

ОТЗЫВ

официального оппонента о диссертации

ГРИБА Александра Николаевича

“Когерентна динаміка систем з джозефсонівськими контактами”

на соискание ученой степени доктора физико-математических наук

(специальность 01.04.22 – сверхпроводимость)

Со времени открытия явления высокотемпературной сверхпроводимости (ВТСП) прошло уже более 30 лет. За это время существенно изменились организация, стратегия и тактика исследований по проблеме ВТСП: канули в Лету «комиссии по сверхпроводимости» во главе с первыми лицами государства, исчезли многолюдные научные сборища, прекратилось (увы!) щедрое финансирование работ... Тематика исследований трансформировалась от стремлений к быстрому установлению природы явления ВТСП, поиска ВТСП с критической температурой порядка комнатной и скорейшей практической реализации этого явления в масштабных проектах в области переноса электроэнергии, создании мощных магнитных систем, ускорительной техники, транспортных устройств и т.п. к тщательному и глубокому изучению различных аспектов явления высокотемпературной сверхпроводимости и созданию *принципиально новых* приборов современной техники на основе ВТСП. В духе современных тенденций задумана и выполнена рецензируемая диссертационная работа Александра Николаевича ГРИБА.

Целью диссертационной работы А.Н. ГРИБА является “встановлення закономірностей утворення когерентного динамічного стану в системах контактів Джозефсона та створення системи, в якій існують умови для когерентного випромінювання”.

Фактически диссертационная работа посвящена установлению природы и механизмов влияния внешних воздействий (в первую очередь транспортного тока, а также магнитного поля и температуры) на электродинамические свойства систем различной сложности с джозефсоновскими контактами на основе ВТСП.

Для достижения цели работы проведен широкий комплекс исследований эффекта Джозефсона, а также систем с джозефсоновскими контактами с применением современных методов теоретической и экспериментальной физики, различных численных методов и математического моделирования.

Актуальность работы А.Н. Гриба обусловлена следующими обстоятельствами:

- как установлено сравнительно недавно, в ВТСП имеет место так называемый “внутренний эффект Джозефсона”, т.е. существует джозефсоновская связь между $Cu-O$ -плоскостями переноса заряда, что открывает принципиально новые перспективы практического использования эффекта Джозефсона;

- исследования эффекта Джозефсона дают возможность определить величину энергетической щели сверхпроводника и разработать адекватную теорию переноса заряда в высокотемпературных сверхпроводниках (ВТСП);

- из-за наличия широкой энергетической щели, характерная частота джозефсоновского излучения в высокотемпературных сверхпроводниках может достигать 1-4 ТГц, что обеспечивает потенциальную возможность создания источников излучения с помощью синхронизации внутренних джозефсоновских контактов.

С формальной точки зрения, подтверждением актуальности данной тематики может служить то обстоятельство, что работа А.Н. Гриба выполнялась в рамках тематического плана физического факультета ХНУ им. В. Н. Каразина (темы "Комплексне дослідження теплофізичних, електрофізичних та механічних властивостей нових конструкційних та функціональних матеріалів", номер гос. рег. 0194U012805, 1994 - 1996 гг.; "Термодинамічні властивості та процеси переносу тепла і заряду у твердих тілах", номер гос. рег. 0197U002498, 1997-1999 гг.; проєкт 02.07/00359 "Комплексні фізичні дослідження природи надпровідного стану в шаруватих системах з різним спектром квазічастинкових збуджень" по договору № Ф7/394-2001, 2001 г.; "Транспортні процеси у квазікристалах Ti-Zr-Ni з воднем", номер гос. рег. 0103U004217, 2003 - 2005 гг.; "Перенос заряду у квазікристалах Ti-Zr-Ni", номер гос. рег. 0106U003112, 2006 - 2008 гг.; "Процеси переносу у металах IV-A групи і їх гідридних фаз", номер гос. рег. 0109U001429, 2009 - 2010 гг., "Вплив водню і екстремальних зовнішніх чинників на теплофізичні та електрофізичні властивості перспективних матеріалів сучасної енергетики", номер гос. рег. 0111U001460, 2011 - 2012 гг.; "Розробка та дослідження новітніх матеріалів на основі нанокompозитного діоксиду цирконію і ВТНП - сполук поліфункціонального призначення", номер гос. рег. №0113U001078, 2013 - 2014 гг.), а также в рамках Международного научного сотрудничества.

Работа А.Н. Гриба построена следующим образом. Во Введении четко сформулированы цель и задачи исследований, обоснован выбор объектов и методов теоретических и экспериментальных исследований, новизна полученных результатов, практическая значимость и т.п.

Раздел 1 «ДОСЛІДЖЕННЯ КОГЕРЕНТНОЇ ДИНАМІКИ СИСТЕМ КОНТАКТІВ ДЖОЗЕФСОНА» являет собой классический литературный обзор по теме диссертации. Рассматриваются важнейшие фундаментальные и прикладные аспекты изучения и применения эффекта Джозефсона, среди которых важнейшее место занимает проблема внутреннего эффекта Джозефсона. Обзор весьма содержателен и свидетельствует о высокой квалификации диссертанта в области современных проблем сверхпроводимости, в том числе и связанных с эффектом Джозефсона. В качестве официально оппонента, я считаю своим долгом порекомендовать диссертанту в самые сжатые сроки опубликовать расширенный текст написанного им обзора по проблеме исследований когерентной динамики контактов Джозефсона в научной печати.

Раздел 2 «МЕТОДИКИ ПРИГОТУВАННЯ ЗРАЗКІВ, ЕКСПЕРИМЕНТУ ТА ПРОВЕДЕННЯ РОЗРАХУНКІВ». В подразделе 2.1 развита эффективная стратегия изучения когерентного излучения внутренних контактов Джозефсона, основанная на получении единой ВАХ с помощью сильного синхронизирующего электрического сигнала. В подразделе 2.2 описана используемая в работе тончайшая технология получения *единственного* объекта экспериментальных исследований диссертанта – тонких пленок ВТСП $Tl_2Ba_2CaCu_2O_{8-x}$.

Оригинальная часть диссертационной работы – Разделы 3 – 7.

В Разделе 3 «ВИСОКОЧАСТОТНА ВЗАЄМОДІЯ ДВОХ КОНТАКТІВ» приводятся результаты теоретических исследований по модификации метода медленно меняющихся амплитуд и по разработке систематического подхода к синхронизации осцилляций напряжения на контактах Джозефсона в модельных резонансных системах, состоящих из двух контактов и обратной связи между контактами.

В Разделе 4 «ВЗАЄМОДІЯ КОНТАКТІВ У БАГАТОКОТНАКТНИХ СИСТЕМАХ» с помощью численных методов проводится анализ механизмов синхронизации излучения многоконтактных цепей в сверхпроводящем резонаторе, бесконечной длинной линии и в резонансной длинной линии.

В Разделе 5 «ВПЛИВ РЕЗИСТИВНОГО ПОКРИТТЯ НА ЕЛЕКТРИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ВНУТРІШНІХ КОНТАКТІВ ДЖОЗЕФСОНА» приводятся результаты экспериментального и теоретического исследования влияния резистивного покрытия (шунтов из Ag и Au) на электрические свойства внутренних контактов Джозефсона.

В Разделе 6 «КОГЕРЕНТНА ДИНАМІКА КОНТАКТІВ, ЯКІ ЗНАХОДЯТЬСЯ ПРИ РІЗНИХ ТЕМПЕРАТУРАХ» рассмотрено влияние температуры на возможность образования когерентного излучения в системах контактов Джозефсона и проводится сопоставление результатов расчетов диссертанта с приведенными в литературе экспериментальными данными.

В Разделе 7 «ЕФЕКТ ДЖОЗЕФСОНА У ФРАКТАЛЬНИХ СИСТЕМАХ» численными методами исследуется эффект выпрямления напряжения в различных системах на основе ВТСП, содержащих контакты Джозефсона («внешние» - границы гранул и внутренние). На основе разработанных А.Н. Грибом моделей численно решена задача нахождения фрактальной размерности системы по зависимостям выпрямленного напряжения от магнитного поля для квазиодномерной фрактальной системы.

В самом концентрированном виде результаты научной деятельности Александра Николаевича ГРИБА и их обсуждения представлены в разделе ВИСНОВКИ (стр. 268).

Структура диссертации представляется мне вполне логичной и возражений не вызывает.

Необходимо рассмотреть степень новизны и достоверности полученных результатов, а также их ценность для современной физики (специальность 01.04.22 – сверхпроводимость).

Как мне представляется, совокупность 9 выводов диссертационной работы можно условно разделить на две группы: чисто фундаментальную – природа, электродинамика и общие закономерности синхронизированного состояния внутренних контактов Джозефсона (выводы 1 – 3) и «квазиприкладную» – экспериментальное и теоретическое изучение особенностей поведения конкретных систем джозефсоновских контактов.

1. Опис синхронізованого стану контактів Джозефсона в рамках методу амплітуд, які повільно змінюються, розширено для контактів з кінцевим значенням ємності та резонансного зворотного зв'язку. В рамках цього опису виявлено, що синфазна синхронізація випромінювання контактів Джозефсона у резонансних довгих лінях можлива при напругах, які відповідають самоіндукованим резонансним сходящим вольт - амперної характеристики при розбігу критичних струмів до 16%.

Защите данного положения посвящен Раздел 3.

Диссертант расширил описание синхронизированного состояния контактов Джозефсона в рамках метода медленно меняющихся амплитуд для контактов с конечным значением емкости и резонансной обратной связи. В рамках данной теории показано, что синфазная синхронизация излучения контактов Джозефсона в резонансных длинных линиях возможна при различии значений критических токов до 16%. *Впервые* найдено, что в такой системе интервалы синфазной и противофазной синхронизации чередуются.

Достоверность данного вывода сомнений не вызывает.

Ценность данного вывода заключается, в частности, в том, что введение представлений о конечном значении емкости контакта и резонансной обратной связи и их влияние на процесс синхронизации позволяют получить графические решения для нахождения условий реализации явления синхронизации излучения в системе контактов Джозефсона.

2. Показано, що механізмом синхронізованого випромінювання систем контактів у резонансній довгій лінії є взаємодія спільного для всіх контактів високочастотного синхронізуючого струму в системі на частотах резонансів з випромінюванням контактів.

Защите данного положения посвящен Раздел 3, п. 3.4. и Раздел 4, п.4.3.

Диссертант с помощью метода медленно меняющихся амплитуд и численных методов *установил природу* механизма синхронизированного излучения систем контактов в резонансной длинной линии на частотах резонансов – взаимодействие излучения контактов с общим для всех контактов высокочастотным синхронизирующим током.

Достоверность данного вывода сомнений не вызывает.

Ценность данного вывода я вижу в установлении того факта, что резонансная длинная линия является по существу не некой отдельной специфической системой, обеспечивающей новый тип синхронизации (как ранее полагалось), а резонансной системой обратной связи.

3. У результаті розрахунку для двомірної системи точкових контактів Джозефсона у резонансній довгій лінії знайдено, 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.

Защите данного положения посвящен Раздел 6, п. 6.3.

Суть данного вывода фактически заключается в установлении характера распределения синхронизированного излучения вдоль длинной линии. *Впервые* при частотах резонансов проанализированы распределения усредненного напряжения и высокочастотных токов вдоль длинной линии, в которой находятся контакты Джозефсона и показано, что синхронизированное излучение возникает в тех частях длинной линии, в которых течет сильный синхронизирующий ток, причем этот высокочастотный ток создается с помощью осцилляций напряжения на контактах. В других частях длинной линии возникает деформированная стоячая волна усредненного напряжения, так что излучение контактов в этих частях не синхронизировано.

Достоверность данного вывода базируется на результатах численных расчетов для двумерной системы точечных контактов Джозефсона в резонансной длинной линии.

4. В системах контактів Джозефсона в довгих лініях без резонансів чисельними методами знайдено поріг потужності когерентного випромінювання при збільшенні числа контактів, які знаходяться у резистивному стані.

Защите данного положения посвящен Раздел 4, п. 4.2.

В работе *впервые* показано, что в системах контактов Джозефсона в длинных линиях при отсутствии резонансов существует порог мощности когерентного излучения при увеличении числа контактов, которые находятся в резистивном состоянии. Ниже порога мощности когерентного излучения нет. Выше порога – мощность когерентного излучения увеличивается пропорционально квадрату количества контактов, которые находятся в резистивном (активном) состоянии. Диссертант доказал, что существование порога мощности связано с особенностями зависимости коэффициента связи между контактами от расстояния между контактами в бесконечной длинной линии.

Подобный взгляд на природу явления интуитивно представляется мне вполне естественным, что может свидетельствовать в пользу его *достоверности*.

Основную *ценность* данного вывода я вижу в наличии явной возможности его практического применения в различных системах на основе внутренних контактов Джозефсона.

5. Встановлено, що на вольт - амперних характеристиках довгого контакту з нормальними (не надпровідними) краями утворюються сходинки нульового поля. В системі двох взаємодіючих індуктивно один з одним довгих контактів Джозефсона з нормальними краями, кожна сходинка нульового поля розщеплюється на дві сходинки, положення яких на вольт - амперній характеристиці залежить від коефіцієнту взаємодії між контактами.

Защите данного положения посвящен Раздел 4, пп. 4.5 и 4.6.

Ценность данного вывода я вижу в том, что диссертант разработал *новый* алгоритм «квазиспектроскопии» системы контактов Джозефсона, основанный на появлении и расщеплении на две компоненты ступенек нулевого поля на ВАХ в системе, состоящей из взаимодействующих длинных контактов Джозефсона. Необходимым условием реализации данного алгоритма является наличие несверхпроводящего состояния на концах этих контактов. Хотя *достоверность* данного вывода сомнений не вызывает, механизм перехода концов контактов в нормальное состояние за счет потери кислорода в ВТСП при низких температурах представляется мне излишне смелым.

6. Теоретично показано, що контакти в системі двох чотирьохконтактних інтерферометрів можуть когерентно випромінювати завдяки індуктивній взаємодії інтерферометрів.

Защите данного положения посвящен Раздел 4, п. 4.4.

Диссертант на основании проведенного анализа механизма синхронизации показал, что в системе двух индуктивно связанных четырехконтактных интерферометров высокочастотный ток в каждом интерферометре синхронизирует осцилляции напряжения на контактах в другом интерферометре.

Новизна и достоверность данного вывода ни малейших сомнений не вызывают. Однако тезис о когерентном излучении контактов в результате индуктивного взаимодействия двух интерферометров представляется мне вполне очевидным, особенно с учетом того, что различные аспекты поведения контактов Джозефсона в четырехконтактных интерферометрах исследуются на протяжении многих лет (см., например, В.К. Корнев, А.В. Арзуманов, Письма в ЖТФ, **26**, 3, 23 (2000)).

7. Показана можливість синхронізації випромінювання контактів Джозефсона, які знаходяться при різних температурах.

Защите данного положения посвящен Раздел 6, пп. 6.1. и 6.2.

В подразделе 6.2 диссертантом *впервые* найдены условия синхронизации излучения контактов Джозефсона с большим (до 20%) различием критических токов, которые находятся при разных температурах. С моей точки зрения, данный вывод следует рассматривать как некую иллюстрацию к более фундаментальному по своей сути Выводу 1. Динамика эволюции ВАХ, свидетельствующая о достижении синхронизации излучения контактов представлена на Рис. 6.10 – 6.12. Приведенные на этих рисунках данные свидетельствуют в пользу *достоверности* Вывода 7.

Ценность данного вывода заключается в том, что предложенный механизм синхронизации может играть важную роль в формировании когерентного излучения внутренних джозефсоновских контактов в высокотемпературных сверхпроводниках.

8. Експериментально знайдено самоіндуковані резонансні сходинки на вольт - амперних характеристиках шунтованої системи внутрішніх контактів Джозефсона у високотемпературному надпровіднику $Tl_2Ba_2CaCu_2O_8$. Доведено, що поява самоіндукованих сходинок зумовлена геометричними резонансами системи контактів.

Для меня как физика-экспериментатора этот вывод представляет особый интерес. Действительно, результаты экспериментальной деятельности А.Н. Гриба приведены только в Разделе 5, в котором и защищается справедливость данного положения. Данный вывод содержит очень важный результат – *впервые* экспериментально обнаружены резонансные ступеньки на ВАХ шунтированной системы внутренних контактов Джозефсона в высокотемпературном сверхпроводнике $Tl_2Ba_2CaCu_2O_8$. Природу обнаруженных ступенек диссертант справедливо связывает с наличием геометрических резонансов шунтированной системы внутренних контактов Джозефсона.

Достоверность данного вывода, опирающегося на результаты не только экспериментальных, но и теоретических исследований, сомнений не вызывает.

Ценность данного вывода с прикладной точки зрения заключается в том, что в системах внутренних джозефсоновских контактов в высокотемпературных сверхпроводниках благодаря резистивному шунту создаются условия для образования когерентного излучения на частотах геометрических резонансов.

Косвенным образом совокупность результатов, приведенных в Разделе 5, свидетельствует об образовании непрерывных контактов Джозефсона в пленках ВТСП $Tl_2Ba_2CaCu_2O_8$ (в Разделе 1 приводятся аналогичные данные относящиеся к другому соединению на основе таллия – $Tl2223$).

9. Встановлено, що фрактальну розмірність одомірної фрактальної системи контактів Джозефсона можливо визначити з аналізу залежностей максимального критичного струму або випрямленої напруги від магнітного поля.

Защите данного положения посвящен Раздел 7.

Речь идет о рассмотрении более сложных систем контактов Джозефсона (по сравнению с модельными системами, функционирование которых основано на внутреннем эффекте Джозефсона, защищенных положениями 1 – 8). Примером подобных систем могут служить фрактальные системы, в которых интерференция сверхпроводящих токов происходит на контурах с широким распределением размеров. Нечто подобное имеет место в двухуровневых (гранулярных) высокотемпературных сверхпроводниках (ВТСП). Такая ситуация может быть рассмотрена в рамках перкаляционной модели. В рамках этой модели диссертантом рассчитаны зависимости джозефсоновского критического тока и выпрямленного напряжения от магнитного поля. С моей точки зрения максимальной *ценностью* данного положения как с научной, так и с прикладной точек зрения является обнаружение и обоснование наличия сходных черт поведения свойств модельных объектов (длиннопериодические сверхпроводники с внутренним эффектом Джозефсона) и реальными ВТСП (фракталы).

Диссертант *впервые* обратил внимание на наличие глубокой аналогии между интерференцией сверхтоков в интерферометре на основе фракталов и интерференцией света на фрактальной структуре, причем зависимость критического тока Джозефсона от магнитного поля аналогична зависимости интенсивности рассеянного света от волнового числа.

Достоверность данного положения сомнений не вызывает.

Я уверена в *новизне и достоверности* всех вышеприведенных положений, несомненна также и их *ценность* для дальнейшего развития учения о сверхпроводимости, физики низких температур, физики твердого тела и др. областей современной физики.

Из приведенного выше анализа основных положений диссертационной работы, текста диссертации и основных публикаций диссертанта, следует, что цель диссертационной работы – установление закономерностей образования когерентного динамического состояния в системах контактов Джозефсона и создания системы, в которой существуют условия для когерентного излучения – Александром Николаевичем ГРИБОМ полностью достигнута.

Результаты фундаментальных исследований диссертанта несомненно представляют высокую прикладную ценность для развития различных областей современной техники, в частности для создания компактных локальных источников излучения на основе высокотемпературных сверхпроводников.

У меня нет замечаний, относящихся к диссертационной работе Александра Николаевича ГРИБА *в целом*. Ограничусь лишь несколькими конкретными замечаниями:

1. Квинтэссенция диссертации – Раздел «Висновки» текстуально совпадает с пунктом «Наукова новизна отриманих результатів» в разделе ВСТУП. Насколько мне известно, ДАК этого не любит.

2. В Разделе 1, подраздел 1.4 приводятся сведения о ВТСП на основе талия – $Tl_2Ba_2Ca_2Cu_3O_{10}$, в котором, как установлено ранее, реализуется внутренний эффект Джозефсона. Означает ли это, что внутренний эффект Джозефсона на единственном экспериментальном объекте – пленках состава $Tl_2Ba_2CaCu_2O_{8-x}$ обнаружен и изучен в работе впервые?

3. С моей точки зрения как экспериментатора результаты аттестации образцов описаны излишне лаконично – отсутствуют данные о кристаллографической структуре полученных пленок и об их критической параметрах, позволяющие идентифицировать объект как $Tl_2Ba_2CaCu_2O_{8-x}$.

4. Нестабильность ВАХ от времени при термоциклировании в диапазоне температур 4.2 – 300К диссертант связывает с разрушением шунтирующего покрытия – тончайшей пленки золота. С моей точки зрения это маловероятно (золото – очень пластичный металл).

Все высказанные замечания не носят принципиального характера, не затрагивают общей высокой оценки диссертации и не могут повлиять на положительное впечатление от полученных в работе новых результатов и ее содержания.

В качестве официального оппонента я считаю, что совокупность положений диссертационной работы А.Н. Гриба свидетельствует о том, что в результате научной работы, проделанной диссертантом достигнут существенный прогресс в становлении и развитии актуального научного направления физики сверхпроводимости – “Электродинамика систем с джозефсоновскими контактами”. В становлении и развитии этого направления и заключается *научная и прикладная значимость* всей совокупности результатов, полученных А.Н. Грибом и обобщенных в рецензируемой диссертации.

Диссертационная работа А.Н. Гриба оформлена в соответствии с требованиями ДАК МОН Украины к докторским диссертациям и написана хорошим научным языком. Основные результаты работы Александра Николаевича Гриба в полной мере опубликованы в отечественной и международной научной печати и доложены на многих международных конференциях. Положение и результаты, которые выносились на защиту кандидатской диссертации, не выносятся на защиту докторской диссертации. Автореферат отражает основное содержание и структуру диссертационной работы.

Считаю, что диссертация Александра Николаевича ГРИБА полностью соответствует паспорту специальности 01.04.22, является завершенной научной работой и удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к докторским диссертациям, в частности пунктам 9, 10 и 12 "Порядку присуждения научных ступенів і присвоєння вченого звання старшого

наукового співробітника" и требованиям Департамента по аттестации кадров Министерства образования и науки Украины, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.22 – сверхпроводимость.

Официальный оппонент
старший научный сотрудник
ННЦ ХФТИ НАНУ,
доктор физико-математических наук,
старший научный сотрудник

 Т.В. Сухарева.



Підпис Т.В. Сухарева
завершено