

## РЕЦЕНЗІЯ

офіційного рецензента на дисертаційну роботу Квітки Ніни Михайлівни «**Поширення електромагнітних збуджень у шаруватих надпровідниках, кероване статичним магнітним полем**»,

на здобуття наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 10 – Природничі науки за спеціальністю 104 – Фізика та астрономія

Шаруваті надпровідники мають ряд унікальних фізичних властивостей, які обумовлені сильною анізотропією завдяки внутрішньому ефекту Джозефсона. В шаруватих надпровідниках існують різні нелінійні електромагнітні явища в терагерцовому діапазоні частот. Крім того, ці нелінійні явища є чутливими до зовнішнього постійного магнітного поля. Магнітне поле дозволяє контролювати характеристики електромагнітних збуджень в шаруватих надпровідниках. Ця обставина дає можливість створення нових пристроїв електроніки та радіофізики. Тому подальше дослідження електромагнітних явищ у шаруватих надпровідниках при наявності магнітного поля викликає великий інтерес. Дисертаційна робота Квітки Н. М. присвячена теоретичному дослідженню електромагнітних збуджень в шаруватих надпровідниках в терагерцовому діапазоні частот.

**Актуальність** теми дисертаційної роботи Квітки Н. М. обумовлена великим науковим та практичним значенням досліджень характеристик електромагнітних збуджень в шаруватих надпровідниках при наявності зовнішнього магнітного поля. Автором доведено, що електромагнітні збудження у шаруватих надпровідниках можуть бути використані для покращення характеристик існуючих твердотільних приладів та створення нових типів приладів електроніки та радіофізики.

**Метою дисертаційної роботи** є аналітичне дослідження розповсюдження терагерцових електромагнітних хвиль через пластину шаруватого надпровідника та визначення впливу статичного магнітного поля на хвильові електромагнітні процеси. Для досягнення цієї мети використовувалися добре перевірені та загально прийняті методи теоретичної фізики, методи числових розрахунків і наближені методи асимптотичного аналізу. Поля в шаруватому надпровіднику аналізувалися за допомогою розв'язання зв'язаних синусоїдальних рівнянь Гордона. Проходження хвиль через багат шарову структуру досліджувалося за допомогою методу трансфер-матриць.

**Достовірність** отриманих у дисертації теоретичних результатів підтверджується використанням апробованих методів і методик досліджень та публікаціями у рейтингових фахових міжнародних журналах, які входять до міжнародних наукометричних баз даних.

**Наукове та практичне значення роботи.** Робота носить теоретичний характер та містить розв'язання актуальних задач, які несуть велику наукову цінність для фізико-математичних та технічних наук. Дисертація має також велику практичну значимість. На основі отриманих результатів можливо створити нові прилади, що працюють у характерному для шаруватих надпровідників терагерцовому діапазоні частот, зокрема фільтри, змішувачі, підсилювачі. Показано, що використання статичного магнітного поля для дозволяє ефективно керувати роботою таких приладів.

**Структура дисертаційної роботи** Квітки Н. М. складається з анотації, вступу, чотирьох розділів, загальних висновків, 2-х додатків та списку використаних джерел. Результати дисертації викладено в 3 статтях, які опубліковано в реферованих періодичних фахових виданнях, 8 тезах доповідей у збірниках праць міжнародних і вітчизняних конференцій та у одному препринті.

В **першому розділі** дисертації було проаналізовано літературні джерела про шаруваті надпровідникові системи, описано основні підходи до аналізу їхніх електродинамічних властивостей. Описані найважливіші ефекти, передбачені у таких системах.

В **другому розділі** дисертації розглянуто електромагнітні хвилі у тонкій пластині шаруватого надпровідника, яка знаходиться в діелектричному середовищі. Аналітично отримано закон дисперсії поверхневих та хвилевідних електромагнітних хвиль у випадках,



коли надпровідні шари паралельні або перпендикулярні границі розділу. Розглянуто симетричні та антисиметричні моди ЕМ-хвиль у пластині шаруватого надпровідника. Для кожної моди побудовано спектральні криві. На дисперсійних кривих знайдені області з аномальною дисперсією.

У **третьому розділі** дисертації розглянуто збудження локалізованих хвиль, яке викликає явище резонансної прозорості зразка. Вперше досліджено вплив статичного магнітного поля на це явище. Приведено фізичну інтерпретацію явища резонансної прозорості зразка. Задачу розв'язано аналітично в трансфер-матричному формалізмі. Показано, що компоненти матриць не містять інформації ні про розміри зразка (товщину), ні про тип діелектричного середовища, з яким межує пластина. Отримано та проаналізовано явні вирази для коефіцієнтів відбиття й проходження хвиль. Досліджено вплив статичного поля на ці коефіцієнти та визначено можливість керування явищем резонансної прозорості.

У **четвертому розділі** дисертації досліджено нелінійне фокусування лазерного пучка гаусового профілю, зумовлене його проходженням через пластину шаруватого надпровідника при наявності зовнішнього магнітного поля. Отримано значення коефіцієнта пропускання для терагерцової лінзи з шаруватого надпровідника і показано, що його величина при певних значеннях магнітного поля, може бути значно більшою у порівнянні з іншими наявними матеріалами. Показано також, що статичне магнітне поле суттєво впливає на основні параметри фокусування лазерного пучка зразком шаруватого надпровідника.

Кожен розділ дисертаційної роботи має проміжні висновки. Основні нові результати дисертації наведено наприкінці дисертаційної роботи. Автором сформульовано та обґрунтовано висновки, узагальнення та положення всіх розділів дисертації. Таким чином, особистий внесок дисертанта є визначальним.

**Наукова новизна результатів дослідження** полягає у наступному:

1. Враховано ефект порушення електронейтральності в тонких шарах надпровідника в геометрії, коли шари надпровідника паралельні границям розділу пластина-вакуум. Отримано і проаналізовано закон дисперсії локалізованих електромагнітних хвиль для цього випадку і показано, що порушення електронейтральності може призводити до появи аномальної дисперсії хвиль. В рамках формалізму трансфер-матриць аналітично знайдено закон дисперсії локалізованих електромагнітних хвиль в тонких пластинах шаруватого надпровідників в геометрії, коли шари надпровідника перпендикулярні границі розділу пластины і вакууму за наявності зовнішнього постійного магнітного поля. Показано, що дисперсія локалізованих електромагнітних хвиль може бути аномальною.
2. Модифіковано метод трансфер-матриць для дослідження проходження електромагнітних хвиль крізь пластину шаруватого надпровідника з урахуванням того, що електромагнітні поля в пластині описуються негармонічними спеціальними функціями Лежандра. Отримано аналітичні вирази для трансфер-матриць проходження через «хвіст» джозефсонівського вихору, що залежать лише від величини постійного магнітного поля.
3. Аналітично досліджено вплив статичного магнітного поля на резонансну прозорість терагерцової хвилі у геометрії Отто. Показано, що за допомогою статичного магнітного поля можна отримувати різні типи залежності коефіцієнта пропускання від кута падіння електромагнітної хвилі.
4. Аналітично досліджено вплив статичного магнітного поля на фокусування лазерного пучка гаусового профілю, його фокусну відстань та мінімальний радіус пучка, що проходить крізь пластину шаруватого надпровідника. Показано, що наявність магнітного поля дозволяє реалізовувати режими як фокусування, так і дефокусування гаусового пучка.

За змістом дисертації можна зробити наступні **зауваження**:

1. У другому розділі дисертації не показано як товщина пластины шаруватого надпровідника впливає на спектр поверхневих та хвилевідних електромагнітних збуджень.
2. У третьому розділі бажано б привести частотну залежність коефіцієнту проходження при фіксованому значенні кута падіння зовнішньої електромагнітної хвилі. Це дало б більше



можливостей для постановки експерименту по виявленню передбачених у дисертації нових ефектів.

3. У четвертому розділі слід було б обґрунтовувати вибір методу Ейлера для проведення чисельних розрахунків. Треба було вказати чим цей метод ліпший ніж інші численні методи.

Варто відзначити, що вищенаведені недоліки не знижують наукову та практичну значущість викладених в дисертації результатів. Основним досягненням дисертанта є отримання, **вперше**, низки теоретичних результатів з дослідження розповсюдження електромагнітних хвиль у шаруватих надпровідниках. Ці результати мають суттєву практичну значущість. Сформульовані на їх основі висновки є цілком **обґрунтованими**. Запропоновані в дисертаційній роботі методики теоретичних досліджень відповідають потрібному рівню достовірності.

**Відомості про дотримання академічної доброчесності.** Неправомірних запозичень та ознак порушення академічної доброчесності у дисертаційній роботі Квітки Н. М. не виявлено.

Вважаю, що дисертаційна робота Квітки Н. М. є **завершеною науковою працею**, в якій наведено повний опис наукового процесу починаючи з розробки та обґрунтування методик закінчуючи їхнім практичним використанням при проведенні досліджень. До безумовної переваги даної дисертаційної роботи варто віднести факт отримання фундаментальних теоретичних результатів, які мають наукову значущість для електроніки та фізики твердого тіла. Результати, що було наведено в роботі пройшли успішну **апробацію** на міжнародних наукових конференціях як в Україні, так і за кордоном.

Узагальнюючи все вищевикладене, за актуальністю, новизною, науковим рівнем та обсягом проведених теоретичних досліджень дисертаційна робота Квітки Н. М. «**Поширення електромагнітних збуджень у шаруватих надпровідниках, кероване статичним магнітним полем**» повністю відповідає вимогам Постанови Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 року № 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 її автор, Квітка Ніна Михайлівна, заслуговує присудження наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 10 – Природничі науки за спеціальністю 104 – Фізика та астрономія.

Офіційний рецензент:

доктор фізико-математичних наук, професор,

завідувач відділом твердотільної електроніки

Інституту радіофізики та електроніки ім. О. Я. Усикова НАН України

М.М. Білецький

Підпис М.М. Білецького засвідчую.

ВО вченого секретаря

ІРЕ ім. О. Я. Усикова НАН України\*

кандидат фіз.-мат. наук



О. В. Кривенко