

## ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА

на дисертаційну роботу

**Болясової Ольги Олександрівни**

**«Квантові динамічні ефекти у двокомпонентних системах –  
антиферромагнетиках і двозонних надпровідниках»,**

подану на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук  
за спеціальністю 01.04.07 – фізика твердого тіла

Дисертаційна робота О. О. Болясової присвячена вивченню квантових явищ в антиферромагнетиках і двозонних надпровідниках.

**Актуальність дисертаційної роботи** обумовлена необхідністю пошуку ефективних методів керування квантовими властивостями твердих тіл і розвитку квантових технологій для потреб сучасної електроніки, зокрема, на стику спінтроніки, магноніки і надпровідної електроніки.

Використання додаткових ступенів свободи в твердих тілах (в антиферромагнетиках – це хіральність, в надпровідниках – використання двох зон) відкриває перспективи для розробки пристроїв з недвійковою системою обчислень та використання нових типів носіїв інформації. Інтерес до антиферромагнетиків також обумовлений досить високими частотами магнітної динаміки, низькими енергетичними втратами при поширенні спінових хвиль і стійкістю антиферромагнетиків до зовнішніх магнітних полів і збурень. Двозонні надпровідники, в свою чергу, мають додатковий параметр порядку, а також більш просту структуру порівняно із багатозонними надпровідниками (отже, є більш зручними системами для аналізу, пошуку та апробації нових ідей).

Таким чином, тематика досліджень О. О. Болясової як з наукової, так і з практичної точки зору є **актуальною**. Актуальність проведених досліджень також підтверджується тим, що наукові результати, наведені в дисертації, отримані в рамках 4 держбюджетних НДР і кількох міжнародних і білатеральних грантів.

### **Загальна характеристика дисертаційної роботи.**

Дисертаційна робота написана українською мовою.

**Мета роботи** – встановити ефективні методи керування властивостями твердих тіл для подальшого застосування в квантових технологіях і магноніці.

Сформульована мета відповідає поставленим та виконаним у дисертаційній роботі завданням.

Дисертація О. О. Болясової є *завершеною науковою працею*, яка складається з анотації, вступу, п'яти розділів, загальних висновків і списку використаних джерел. Загальний обсяг роботи – 138 сторінок. Робота містить 1 таблицю, 40 рисунків і 190 посилань.

У *вступі* обґрунтовано актуальність роботи, зазначено мету та основні завдання дослідження, визначено об'єкт, предмет та методи досліджень, відображено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, наведено відомості про особистий внесок здобувача, апробацію результатів та публікаційну діяльність.

*Перший розділ* авторка присвятила актуальній проблемі пошуку альтернатив для обчислювальних пристроїв на основі кремнієвої технології з акцентом на надпровідні та магنونні системи.

У *другому розділі* наведено результати досліджень поздовжньої спінової динаміки двопідґраткових антиферромагнетиків при температурах близьких до температури Нееля. Для визначення спектру «поперечних» і «поздовжніх» магنونів було використано діаграмну техніку спінових операторів. Відмічено існування двох типів поздовжніх збуджень: (1) анігіляція одного магнона та утворення іншого і (2) одночасне збудження або анігіляція двох магنونів. Отримано залежності енергії акустичної та оптичної мод від хвильового числа, температури та інших параметрів системи.

У *третьому розділі* висвітлені результати дослідження впливу ефекту Ааронова-Кашера на динаміку спінових хвиль з правосторонньою та лівосторонньою поляризаціями. Використовувався феноменологічний підхід на основі системи рівнянь Ландау-Ліфшиця-Гільберта. Показано, що зовнішнє електричне поле розщеплює спектр спінових хвиль і відкриває можливість керування спіновими хвилями різної хіральності. Розглянуто перспективи практичного застосування топологічного ефекту Ааронова-Кашера в пристроях магنونіки. Отримано довжини згасання та групові швидкості правосторонніх та лівосторонніх хвиль. Виявлено область з аномальним зменшенням частоти і одночасно різким збільшенням групової швидкості спінових хвиль.

У *четвертому розділі* авторка наводить результати досліджень часового згасання спінових хвиль в двопідґратковому антиферромагнетикі під дією електричного поля. Результати отримані за допомогою того самого підходу, що і в третьому розділі. Продемонстровано наявність різниці в релаксації

лівосторонніх та правосторонніх магнонів. Отримано аналітичні вирази для визначення часового згасання спінових хвиль різної хіральності.

Останній *п'ятий розділ* дисертаційної роботи присвячений аналізу диференціальної надпровідності в точкових контактах Mo–Re. Використано підхід Блондера-Тінкхема-Клапвійка та метод розсіювання квазічастинкових збуджень для визначення параметрів порядку сплаву Mo–Re практично з однаковим вмістом його складових. Продемонстровано наявність другої щілини у зонній структурі надпровідника, а також визначено відносний внесок кожної з щілин у диференціальну провідність контакту.

У дисертаційній роботі Болясової Ольги одержано ряд **нових наукових результатів**, а саме:

- Вперше побудовано модель і розраховано згасання поздовжніх двомагнонних збуджень в антиферомагнетиках. Визначено поведінку цих збуджень залежно від хвильового числа, температури та параметрів антиферомагнетика.
- Вперше досліджено просторове згасання правосторонніх та лівосторонніх хвиль під дією ефекту Ааронова-Кашера.
- Вперше під дією ефекту Ааронова-Кашера виявлено аномальну область з різким зменшенням частоти та одночасно з різким збільшенням групової швидкості спінових хвиль для лівосторонньої та правосторонніх мод.
- Вперше отримано часове згасання правосторонніх та лівосторонніх спінових хвиль під дією ефекту Ааронова-Кашера. Відзначено, що часове згасання спінових хвиль різної поляризації може бути неоднаковим лише за рахунок міжпідграткового коефіцієнту згасання.
- Отримано значення надпровідних щілин для сплаву  $\text{Mo}_{0.52}\text{Re}_{0.42}$  на основі аналізу диференціальної провідності точкових контактів, що підтверджує попередні гіпотези про двозонність цього сплаву.

**Достовірність наукових результатів та висновків** дисертаційної роботи підтверджується їх публікацією в рецензованих журналах, що індексуються наукометричними БД Scopus та/або Web of Science, та узгодженням з роботами інших науковців.

Наукові результати отримані із застосуванням відомих методів теоретичного і числового аналізу. Частина результатів має експериментальне підтвердження. Отримані аналітичні вирази не суперечать іншим дослідженням.

**Апробація результатів.** За результатами дисертаційного дослідження опубліковано 22 наукові праці. Серед них: 6 статей у журналах, що мають квартиль Q1 – Q4 і входять до наукометричних БД Scopus та/або Web of Science,

3 роботи, що індексуються у згаданих БД, та 13 тез доповідей на вітчизняних і зарубіжних конференціях.

**Практична цінність** отриманих в роботі результатів полягає у можливості використання досліджених ефектів для розробки електрично-керованих магнетонних пристроїв нового типу на основі антиферромагнетиків, а також для розробки надпровідних Mo–Re систем для реалізації нового покоління квантових систем, зокрема, перспективних для квантових обчислень.

**Особистий внесок** здобувача полягає в аналізі літературних джерел, проведенні розрахунків, обробці та аналізі отриманих даних, написанні статей і дисертації, представленні результатів на конференціях.

Сформульовані у дисертаційній роботі наукові положення і висновки є обґрунтованими, відповідають поставленій меті роботи та її задачам. Результати дисертаційної роботи відповідають змісту опублікованих дисертанткою статей. Робота не містить ознак порушення принципів академічної доброчесності.

#### **Зауваження до дисертаційної роботи:**

1. В роботі проведено дослідження поздовжньої спінової динаміки лише при температурах близьких до температури Нееля. В той же час, з практичної точки зору, доречно було б зробити принаймні якісну оцінку зміни спінової динаміки при помітному відхиленні температури від температури Нееля.
2. Теоретичні і числові результати, отримані в дисертації, порівнюються з даними, зокрема, й експериментальними, отриманими іншими дослідниками. Однак, ці порівняння не завжди є наочними і легкими для сприйняття. Наприклад, у підрозд. 2.6 «Порівняння з експериментальними результатами» доречно було б порівняти в графічній формі розрахований закон дисперсії магнетонів з даними інших дослідників. Безпосереднє порівняння з даними, відомими з літератури, також було б корисним для результатів, отриманих у розділах 3 та 4.
3. У третьому і четвертому розділах дисертації доречно детальніше сформулювати обмеження обраної моделі, пов'язані з величиною прикладеного електричного поля.
4. У третьому розділі дисертації бажано було б розглянути одночасний вплив магнітного і електричного поля на появу аномальної області зростання групової швидкості спінових хвиль.
5. В огляді літератури (розділ 1) було зазначено можливість дослідження гетероструктур антиферромагнетик–надпровідник, однак прикладів такого

дослідження в дисертаційній роботі немає, хоча подібне дослідження було б логічним доповненням до виконаної роботи.

6. В роботі зустрічаються орфографічні і стилістичні помилки.
7. Не всі рисунки виконані в одному стилі. При оформленні багатьох рисунків окрім української мови використовується ще й англійська.
8. Посилання на деякі власні публікації, наприклад, тези доповідей на конференціях, зазначені лише у висновках до кожного з розділів.

Разом з тим, перераховані вище зауваження не є критичними і не ставлять під сумнів основні результати роботи, їх наукову і практичну значимість.

Вважаю, що дисертаційна робота О. О. Болясової **«Квантові динамічні ефекти у двокомпонентних системах – антиферромагнетиках і двозонних надпровідниках»** повністю відповідає вимогам пунктів 9, 11, 12, 13 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України № 567 від 24 липня 2013 р. (із змінами, внесеними згідно з Постановами КМУ № 656 від 19.08.2015 р., № 1159 від 30.12.2015 р., № 567 від 27.07.2016 р., № 943 від 20.11.2019 р., № 607 від 15.07.2020 р.), а її авторка, **Болясова Ольга Олександрівна**, заслуговує на присудження наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.07 – фізика твердого тіла.

#### Офіційний опонент

В.о. завідувача кафедри фізики  
високих технологій та електроніки  
Київського національного університету  
імені Тараса Шевченка,  
д. ф.-м. н., професор

Олександр ПРОКОПЕНКО

