

ВІДГУК

офіційного опонента **Ямпольського Валерія Олександровича**
на дисертаційну роботу **Гриба Олександра Миколайовича**
«Когерентна динаміка систем з джозефсонівськими контактами»,
подану на здобуття наукового ступеня доктора фізико-математичних наук
за спеціальністю 01.04.22 - надпровідність

Дисертаційна робота Гриба О.М. присвячена теоретичному і експериментальному дослідженню когерентної динаміки осциляцій напруги на контактах Джозефсона у структурах контактів, які з'єднані з системами зворотного зв'язку. Наявність систем зворотного зв'язку дає можливість контролювати випромінювання від систем контактів. Потужність випромінювання одного контакту дуже мала (приблизно 10^{-12} Вт). Для збільшення потужності має велике значення створення умов для когерентного випромінювання великої кількості контактів. Особливо цікаві дослідження синхронізації випромінювання від високотемпературних надпровідників, де частота випромінювання може сягати 1-3 ТГц. Ці надпровідники можна представити як компактні пачки внутрішніх контактів Джозефсона (до семисот внутрішніх контактів розташовано на довжині порядку одного мікрметра). Моделі когерентного випромінювання цих структур та експеримент по впливу шунта на вольт-амперні характеристики внутрішніх контактів представлені в дисертації. Таким чином, тема дисертаційного дослідження є безумовно **актуальною**.

Висновки і положення, які виносяться до захисту дисертантом, є **оригінальними і новими**. Вважаю необхідним навести тут декілька найважливіших рис даної дисертаційної роботи, не повторюючи основні тези, які викладені у висновках дисертації і автореферату:

1. Теорія синхронізації раніше була розвинута для опису випромінювання систем контактів без електричної ємності у системах без резонансів. На протязі останніх десятиліть була проведена значна кількість успішних експериментів синхронізації випромінювання у резонансних системах. Автор розширив рамки застосування теорії для розгляду систем контактів з ємностями у резонансних системах.
2. Автор провів систематичне дослідження утворення когерентного стану осциляцій напруги в системах контактів Джозефсона. Автор знайшов цей систематичний підхід, поєднавши теоретичний аналіз синхронізації, чисельний розрахунок потужності когерентного випромінювання систем з багатьма контактами та експеримент. Саме завдяки такому систематичному дослідженню багато

результатів отримано автором **вперше** (переліковую тільки найбільш значні, на мій погляд, результати, які мають **фундаментальне значення**):

- Автор знайшов чергування синфазних та протифазних інтервалів синхронізації при випромінюванні ланцюга з двох контактів у резонансну довгу лінію.
- Автор виявив поріг синхронізації при включенні контактів у резистивний стан у системі контактів, які знаходяться у довгій лінії без резонансів. Цей результат дозволяє якісно пояснити результати експериментів, які проводилися на системах контактів Джозефсона на основі низькотемпературних надпровідників у довгій лінії.
- Автор знайшов пороги синхронізації у системі двох чотирьохконтактних інтерферометрів, які взаємодіють за допомогою взаємної індукції. Високочастотний струм у контурах, який виникає завдяки взаємній індукції, є причиною синхронізації випромінювання контактів вище порогу.
- Чисельними методами автор знайшов самоіндуковані резонансні сходинок на вольт-амперних характеристиках довгих контактів з нормальними (не надпровідними краями). Автор знайшов, що в пачці з двох таких контактів, які взаємодіють між собою за допомогою взаємної індукції, кожна з цих сходинок розщеплюється на дві сходинок завдяки взаємодії контактів.
- Автор вияснив механізм когерентного випромінювання на частотах мод геометричних резонансів для системи контактів Джозефсона, які рівномірно розміщено в довгій лінії. Цей результат, на мій погляд, є найбільш цікавим результатом дисертації. При резонансах у довгій лінії виникають стоячі хвилі напруги та струму. Стояча хвиля усередненої напруги деформується таким чином, що в деяких частинах лінії напруга стає постійною. Робить напругу постійною сильний синхронізуючий струм від стоячої хвилі високочастотного струму. Саме в цих місцях лінії виникає синхронізоване випромінювання. Автор робить загальний висновок, що механізмом синхронізованого випромінювання систем контактів у резонансній довгій лінії на частотах резонансів є взаємодія випромінювання контактів з високочастотним синхронізуючим струмом, який створюється в системі.
- Автор показав, що поява самоіндукованих резонансних сходинок на вольт-амперній характеристиці, сильне когерентне випромінювання контактів та

поява перегрітих частин системи мають спільне походження, а саме – взаємодія випромінювання контактів Джозефсона з резонансними модами системи.

- Автор довів, що система внутрішніх шунтованих контактів Джозефсона у високотемпературному надпровіднику $Tl_2Ba_2CaCu_2O_8$ є сприятливою для утворення когерентного випромінювання, оскільки відстань між гілками вольт-амперної характеристики внутрішніх контактів у гістерезисній області звужується завдяки дії шунту.
- Автор показав, що на вольт-амперній характеристиці системи внутрішніх шунтованих контактів створюються самоіндуковані сходинки, зумовлені геометричними резонансами у системі.
- Нарешті, вважаю дуже цікавими теоретичні результати останнього, сьомого розділу, де проводиться аналогія між інтерференцією струмів у фрактальній системі контактів Джозефсона та інтерференцією світла, розсіяного від фрактальної структури. Ці результати дають можливість знаходити фрактальну розмірність системи контактів з аналізу залежності квадрата критичного струму або випрямленої напруги від магнітного поля.

Достовірність і обґрунтованість результатів і висновків дисертації не викликають сумніву. Теоретичні розрахунки автор провів за допомогою методу амплітуд, які повільно змінюються, і перевірів справедливність результатів за допомогою прямого рішення систем рівнянь динаміки різності фаз на контактах та рівнянь Кірхгофа для системи зворотного зв'язку. Такий розгляд підтверджує достовірність результатів. Окремі експериментальні та теоретичні результати роботи знаходять підтвердження у роботах інших груп, у теоретичній частині роботи виконуються граничні переходи до раніше відомих результатів інших авторів. Таким чином, достовірність як теоретичних, так і експериментальних результатів та їх коректна інтерпретація не викликають сумніву.

Практична значимість отриманих результатів полягає у наступному:

1. Автор знайшов, що синфазна синхронізація випромінювання контактів Джозефсона у резонаторах та резонансних довгих лінях можлива при великому (до 16%) розбігу критичних струмів контактів. Цей висновок має практичне значення для побудови локальних джерел когерентного випромінювання.
2. Використання нормального шунта для синхронізації випромінювання внутрішніх контактів Джозефсона (п'ятий розділ дисертації) є досить вдалим прикладом практичного застосування тих теоретичних висновків, які були зроблені у теоретичних розділах дисертації. Автор показав, що такі дослідження є

перспективними для використання високотемпературних надпровідників як джерел когерентного випромінювання при умові достатньо великої частоти випромінювання шунтованих внутрішніх контактів.

3. Результати теоретичного розгляду випрямленої напруги у двохконтактному інтерферометрі в дисертації вдало використано для опису асиметричних вольт-амперних характеристик контактів на основі пніктидів. Цей результат може бути використаний при побудові квантових інтерферометрів для вимірювання магнітного поля на основі пніктидів.

4. Схеми синхронізації випромінювання за допомогою високочастотного зворотного зв'язку, розглянуті в дисертації, можуть бути використані для синхронізації великих масивів контактів низькотемпературних надпровідників при створенні стандартних джерел напруги.

Результати дисертаційного дослідження оприлюднені у 35 наукових працях дисертанта, у тому числі 22 статтях у журналах і 13 тезах доповідей у збірниках праць міжнародних наукових конференцій. У публікаціях відображено всі основні положення дисертації, які винесено до захисту. Автореферат дисертації Гриба О.М. відповідає змісту дисертації і повністю відображає всі результати, положення і висновки, що виносяться до захисту.

В цілому, робота оформлена охайно і справляє гарне враження. В оглядовій частині роботи дається суттєвий за змістом та обсягом огляд сучасної літератури. В оригінальній частині роботи автором проведено дослідження проблеми, систематично описана синхронізація випромінювання контактів Джозефсона у довгій лінії, резонаторі та контактів, з'єднаних нормальним та індуктивним зв'язком. Безсумнівно, що дисертаційна робота Гриба О.М. є завершеною науково-дослідницькою роботою як за змістом, так і за обсягом. Але, як у будь-якій роботі, у дисертації є декілька **недоліків**, на які я хотів би звернути увагу:

1. У четвертому розділі (підрозділи 4.5 та 4.6) наводяться вольт-амперні характеристики одного та двох довгих контактів Джозефсона з нормальними (не надпровідними краями), які взаємодіють за допомогою взаємної індукції. На вольт-амперних характеристиках контактів, які не взаємодіють один з одним, автор знайшов самоіндуковані резонансні сходинки (сходинки нульового поля), а на вольт-амперних характеристиках контактів, які взаємодіють – розщеплення кожної з цих сходинок на дві. Ці результати нові і отримані вперше. Однак зв'язок між знайденим автором розщепленням сходинок нульового поля і динамікою вихорів у системі двох довгих контактів, яку автор докладно описав у

підрозділі 1.5, на мій погляд, недостатньо проаналізований.

2. У шостому розділі (підрозділ 6.4) автор описує результати розрахунку вольт-амперних характеристик та потужності височастотного випромінювання системи, яка складається з 667 шарів контактів Джозефсона, і порівнює свої результати з експериментальними даними, отриманими іншими авторами. Автор робить висновок, що його модель може бути застосована до сильно неоднорідних по довжині зразків, у яких шари внутрішніх контактів Джозефсона можна представити скоріше як набір окремих контактів, ніж як суцільні шари. На мій погляд, недостатньо проаналізовані відмінності у результатах між запропонованою автором моделлю появи когерентного випромінювання та іншими моделями процесу, висунутими для пояснення експерименту.

3. У підрозділі 4.2 описано поріг когерентного випромінювання в моделі контактів, які знаходяться у нескінченній довгій лінії. Ці результати нові і отримані вперше. Там же (а також у підрозділі 1.6.3) автор описує результати експериментів інших авторів, де цей поріг було знайдено при дослідженні емісії від масивів контактів Джозефсона, зроблених на основі низькотемпературних надпровідників, над якими розташована надпровідна площа. Автор зауважує, що результати експериментів адекватно ілюструють ті загальні положення щодо критичної відстані для початку синфазної синхронізації, які він наводить у дисертації. Цікаво було би кількісно описати результати цього експерименту за допомогою моделі автора.

Зазначені зауваження не стосуються основних результатів роботи і не впливають на загальну позитивну високу оцінку дисертації Гриба О.М.

Загальний висновок. Дисертація є завершеною кваліфікаційною науковою працею, що побудована на великій за обсягом та ретельній роботі. У роботі вирішена важлива проблема фізики надпровідності, а саме – встановлені закономірності утворення когерентного динамічного стану в системах контактів Джозефсона та створена система, в якій існують умови для когерентного випромінювання. Отримані дисертантом результати і висновки суттєво розширюють існуючі уявлення про когерентну динаміку контактів Джозефсона у системах із зворотним зв'язком, механізми утворення когерентного випромінювання при наявності у зразку стоячих хвиль та про механізми формування сходинок нульового поля у довгих контактах Джозефсона. У цьому полягає фундаментальне значення отриманих в дисертації результатів.

Положення і результати, які були винесені до захисту кандидатської дисертації О.М. Гриба, не виносяться до захисту докторської дисертації.

Оцінюючи дисертацію в цілому, вважаю, що за своїм змістом і обсягом, актуальністю тематики, обґрунтованістю і достовірністю висновків, новизною одержаних результатів та їх науковим і практичним значенням дисертація Гриба О.М. «Когерентна динаміка систем з джозефсонівськими контактами» задовольняє вимогам до докторських дисертацій, зокрема пп. 9, 10, 12 положень "Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника", а її автор заслуговує присудження наукового ступеня доктора фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.22 - надпровідність.

Доктор фізико-математичних наук,
член-кореспондент НАН України, професор,
завідувач відділу теоретичної фізики
Інституту радіофізики і електроніки
ім. О.Я. Усикова НАН України

В.О.

Ямпольський В.О.

Підпис завідувача відділу Ямпольського В.О. засвідчую.

Вчений секретар ІРЕ ім. О.Я. Усикова НАН України,
кандидат фізико-математичних наук



Почаніна І.Є.

Відсутня надійшов

03 березня 2017р.



співпраця № 64.175.03