

Відгук  
офіційного опонента на дисертаційну роботу  
**Рохманової Тетяни Миколаївни**  
«Відбиття, проходження і трансформація електромагнітних хвиль у шаруватих  
надпровідниках скінчених розмірів»,  
яка представлена на здобуття наукового ступеню кандидата фізико-математичних  
наук за спеціальністю **01.04.02 – «теоретична фізика»**

Дисертаційна робота Т.М. Рохманової присвячена детальному теоретичному опису проходження, відбиття і трансформації лінійних і нелінійних електромагнітних хвиль у системах, що включають в себе шаруватий надпровідник скінчених розмірів. Даний зразок поміщується у хвилевід і при цьому розглядаються два варіанти орієнтації: надпровідникові шари перпендикулярні або паралельні вісі хвилеводу. Також досліджено вплив зовнішнього постійного магнітного поля на процеси відбиття та проходження поперечно-магнітних хвиль крізь обмежений шаруватий надпровідник. Шаруваті надпровідники представляють перспективний об'єкт дослідження в першу чергу завдяки незвичайній токовій анізотропії структури. В роботі зроблено спробу розглянути більш реалістичні умови – враховано скінченність розмірів зразків, тож ці результати можуть бути корисні для подальшого теоретичного та експериментального дослідження шаруватих надпровідників. Описані електромагнітні процеси важливі для можливих застосувань в області терагерцевих джерел та перетворювачів випромінювання, адже джозефсонівські плазмові хвилі, що формуються у шаруватих надпровідниках, відносяться саме до цього активно досліджуваного діапазону. Таким чином, тема дисертаційної роботи Т.М. Рохманової є безсумнівно **актуальною**.

**Актуальність** досліджень дисертаційної роботи Рохманової Т.М. підтверджується також тим, що вони є складовою частиною наступних проектів, які виконувались в Інституті радіофізики та електроніки НАН України: «Вивчення взаємодії електромагнітних та звукових хвиль, а також заряджених часток з твердотільними структурами» (номер державної реєстрації 0112U000211, термін виконання 2012-2016 рр.), «Теоретичні та експериментальні дослідження властивостей періодичних і стохастичних модульованих наноструктур в оптичному, інфрачервоному та надвисокочастотному діапазонах спектру» (номер державної реєстрації 0110U005642, термін виконання 2010-2014 рр.), «Квантові явища в системах на основі джозефсонівських контактів» (номер державної реєстрації 0113U006217, термін виконання 2013 р.)

Дисертаційна робота складається з п'яти розділів.

**Перший розділ** містить прекрасно написаний огляд літератури та послідовне виведення основних рівнянь для поширення хвиль у шаруватих надпровідниках, які в наступних чотирьох розділах розв'язуються і аналізуються.

У **другому розділі** автор дисертації описує дослідження лінійних хвиль в хвилеводі, в який поміщено шаруватий надпровідник з поперечною або поздовжньою орієнтацією відносно вісі хвилеводу. Вивчається залежність коефіцієнта проходження від товщини зразка та частоти хвилі. Показано, що у

першому випадку у зразку збуджується тільки або звичайна, або незвичайна хвилі, трансформації падаючої хвилі не відбувається, проходження може мати резонансний характер. У разі поздовжньої орієнтації отримано цікавий результат – можлива взаємна трансформація хвиль ортогональної поляризації, бо падаюча на зразок хвиля збуджує і звичайну, і незвичайну моду у зразку. Такий тип трансформації поляризації може бути корисним для застосувань.

**Третій розділ** присвячений вивченню нелінійності, яка пов'язана з залежністю джоузефсоновського струму від внутрішньої різниці фаз параметра порядку. Проведено детальне виведення формул, які описують коефіцієнт проходження хвилі через зразок в прямокутному хвилеводі. Нетривіальним результатом є багатозначна, гістерезисна залежність коефіцієнта проходження від амплітуди падаючого сигналу. Проводиться послідовний теоретичний аналіз цього явища. На прикладі цього аналізу, можна побачити дуже високий рівень дисертації: явище вивчається і аналітично, і чисельно, обговорюється механічна аналогія і фізичне обґрунтування процесу.

Вивченню трансформації поляризації нелінійних хвиль при проходженні крізь шаруватий надпровідник з поздовжньою орієнтацією надпровідникових шарів відносно вісі хвилеводу присвячений **четвертий розділ**. При цьому сформульований і обґрунтований специфічний принцип суперпозиції. Згідно з цим принципом, в головному наближенні за параметром анізотропії, падаючу хвилю можна розкласти на суперпозицію хвиль двох поляризацій, які одна з одною не взаємодіють навіть у нелінійному випадку. Цей принцип не тільки має фундаментальне значення, він дозволяє істотно спростити опис поширення нелінійних хвиль, розкладаючи їх описаним чином.

У **п'ятому розділі** вивчається вплив постійного магнітного поля на відбиття та проходження електромагнітної хвилі. Показано, що навіть слабкого магнітного поля достатньо для контрольованої зміни коефіцієнта проходження в інтервалі від нуля до одиниці. Тобто малих змін контролюючого магнітного поля достатньо для того, щоб зробити зразок прозорим для електромагнітних хвиль або навпаки. Такий механізм контролю може бути дуже важливий для практичних технологій в області твердотільних реалізацій терагерцевих випромінювань. Знайдено ряд аналітичних рішень, у тому числі для солітонів. Детально вивчається залежність відбиття і проходження хвилі крізь шаруватий надпровідник від частоти, кута падіння, величини зовнішнього магнітного поля, товщини зразка.

Таким чином, в дисертаційній роботі шляхом аналітичного і чисельного розв'язання рівнянь зв'язаних синусоїдальних рівнянь Гордона, з урахуванням феноменологічних рівнянь теорії Лондонов та стаціонарного ефекту Джоузефсона, у роботі отримано ряд **нових** цікавих результатів. Зокрема показано, що при розповсюдженні хвиль вздовж шарів виникає ефект трансформації поляризації падаючої хвилі. Встановлено, що як за поперечної, так і поздовжньої орієнтації надпровідникових шарів відносно вісі хвилеводу, залежність коефіцієнта проходження нелінійних хвиль крізь зразок шаруватого надпровідника від їх амплітуди має незвичайний гістерезисний характер. Показано, що зовнішнім постійним магнітним полем можна ефективно управляти прозорістю зразка шаруватого надпровідника.

**Обґрунтованість та достовірність** отриманих в дисертації теоретичних результатів забезпечується застосуванням сучасних надійно апробованих методів

теоретичної фізики конденсованого стану, а також підтверджується ретельно зробленими викладками, наведеними у тексті. В рамках застосованих модельних припущень наукові положення, висновки, сформульовані у дисертації, є цілком обґрунтованими. Аналітичні результати доповнюються і підтверджуються чисельними розрахунками.

**Практичне значення одержаних результатів** в першу чергу пов'язано з можливим застосуванням шаруватих надпровідників у терагерцевій електроніці. До того ж результат задачі у магнітному полі – зміна прозорості зразка у широкому діапазоні при невеликій зміні магнітного поля, демонструє, що шаруваті надпровідники можуть бути перспективними при розробці електронних пристроїв терагерцевого діапазону. Крім того, запропоновано цікавий метод, який може бути використано при розв'язанні задач відбиття та проходження нелінійних хвиль крізь такі надпровідникові структури. Загалом дослідження дисертаційної роботи доповнюють і розширюють існуючі уявлення про електромагнітні процеси у шаруватих надпровідниках, що підтверджує також **фундаментальне теоретичне значення** отриманих результатів.

Вважаю за доцільне ознайомити з науковими результатами дисертаційної роботи Рохманової Т.М. фахівців таких інститутів НАН України і університетів МОН України, як Інститут фізики НАН України (м. Київ), Інститут теоретичної фізики ім. М.М. Боголюбова НАН України (м. Київ), Інститут металофізики ім. Г.В. Курдюмова НАН України (м. Київ), Інститут радіофізики та електроніки ім. О.Я. Усикова НАН України (м. Харків), Фізико-технічний інститут низьких температур ім. Б.І. Веркіна НАН України (м. Харків), Національний науковий центр Харківського фізико-технічного інституту (м. Харків), Харківський національний університет ім. В.Н. Каразіна (м. Харків), Інститут монокристалів НАН України (м. Харків).

По змісту дисертації можна зробити такі **зауваження**:

- 1) Важливими аспектами роботи є реалістичність моделі та пропозиції для практичних застосувань. Однак, основний текст роботи практично не містить ні аналізу наявних експериментальних робіт, ні конкретних вказівок при яких умовах очікується спостереження передбачених залежностей та ефектів. Тут єдиним винятком є дуже лаконічне посилання на експериментальну роботу у висновках до розділу 3.
- 2) У першому розділі обговорюється важливість ефекту порушення електронейтральності, особливо при частотах близьких до джозефсонівської плазмової частоти. Однак, надалі цим ефектом нехтують, хоча частоти розглядаються якраз дуже близькими до плазмової частоти. Бажано було б більш детально обґрунтувати це та інші наближення (такі як континуальне наближення), а також обговорити можливий вплив відхилень від наближень на передбачені залежності та ефекти.
- 3) У першому розділі йдеться про те, що в попередній теоретичній роботі (роботі [115]) розглянуті теоретично лінійні і нелінійні хвилі в обмежених шаруватих надпровідниках. При цьому в основному тексті не наводиться порівняння з цією або з іншими попередніми теоретичними роботами щодо вивчення електромагнітних хвиль в шаруватих надпровідниках.

Однак зазначені зауваження не впливають істотно на отримані автором дисертації результати і на загальну високу оцінку роботи. Дисертація прекрасно структурована і написана доброю науковою мовою. Основні результати опубліковані в 6 статтях, серед яких роботи у таких відомих профільних журналах як «Physical Review B» і «Фізика низьких температур». При цьому, очевидно, що значний внесок в роботу належить особисто дисертанту, що додатково підтверджується тим, що у більшості з цих статей вона – перший автор. Новизна та наукове значення отриманих результатів не викликають сумнівів. Опубліковані роботи й автореферат повністю відображають зміст і висновки дисертаційної роботи, а також особистий внесок здобувача. Дисертація Т.М. Рохманової є закінченою науковою роботою, в якій отримані нові науково-обґрунтовані результати, що в сукупності вирішують важливу наукову проблему теоретичної фізики конденсованого стану, а саме: теоретично описано трансформацію поляризації лінійних і нелінійних електромагнітних хвиль при їх відбитті та проходженні крізь шаруваті надпровідники скінченних розмірів і встановлено вплив зовнішнього постійного магнітного поля на коефіцієнти відбиття та проходження.

Вважаю, що враховуючи актуальність обраної теми, новизну та наукову значимість отриманих результатів, достовірність і обґрунтованість висновків, дисертація задовольняє вимогам, що ставляться до кандидатських дисертацій МОН України, зокрема пунктам 9, 11 та 12 “Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника”, а автор дисертації Т.М. Рохманова, поза сумнівом, заслуговує на присудження наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.02 – теоретична фізика.

Офіційний опонент,  
доктор фізико-математичних наук,  
старший науковий співробітник,  
старший науковий співробітник  
відділу надпровідних і мезоскопічних структур  
Фізико-технічного інституту низьких температур  
ім. Б.І. Веркіна НАН України

*СМ*

С.М. Шевченко

Підпис С.М. Шевченка засвідчую.

Вчений секретар ФТІНТ ім. Б.І. Веркіна  
НАН України,  
кандидат фіз.-мат. наук



О.М. Калиненко