

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу Куліша Володимира Вікторовича
«Магнітні спін-хвильові та одноелектронні оптичні властивості наносистем
оболонкового типу»
подану на здобуття наукового ступеня доктора фізико-математичних наук
за спеціальністю 01.04.11 – магнетизм

Дисертаційна робота В.В. Куліша присвячена актуальній проблемі сучасної фізики наносистем: дослідженю впливу розмірів та форми наносистеми на її динамічні магнітні (низькочастотні) та оптичні (високочастотні) властивості.

У перших розділах досліджено дипольно-обмінні спінові збудження у феромагнітних оболонкових наносистемах – нанотрубках різної конфігурації, сферичної нанооболонці та нанорису, а також одно електронне поглинання світла у металевих наносистемах подібної конфігурації з порушенням симетрією. Для досліджень первого типу використовується відоме лінеарізоване рівняння Ландау-Ліфшиця у магнітостатичному наближенні для одноосьового феромагнетику, а також стандартні магнітні граничні умови. Знайдено дисперсійні відношення та зв'язок між компонентами хвильового вектора, а також (для обох конфігурацій нанооболонок) спектр значень частот спінових збуджень. Проведено порівняльний аналіз отриманих результатів для різних конфігурацій наносистем, виділено як схожі, так і відмінні риси. Окремо досліджено вплив спін-поляризованого струму на спектральні характеристики спінових хвиль у феромагнітній нанотрубці колового та еліптичного перерізів. Показано, що наявність спін-поляризованого струму може як посилювати, так і послаблювати дисипацію енергії у спіновій хвилі, а також призводити до генерації спінової хвилі. Знайдено умови посилення дисипації, послаблення дисипації та генерації. Для досліджень другого типу використано квантомеханічний вираз для компонент приведеного до головних осей тензору

одноелектронної провідності металевої наносистеми. Знайдено вирази для електричної складової тензору зазначеного поглинання описаних вище наносистем. Проаналізовано вплив малих порушень симетрії та дискретності спектру енергій електрону на компоненти тензору. Проведено порівняльний аналіз отриманих результатів для різних конфігурацій наносистем. Крім того, для симетричної циліндричної нанотрубки та симетричної сферичної нанооболонки проведено порівняння електричної та магнітної складових енергії, що розсіюється за одиницю часу в одиницю об'єму металу за рахунок одноелектронного поглинання світла. Показано, що за низьких частот електромагнітної хвилі домінує електрична складова, за високих – магнітна, причому відповідне граничне значення частоти для типових нанотрубок відповідає близькому інфрачервоному та видимому діапазону, а для нанооболонок – середньому та близькому інфрачервоному діапазону.

Для досліджених у зазначених розділах феромагнітних наносистем оболонкового типу магнітні – зокрема, спін-хвильові – властивості можуть регулюватись більш гнучко, ніж для відповідних суцільних наносистем. Використаний при дослідженні оптичних властивостей металевих наносистем дозволяє ефективно враховувати квантування спектру значень енергій електрона у металі, що вносить суттєвий внесок для тонких оболонок.

У шостому розділі аналогічне дослідження дипольно-обмінних спінових збуджень проведено для одно- та двовимірних магнонних кристалів – наносистем з магнітними властивостями, що є періодично структурованими по одному та двох вимірах, відповідно. Зокрема, показано, що з отриманих результатів витікає наявність заборонених зон у спектрі частот спінової хвилі, подібних до блохівських заборонених зон теорії твердого тіла.

У сьомому розділі досліджено магнітні властивості двопідграткових антиферомагнетиків. Для ряду конфігурацій систем антиточок у антиферомагнітній плівці знайдено параметри розподілу вектора антиферомагнетизму. Запропоновано метод, що дозволяє зменшити кількості граничних умов, необхідних для знаходження параметрів розподілу. Відповідно,

отримано додаткові умови на параметри розподілу, що витікають з умови мінімуму енергії антиферомагнетику. Для спінової хвилі у суцільному антиферомагнітному середовищі знайдено новий клас розв'язків відомої системи рівнянь для вектору антиферомагнетизму. Отриманий клас розв'язків включає нелінійні хвилі, в тому числі спінові солітони.

Сукупність розв'язаних у дисертаційній роботі задач забезпечує актуальність теми дисертації. Як відомо, фізика наносистем є актуальнюю та перспективною тематикою досліджень останнього часу. Зокрема, актуальними темами досліджень є магнітна динаміка наносистем з магнітовпорядкованого матеріалу та поглинання світла металевими наносистемами. Особливою актуальності дослідженні задачі набувають в зв'язку з тим, що для наносистем за низьких частот електромагнітних коливань, як правило, домінуючими є магнітні властивості наносистем, а за високих – оптичні. Це робить необхідним комплексне теоретичне дослідження, виконане в дисертаційній роботі для ряду конфігурацій наносистем. Крім того, при дослідженні магнітної динаміки було враховано не тільки диполь-дипольна, а й обмінна взаємодія, якою нехтується в ряді відомих досліджень, незважаючи на її суттєвість при описі спінових хвиль у нанорозмірних системах.

Актуальність роботи підтверджується також тим, що дослідження, які становлять основний зміст дисертації, було проведено у відповідності з тематичними планами науково-дослідних робіт як міжнародних так і національних Національного технічного університету України «КПІ ім. Ігоря Сікорського» та Інституту магнетизму НАН України та МОН України.

Основні результати дисертаційної роботи є новими та науково обґрунтованими. Достовірність та обґрунтованість результатів забезпечується використанням дисертантом комплексу сучасних та апробованих методів теоретичної фізики –теорії спінових хвиль та квантової теорії поглинання світла, комбінуванням аналітичних та чисельних методів дослідження та порівнянням отриманих в дисертаційній роботі результатів з відповідними теоретичними та

експериментальними літературними даними. Поставлену дисертантом мету можна вважати досягнутою в межах поставлених задач.

Результати дисертаційної роботи з достатньою повнотою висвітлені в 37 наукових працях, зокрема, в 26 наукових статтях у провідних фахових виданнях. При цьому 14 наукових статей за результатами дисертації було опубліковано В.В. Кулішом без співавторів, що також свідчить про високий науковий рівень дисертанта. Крім того, слід відзначити грунтовну апробацію представлених результатів на престижних наукових конференціях та симпозіумах (11 публікацій у матеріалах та тезах доповідей конференцій).

Зміст основних положень автoreферату дисертації повністю співпадає зі змістом основних положень самої дисертації.

Одержані в дисертаційній роботі результати мають важливе практичне значення для багатьох галузей сучасної фізики, зокрема, магноніки, спінtronіки, оптики наноматеріалів, наномагнетизму та взагалі фізики наносистем тощо. Варто особливо підкреслити важливість отриманих результатів для застосувань у перспективних приладах спін-хвильової електроніки.

Разом з тим до дисертаційної роботи варто зробити низку зауважень, а саме:

1. У розділі 3 дисертантом проведено ряд досліджень спінових хвиль у феромагнітних системах, що моделюються безмежно довгими в одному напрямку об'єктами (нанотрубки, нанодроти тощо). Існує ряд робіт схожої тематики, на які дисертант посилається – дослідження дипольно-обмінних спінових хвиль у суцільному феромагнітному циліндричному нанодроті ([134] R. Arias, D.L. Mills, Phys. Rev. B. **63**, 134439 (2001)), дослідження безобмінних поверхневих мод спінових хвиль у еліптичному дроті ([198] M.A. Popov, I.V. Zavislyak, Ukr. J. Phys., **53**, P. 706-711 (2008)) тощо.

При цьому, наводячи посилання на ці роботи, дисертант зупиняється переважно на відмінностях досліджених у них систем та використаних моделей з тими, що наведено у дисертаційній роботі.

На мою думку, розділ би тільки виграв від додавання детального порівняльного аналізу результатів отриманих автором у дисертації з відомими роботами спорідненої тематики.

2. У підрозділах 3.2, 3.4 досліджено спінові збудження у нанотрубці еліптичного перерізу. При цьому поверхні нанотрубки задаються рівняннями $u=\text{const}$ у координатах еліптичного циліндра (u,v,z), так що нанотрубка у використаній моделі обмежена двома еліптичними циліндрами і має змінну товщину стінки.

На мій погляд, доцільніше було б дослідити нанотрубку з постійною товщиною стінки, оскільки така конфігурація є кращою апроксимацією типових реальних нанотрубок.

3. У розділах 3, 4 та 5 при дослідженні поглинання світла у металевих наносистемах локальне електричне поле всередині металу вважається однорідним. Проте, критерії такого наближення однорідності локального поля не наведено. При цьому дисертант посилається на проведені у кандидатській дисертації дослідження, зазначаючи, що локальне поле можна вважати наблизено однорідним, якщо досліджувана оболонка є тонкою. На мій погляд доцільно було б навести кількісні критерії наблизеної однорідності, не обмежуючись лише зауваженням про тонкість оболонки.
4. У підрозділі 6.2 при дослідженні спінових збуджень у періодично-структурованій нанотрубці автор отримує дисперсійне відношення (6.2.2). Слід зазначити що при наявності радіально-кутових магнітних збуджень використаний при обчисленні дисперсійного відношення вигляд магнітного потенціалу не може одночасно задовільнити граничні умови на торцях секцій та на внутрішній та зовнішній поверхнях трубки і не дає можливості отримати дисперсійне відношення (6.2.2).

Отримані результати є вірними лише для тонких нанотрубок за відсутності радіально-кутових спінових збуджень і співпадають з

аналогічними результатами для необмежених одновимірних періодичних систем.

5. Зауваження до стилю написання всієї роботи. Робота містить багато скорочень (умовних позначень), але, нажаль, містить мало ілюстративного матеріалу (рисунків та графіків) що ускладнює її читання та аналіз отриманих результатів.

Варто відзначити, що наведені зауваження не зменшують загального високого рівня дисертаційної роботи та цінності отриманих у ній результатів. Дисертація в цілому є завершеною науковою працею високого рівня, в якій отримані нові науково обґрунтовані результати, що в сукупності є суттєвими для розвитку теорії електромагнітних збуджень у наносистемах.

На підставі викладеного вище вважаю, що дисертаційна робота «Магнітні спін-хвильові та одноелектронні оптичні властивості наносистем оболонкового типу» повністю відповідає вимогам МОН України щодо докторських дисертацій, а здобувач Куліш Володимир Вікторович безумовно заслуговує присудження наукового ступеня доктора наук за спеціальністю 01.04.11 – магнетизм.

Офіційний опонент

доктор фізико-математичних наук, професор,
перший проректор Університету «Крок»

А.М. Кучко

22 березня 2019 р.

Підпис доктора фізико-математичних наук,
професора А.М. Кучка засвідчує

