на основі асиметричного масиву точкових джозефсонівських переходів вивчається вплив дискретності середовища на динаміку солітона у ньому, яка описується дискретним подвійним рівнянням синус-Гордона. Автором отримана низка важливих результатів, основним з яких є доведення застосовності цього рівняння в гамільтонівській границі для солітонів, що рухаються вздовж масиву без випромінювання і, відповідно, втрати енергії на певних швидкостях, які формують дискретний набір і залежні від параметрів системи. Ознаки цих швидкостей показані на чисельно розрахованих ВАХ масиву у якості існування недопустимого інтервалу напруг, які не можна отримати внаслідок руху флюксону. Іншими словами, солітон прагне починати рухатися саме з цими швидкостями. Можливість такого безвипромінювального руху пов'язана з уникненням резонансів з лінійним спектром системи внаслідок утворення зв'язаного стану двох солітонів. Для підтвердження регулярного періодичного руху солітона навколо масиву здобувачем проведено аналіз режимів його руху для різних гілок ВАХ за допомогою розрахунку найбільшого показника Ляпунова. Показана нетривіальна залежність струму відриву флюксона, тобто мінімального необхідного для початку руху струму, від параметру асиметрії масиву. Ця залежність пояснена подібною залежністю потенціалу Пайерлса-Набарро, тобто

потенціалу, який повинен подолати солітон для проходження вузла решітки від цього ж параметру асиметрії.

Зауваження, недоліки, питання.

1. Я не знайшла в роботі жодного порівняння з експериментом або хоча б передбачень для конкретних систем (тобто, розрахунків з параметрами конкретних Джозефсонівських контактів). Це ускладнює сприйняття отриманих результатів експериментаторами.
2. В роботі розглянуто випромінювання солітонами малоамплітудних електромагнітних хвиль на домішках. Однак, із загальних міркувань, при зростанні величини сталої взаємодії між солітоном і домішкою можливі режими, при яких утворюються нові нелінійні збудження, можливо, з іншою топологією (наприклад, вихори). Чи розглядалась така можливість стосовно розглянутих в роботі систем? Якщо така можливість існує, які умови для цього потрібні?
3. Рис. 2.3, стор. 34-35. Стверджується, що ефект просторової зміни магнітного поля на закон дисперсії незначний. Це визначається майже повним (візуально) співпадінням кривих на Рис 2.3. при певних значеннях неоднорідності. Однак, автор працює в безрозмірних змінних, опис системи досить абстрактний і виникають питання: вибране для моделювання значення неоднорідності мале, велике (порівняно з чим?), типове? Теж саме стосується різниці між кривими.
4. Певні технічні недоліки: Рівняння (1.3.2) (стор. 20) записано через диференціали, а в коментарях: «крапки позначають...» і т.п.; незважаючи на дуже гарну мову автора, зустрічаються русизми: затухання замість згасання і т.п.

В підсумку відмічу, що дисертаційна робота І.О. Стародуба є цілісною і завершеною науковою працею, що містить оригінальні важливі результати з актуального напрямку досліджень в сучасній теоретичній фізиці – дослідження динаміки джозефсонівських вихорів. Результати дисертації є новими і належним чином обґрунтовані. Текст дисертації написано в достатній мірі ясно і з належною теоретико-фізичною та математичною строгістю.

Результати дисертації своєчасно опубліковані у 5 статтях у провідних фахових наукових журналах, обговорювалися на авторитетних наукових конференціях, школах та семінарах. Автореферат дисертації повно передає її зміст, відображає структуру та основні результати. Результати і висновки дисертації, безсумнівно, становлять практичну цінність і можуть ефективно враховуватись при проведенні подальших досліджень в теоретичній фізиці.

Розроблений метод та отримані результати також можуть бути використані у підготовці спецкурсів для студентів-фізиків з теоретичних спеціальностей.

Враховуючи актуальність обраної теми досліджень, наукову новизну підходів, значний об'єм виконаних досліджень, теоретико-фізичну цінність та обґрунтованість отриманих наукових результатів, вважаю, що дисертація І.О. Стародуба “Динаміка солітонів у просторово-неоднорідних джозефсонівських переходах” цілком відповідає всім вимогам МОН України щодо кандидатських дисертацій, а її автор Іван Олексійович Стародуб, без сумніву, **заслуговує** на присудження йому вченого ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.02 – теоретична фізика.

Офіційний опонент
доктор фіз.-мат. наук, професор,
професор кафедри інформаційної безпеки
ФТІ НТУУ “КПІ”

О. В. Гомонай

Підпис О. В. Гомонай засвідчую