

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу
**КУРНОСОВА Володимира Самуїловича «Спектроскопія
багатопідграткових антиферромагнетиків із сильною
взаємодією магнітних, електронних та граткових збуджень»**,
що подана на здобуття наукового ступеня доктора фізико-математичних наук
за спеціальністю 01.04.11 – магнетизм

Велика увага у фізиці магнетизму приділяється низьковимірних та фрустрованих систем, яким притаманні суто квантові властивості, що спричиняють виникнення нетривіальних, з класичної точки зору, станів. Ці стани також можуть існувати в багатопідграткових магнітних кристалах, які часто мають низьку симетрію і є складними для вивчення. З іншого боку саме в таких системах квантові властивості можуть проявити себе серед механізмів складних взаємовпливів ступенів свободи різного походження та спричинити якісно нові статичні та динамічні властивості подібних систем.

Дисертація В.С. Курносова знаходить своє місце серед таких досліджень. Тема, яка обрана для дисертаційної роботи, є, без сумніву, **актуальною**, оскільки розуміння умов формування дисперсійних залежностей магнітних збуджень дозволяє цілеспрямовано створювати сполуки з характеристиками, що мають утилітарну цінність. Це, насамперед, обумовлює **практичне значення**, зокрема, нові фізичні ефекти та екзотичні фізичні властивості деяких сполук, що вивчалися в роботі, можуть в перспективі знайти застосування в сучасних технологіях – електроніці, спінтроніці та магнітоніці.

Мета дисертаційної роботи полягала у встановленні фундаментальних зв'язків між структурними особливостями багатопідграткових антиферромагнетиків та формуванням їх магнітних, електронних і коливальних станів за допомогою спектроскопії розсіяння і поглинання електромагнітних хвиль у далекому інфрачервоному та видимому діапазонах частот. **Достовірність** отриманих в роботі результатів, не викликає сумнівів, оскільки використовувались добре відомі спектроскопічні методи вимірювань. **Обґрунтованість** результатів, що складають зміст роботи, підтверджується узгодженістю з експериментальними даними, отриманими іншими методами, і з відомими теоретичними моделями.

Відповідність теми дисертації науковим програмам, планам, темам.

Дослідження, що представлені в дисертаційній роботі виконані у відділі магнетизму Фізико-технічного інституту низьких температур ім. Б.І. Веркіна НАН України в рамках тематичного плану фундаментальних досліджень інституту відповідно до відомчих тем: «Статичні і динамічні властивості магнітоконцентрованих систем» (номер державного реєстру 0196U002953,

термін виконання 1996-2000 рр.), «Низькотемпературні магнітні, оптичні і резонансні властивості сполук з сильною взаємодією магнітної, електричної і іонної підсистем» (номер державної реєстрації 0100U006266, термін виконання 2001-2003 рр.), «Низькотемпературні властивості магнітоконцентрованих фероїкових твердотільних систем» (номер державної реєстрації 0104U003035, термін виконання 2004-2006 рр.), «Низькотемпературні властивості мультифероїків та структурованих і металоорганічних магнетиків» (номер державної реєстрації 0107U000940 термін виконання 2007-2011 рр.), «Низькотемпературні магнітні та оптичні властивості фероїків» (номер державної реєстрації 0112U002636 термін виконання 2012-2016 рр.), «Фізичні властивості магнетоконцентрованих сполук і штучних структур з конкуруючими взаємодіями» (номер державної реєстрації 0117U002288 термін виконання 2017-2021 рр.), «Новітні магнітні системи з сильним зв'язком між електричними, магнітними і структурними властивостями та шляхи керування їх функціональними можливостями» (номер державної реєстрації 0118U100342 термін виконання 2018-2019 рр.).

Структура роботи. Дисертаційна робота Курносова В.С. складається з анотації, вступу, семи розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Результати дисертації опубліковані у 20 статтях у провідних фахових наукових журналах, 3 статтях в закордонних фахових періодичних виданнях в якості матеріалів міжнародних конференцій, 1 електронному препринті та 13 тезах доповідей на міжнародних та вітчизняних конференціях.

В першому розділі «Нетривіальні раманівські та люмінесцентні процеси в ланцюжкових квазіодновимірних антиферомагнетиках $\text{CsFeCl}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ та $\text{CsMnCl}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ » приведено результати раманівських та люмінесцентних досліджень ланцюжкових антиферомагнетиків спорідненої структури. Серед ефектів, що спостережені: раманівське розсіяння на фонах з границі зони Бріллюена в $\text{CsFeCl}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, що спричинено подвоєнням магнітної ґратки при антиферомагнітному впорядкуванні; антистоксове збудження люмінесценції в $\text{CsMnCl}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; спостереження двомагнітної раманівської смуги з участю високоенергетичних магнонів з границі зони Бріллюена. Для всіх ефектів знайдено механізми їх реалізації, що полягають у різних комбінаціях статичних та динамічних взаємодій ґраткової, спінової та електронної підсистем.

Другий розділ «Особливості формування спектрів коливальних та спінових збуджень квазіодновимірного холдейнівського антиферомагнетика $\text{SrNi}_2\text{V}_2\text{O}_8$ » присвячено дослідженням ефектів, що пов'язані з перебуванням кристала у невідповідній (щільній) фазі поблизу лінії квантових переходів в антиферомагнітно впорядкований стан. Виявлено в ході досліджень що, раманівський фононний спектр демонструє суттєву нестачу ліній. Ефект пояснено з позицій псевдосиметрії окремих структурних одиниць кристала, що призводить до інтерференційного гасіння низки спектральних ліній. Серед

збуджень магнітної природи виявлено одночасне спостереження лінії, що відповідає гілці триплетного щілинного стану, та двомагнетонної смуги, що характерна для антиферромагнітно впорядкованого ланцюжка.

Третій розділ «Вплив зарядового впорядкування на збудження граткової та магнітної природи в квазідвовимірних перовськітоподібних структурах» містить результати досліджень перовськітоподібних сполук, в яких наявність різновалентних станів одного й того ж парамагнітного іона створює ще одну ступінь свободи, зарядову. Встановлено, що зарядове впорядкування страйпового типу в лантан-стронцієвих перовськітоподібних шаруватих нікелатах $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{NiO}_4$ ($x=1/3, 0.225$) впливає не тільки на граткову підсистему, що відображається у спектрі фононів, але й в першу чергу на структуру обмінних взаємодій, і, відповідно, на спектр магнетонів. Розраховано форму двомагнетонної раманівської смуги, що добре описує експеримент.

У подвійному шаруватому манганіті $\text{Pr}_{1.2}\text{Sr}_{1.8}\text{Mn}_2\text{O}_7$ виявлено критичну температурну точку $T^*=180$ у поведінці частоти фонона, яку пов'язано з ймовірним зарядовим впорядкуванням.

Четвертий розділ «Літієві ортофосфати – двовимірні антиферромагнетики та лінійні магнітоелектрики: дослідження непружного розсіяння світла» присвячено виявленню та ідентифікації власних збуджень фононого, магнітного та електронного походження в кристалах LiNiPO_4 та LiCoPO_4 . Вимірювання пружних властивостей LiNiPO_4 здійснено за допомогою бриллюєнівської спектроскопії. Виявлено, що в кристалі LiCoPO_4 , який до того ж є рекордсменом у величині лінійного магнітоелектричного ефекту серед нерідкісноземельних сполук, відбувається сильна взаємодія між електронними рівнями основного мультиплету Co^{2+} і внутрішніми валентними модами $(\text{PO}_4)^{3-}$. Передбачається формування складних вібронних станів із одночасним залученням двох коливальних і одного електронного збудження. Показано, що незважаючи на орторомбічну симетрію кристала близьке до гексагонального розташування іонів кисню у кристалографічних площинах (001), на кшталт щільно упакованої структури, має пряме відображення в його пружних властивостях. В цій площині швидкості як поздовжніх та і поперечних звукових хвиль майже не мають кутової дисперсії.

П'ятий розділ. «Купрати з фрустрованою магнітною структурою» присвячено дослідженню кристалів з квазідвовимірною ти тривимірною магнітними структурами, в яких простежується кагоме-подібний мотив в розташуванні Cu^{2+} ($S = 1/2$) парамагнітних іонів. Виявлено суттєву динамічну взаємодію між спіновою та гратковою підсистемами. В квазідвовимірних кристалах францисітів $\text{Cu}_3\text{Bi}(\text{SeO}_3)_2\text{O}_2\text{X}$ ($\text{X} = \text{Br}, \text{Cl}$) вона найбільш ярко проявляється у формуванні надінтенсивного піку одномагнетонного розсіяння світла завдяки резонансній взаємодії з низькочастотним полярним фононом. В кубічному хіральному феримагнетіку Cu_2OSeO_3 – у залежності від магнітного

стану інтенсивностей фононних смуг у раманівському та інфрачервоному спектрах.

У шостому розділі «Фероборати Tb, Gd, Sm та Nd. Особливості динаміки ґратки, електронні стани рідкісноземельних іонів» представлені дослідження кристалів сімейства $\text{ReFe}_3(\text{BO}_3)_4$. Одержано температурні залежності більшості фононних мод у фероборатах Tb, Gd та Sm. Виявлені низькочастотні електронні збудження Tb^{3+} та Sm^{3+} в спектрах ІЧ. В обох випадках заборонені по парності переходи спостерігаються завдяки резонансу з близькими за частотою полярними фононами. Досліджено температурну та польову поведінку підрівнів мультиплету $^2H_{11/2}$ в $\text{NdFe}_3(\text{BO}_3)_4$. В поляризованих спектрах поглинання виявлено незвичайну поведінку інтенсивностей смуг компонентів крамерсова дублета в поперечному ефекті Зеємана. Запропоновано оригінальну напівемпіричну модель, що гарно описує експеримент.

Сьомий розділ «Магнетизм квазіодновимірних антиферомагнетиків з елементами геометричної фрустрації» присвячено дослідженням спінової динаміки кристалів, в яких антиферомагнітно взаємодіючі іони формують трикутні структури, тобто виконуються умови геометричної фрустрації. Проведено раманівські дослідження в широкому інтервалі температур квазіодновимірних кристалів $\text{Fe}_2\text{O}(\text{SeO}_3)_2$ з пілкоподібними ланцюжками та Mn_2OBO_3 із стрічковим розташуванням парамагнітних іонів. Проаналізовано фононні спектри, що спостерігаються, та виявлено смуги двомагнетонної природи. Проведено як аналітичні, так і чисельні розрахунки спектрів спінових хвиль, зіставлення яких з експериментальними даними дозволило одержати оцінку величин обмінних інтегралів, що в мінімальному наборі відповідають магнітним структурам досліджуваних кристалів. Відзначено, що в їх спектрах спінових хвиль можуть з'являтися пласкі практично бездисперсні гілки та слабкодисперсні гілки, що відокремлені від решти спектра широкою енергетичною щілиною.

Автореферат вірно передає зміст дисертації, основні положення дисертації та автореферату ідентичні.

Наукова і практична цінність отриманих результатів.

Результати досліджень, які представлені в дисертаційній роботі, розширюють уявлення про утворення власних станів багатопідґраткових антиферомагнетиків із взаємодією між магнітною, електронною та ґратковою підсистемами. Розуміння умов формування дисперсійних залежностей магнітних збуджень дозволяє цілеспрямовано створювати сполуки з утилітарно важливими характеристиками, що можуть бути використаними в прикладних цілях.

Результати одержані автором є **актуальними та безумовно новими**. Як найбільш цікаві можна відзначити такі:

- вперше спостережено розсіяння світла на фонах з границі зони Бріллюена, що спричинено антиферромагнітним упорядкуванням квазіодновимірної кристала з подвоєнням магнітної комірки; запропоновано механізм змішування фононних мод із центру та границі зони, що базується на дії сили Лоренца у внутрішньому магнітному полі;
- встановлено природу незвичайної форми двомагнетонної раманівської смуги в квазідвовимірному нікелаті, що перебуває в зарядово-впорядкованому стані страйпового типу; виявлено, що така форма є наслідком існування двох типів суперобмінних зв'язків між сусідніми спінами, які відрізняються знаками асоційованих з ними поляризованостей;
- вперше виявлено та модельно описано незвичний прояв поперечного ефекту Зеємана в оптичних спектрах поглинання легкоплощинного тригонального антиферромагнетика $\text{NdFe}_3(\text{BO}_3)_4$, і показано, що ця особливість спричинена дією двох ортогональних полів, обмінного та зовнішнього, на рідкісноземельний іон.
- вперше показано, що в квазіодновимірних геометрично фрустрованих антиферромагнетиках з трикутними структурними кластерами можуть формуватися практично недиспергуючі пласкі та слабодиспергуючі моди, що відокремлені від низькочастотної частини спектра спінових хвиль широкою щілиною, існування яких робить такі структури перспективними для розробки пристроїв магнетоники.

До **недоліків** дисертаційної роботи Курносова В.С. можна віднести наступне.

1. Для підтвердження запропонованого механізму розсіяння світла на фонах з границі парамагнітної зони Бріллюена, що спостерігається в ланцюжковому антиферромагнітному $\text{CsFeCl}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, бажано було б провести дослідження у споріднених кристалічних сполуках з некомпенсованим ферромагнітним моментом окремих ланцюжків.

2. Хоча робота є експериментальною, бажано б було провести модельний розрахунок (оцінку) вкладу динамічного магнітоелектричного ефекту у поляризованість окремих коливальних мод кубічного кірального феримагнетика Cu_2OSeO_3 , інтенсивність яких корелює з магнітним упорядкуванням в цій сполуці.

Тем не менш, зазначені **зауваження** не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи. Роботу можна вважати закінченим експериментальним науковим дослідженням, яке виконано на високому науковому рівні.

Вважаю, що за своїм рівнем, обсягом досліджень і науковим значенням одержаних результатів дисертаційна робота В.С. Курносова «Спектроскопія

багатопідграткових антиферромагнетиків із сильною взаємодією магнітних, електронних та граткових збуджень» повністю відповідає всім вимогам МОН України, щодо докторських дисертацій, зокрема, пунктам 9, 10 та 12 «Порядку присудження наукових ступенів», а автор роботи, Володимир Самуїлович Курносів заслуговує на присудження йому вченого ступеня доктора фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.11 – магнетизм.

Офіційний опонент:

член-кореспондент НАН України,
доктор фізико-математичних наук,
професор, завідувач відділу радіоспектроскопії
Інституту радіофізики та електроніки
ім. О.Я. Усикова НАН України

С.І. Тарапов

Підпис

члена-кореспондента НАН України,
доктора фізико-математичних наук,
професора, завідувача відділу радіоспектроскопії
Інституту радіофізики та електроніки
ім. О.Я. Усикова НАН України
Тарапова Сергія Івановича



засвідчую:

Вчений секретар
Інституту радіофізики та електроніки
ім. О.Я. Усикова НАН України
кандидат фізико-математичних наук

І.Є. Почаніна