

## Відгук

офіційного опонента про дисертаційну роботу **Стародуба Івана Олексійовича** «Динаміка солітонів у просторово-неоднорідних джозефсонівських переходах», подану на здобуття наукового ступеня кандидата фізико–математичних наук за спеціальністю 01.04.02 — «Теоретична фізика»

Дисертаційна робота І. О. Стародуба присвячена дослідженню методами теоретичної фізики нелінійних явищ у джозефсонівських переходах, які пов'язані з впливом солітоноподібних збуджень — флюксонів (джозефсонівських вихорів).

### Актуальність теми дослідження

Серед багатьох фізичних систем, які можна описати рівнянням синус–Гордона, одним з найбільш відомих прикладів є джозефсонівські переходи. Ця область досліджень розвивається дуже активно, особливо після відкриття явища високотемпературної надпровідності. Значна кількість робіт в цьому напрямку спрямована на дослідження одновимірних систем. В той же час, в натурних експериментах неодновимірність джозефсонівських контактів може бути принциповою, результати суттєво залежать від геометрії домішок. Це зумовлює актуальність теми дисертації, яка спрямована на дослідження нелінійних динамічних явищ, що виникають під час взаємодії солітонів з неоднорідностями в довгих джозефсонівські переходах. Всебічне дослідження таких систем має безумовний **практичний інтерес**, пов'язаний із застосуванням в реальних надпровідних полозкових хвилеводах, системах джозефсонівських контактів і SQUID'ах (надпровідних квантових інтерферометрах). Джозефсонівські переходи вже використовуються в квантових комп'ютерах (зокрема, в D-wave процесорі). В той же час, дослідження мають **фундаментальний науковий інтерес** для фізики джозефсонівських переходів і теорії солітонів завдяки встановленню закономірностей впливу просторових неоднорідностей на динаміку кінків і дослідженню ефектів дискретності в системах джозефсонівських контактів.

За своїм науковим спрямуванням дослідження, проведені в рамках дисертаційної роботи відповідають програмам і планам наукових досліджень Інституту теоретичної фізики ім. М.М. Боголюбова НАН України.

У рамках виконання цих науково-дослідних робіт здобувачем отримано результати, які становлять наукову новизну дисертаційного дослідження.

Зміст дисертації належним чином відображає мету роботи та основні поставлені завдання досліджень для досягнення цієї мети.

### **Оцінка обґрунтованості наукових положень дисертації, висновків і рекомендацій, їх достовірності і новизни**

Властивості солітонів в джозефсонівських контактах є предметом досліджень вже біля сорока років, однак, широке коло питань залишилось майже не вивченим. В першому розділі дисертації наводиться огляд відомих результатів по одновимірних і двовимірних джозефсонівських контактах, описано вплив дискретності на динаміку флюксона.

Стисло про основні оригінальні результати дисертації.

Другий розділ дисертації присвячено дослідженню процесів проходження флюксона крізь просторові неоднорідності різних геометрій. Розвинуто метод обчислення енергії випромінювання солітону внаслідок його розсіяння на неоднорідності. При цьому аналітично розраховано енергію випромінювання, що є новим оригінальним результатом. Ще одним новим цікавим результатом є наявність локальних максимумів в функції залежності енергії випромінювання від швидкості солітону, що відбувається внаслідок інтерференції випромінюваних хвиль.

Інший погляд на динаміку флюксона проведено в третьому розділі. Розглядається питання проходження солітона крізь мікрозакоротки і досліджується критичний струм закріплення. Важливим результатом є розрахунок струму закріплення і його залежність від геометричних параметрів неоднорідності. Ці дані є суттєвими для побудови вольт-амперних характеристик переходів.

Четвертий розділ дисертації присвячений дослідженню систем джозефсонівських контактів. Найцікавішим результатом цього розділу є існування «прозорих» швидкостей для солітону в дискретному подвійному рівнянні синус-Гордона. При цьому виникають дискретні вкладені солітони, які досліджено з використанням псевдоспектральних методів.

**Обґрунтованість** наукових положень, сформульованих у дисертації, висновків і рекомендацій визначається відповідністю їх до сучасних теоретичних уявлень про нелінійну фізику джозефсонівських переходів. Відповідність теоретичних

результатів автора до результатів комп'ютерного моделювання визначає **достовірність** отриманих в дисертаційній роботі результатів.

Сукупність результатів, які було отримано вперше в дисертаційній роботі, суттєво вдосконалює та поглиблює теорію солітонів в джозефсонівських переходах, вирішує нові задачі на рівні світових досягнень в фізиці солітонів.

### **Зауваження до дисертаційної роботи**

Дисертація виконана на високому теоретичному рівні і справляє гарне враження. Проте вона не позбавлена певних недоліків.

- 1) Зауваження до оглядової частини дисертації. В огляді літератури є лише одне посилання на публікації останніх 5 років (за останні 15 років — лише 5). Тобто, судячи з огляду літератури, складається враження, що автор не достатньо ознайомлений із сучасним станом проблеми. В певній мірі даний недолік компенсовано в оригінальних розділах. Розділ 1.3 написаний, фактично, по публікації [16]. При викладенні матеріалу не наводяться посилання в усіх формулах розділу, отже не завжди зрозуміло, чи є формули авторськими, чи наведені з літератури. В огляді не висвітлено невирішені питання, тому місце здобувача у розв'язанні проблеми також не зрозуміло. Слід зазначити, що ці питання в певній мері висвітлені у вступі до дисертації в розділі «актуальність теми», однак, це необхідно було розвинути в огляді. Також оглядовій частині не вистачає стислого резюме стосовно необхідності проведення досліджень в даному напрямку.
- 2) В розділі 2.3.2.3 розраховано енергію випромінювання флюксона як функцію його швидкості. При цьому виникає розбіжність енергії в ультрарелятивістському наближенні. В роботі зазначено, що ця розбіжність є нефізичною і перший порядок солітонної теорії збурень вже не працює. Це вірно, однак, не запропоновано шляхів подолання розбіжності. Також бажано наводити оцінки області параметрів застосовності отриманого результату.
- 3) В роботі недостатньо місця приділяється можливості експериментальної перевірки результатів. Наприклад, висновки до третього розділу закінчуються словами «Отримані результати можуть бути легко перевірені експериментально.» Дійсно, багато результатів може бути застосовано для інтерпретації експериментів. Однак, такі можливості не висвітлено.

4) Заключний розділ дисертації «висновки» містить докладний перелік основних результатів роботи. Однак, в ньому відсутні: оцінка стану проблеми, обґрунтування достовірності результатів і рекомендації щодо використання результатів. Цей недолік компенсується докладним викладенням відповідних питань в інших розділах дисертації і висновках до них.

5) Зауваження по оформленню роботи.

5.1) В роботі декілька разів зустрічаються не коректні посилання на бібліографічні джерела:

а) на с. 5 дисертант пише про застосування джозефсонівських вихорів для побудови інформаційних пристроїв з посиланням на роботу Голдобіна із співавторами [4], хоча в самій роботі йдеться про теоретичне дослідження квантового тунелювання напівфлюксона;

б) на с. 14 автор описує властивості двовимірного рівняння синус-Гордона з посиланням на статтю Rubinstein [34], в якій досліджено одновимірне рівняння синус-Гордона.

5.2) В роботі є певна неузгодженість в науковій термінології. Зокрема, автор плутає значення слів «межа» і «границя». Наприклад, на с. 38 написано про «межу швидкості  $v \rightarrow 0$ » замість «границі швидкості  $v \rightarrow 0$ », на с. 43 йдеться про «межу точкової домішки» замість «границі точкової домішки». І навпаки, багато разів в тексті термін границя зустрічається замість терміну межа. Зокрема, на с. 26 написано «взаємодію флюксона з границями домішки» замість «взаємодії флюксона з межами домішки». В роботі використовується термін «граничні умови фон Неймана» (с. 61) замість «межових умов Неймана».

Зроблені зауваження не знижують загальну **позитивну оцінку** дисертаційної роботи та **високу якість** в цілому як глибокого та актуального дослідження і не впливають на достовірність і новизну результатів. Зазначені зауваження мають характер побажань на подальший розвиток роботи.

### **Висновок про відповідність дисертації встановленим вимогам**

Подана до захисту дисертаційна робота є оригінальним і завершеним дослідженням. Робота виконана з професійним використанням методів сучасної теоретичної фізики і в ній отримано нові науково обґрунтовані результати, що в

сукупності вирішують задачу впливу просторової неоднорідності та дискретності середовища на динаміку солітонів в джоузефсонівських переходах.

Результати дисертаційної роботи є новими і достатньо апробованими. Матеріали роботи повністю опубліковані в українських і міжнародних виданнях і добре відомі спеціалістам. Зміст автореферату дисертації відповідає основним положенням роботи.

На підставі викладеного вище вважаю, що дисертаційна робота «Динаміка солітонів у просторово-неоднорідних джоузефсонівських переходах» безумовно задовольняє вимогам щодо кандидатських дисертацій відповідно до «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. № 567, а її автор, *Стародуб Іван Олексійович*, заслуговує на присудження наукового ступеня кандидата фізико–математичних наук за спеціальністю 01.04.02 — «Теоретична фізика».

Офіційний опонент, професор кафедри математики та теоретичної радіофізики факультету радіофізики, електроніки та комп'ютерних систем Київського національного університету імені Тараса Шевченка, доктор фіз.-мат. наук

/Д. Д. Шека/

24 вересня 2015 року

*Підпис проф. Д. Д. Шеки завіряю:*

Декан факультету радіофізики, електроніки та комп'ютерних систем Київського національного університету імені Тараса Шевченка

/І. О. Анісімов/