

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Попережая Сергія Миколайовича

«Спектральні особливості спінових та фононних збуджень в подвійних лужно-рідкісноземельних молібдатах та ербієвому алюмобораті»,

подану на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.11 – магнетизм

В даний час особливий інтерес академічної і прикладної науки викликають так звані твердотільні активні матеріали з поліфункціональними властивостями. До речовин, які є основою для отримання таких матеріалів, відносяться, зокрема, складнооксидні сполуки рідкісноземельних подвійних молібдатів і боратів. Серед зазначених кристалів знайдено лазерні матеріали, пьезо- і магнетоелектрики, а також матеріали з нелінійними оптичними властивостями. Завдяки можливості варіювання їх фізико-хімічних і оптичних характеристик ці кристали можуть бути адаптовані в широкому діапазоні під конкретні вимоги до сучасних пристроїв. Тому, вивченню подвійних молібдатів $AR(MoO_4)_2$ ($A =$ лужний метал, $R = Y, La-Lu$) і боратів $RM_3(BO_3)_4$ ($R = Y, La-Lu, M=Al, Fe, Cr, Mn$) присвячено велику кількість робіт.

Таким чином, тема дисертаційної роботи Попережая С.М., що присвячена виявленню особливостей резонансних і теплових властивостей кристалів $KTm(MoO_4)_2$ та $ErAl_3(BO_3)_4$, встановленню механізмів формування низькочастотного коливального спектра в подвійних молібдатах $KR(MoO_4)_2$ ($R = Y, Dy, Er, Tm, Yb$) безумовно є **актуальною**.

Дослідження, які лягли в основу дисертації, були виконані в рамках тематичного плану Фізико-технічного інституту низьких температур імені Б. І. Веркіна НАН України за відомчими тематиками НАН України: «Низькотемпературні властивості мультифероїків та структурованих і металоорганічних магнетиків» (шифр теми 1.4.10.4.11, державний реєстраційний номер 0107U000940, термін виконання 2007 – 2011 рр.), «Низькотемпературні магнітні та оптичні властивості фероїків» (шифр теми 1.4.10.4.12, державний реєстраційний номер 0112U002636, термін виконання 2012 – 2016 рр.), «Фізичні властивості магнетоконцентрованих сполук і штучних структур з конкуруючими взаємодіями» (шифр теми 1.4.10.4.13, державний реєстраційний номер 0117U002288, термін виконання 2017 – 2021 рр.).

Предметом досліджень дисертаційної роботи С.М. Попережая є спектроскопічні властивості калієвої підродини подвійних молібдатів $KR(MoO_4)_2$ ($R = Y, Dy, Er, Tm, Yb$) при низьких температурах, а також магнітні кореляції між рідкісноземельними іонами в подвійному калій-тулієвому молібдаті $KTm(MoO_4)_2$ та ербієвому алюмобораті $ErAl_3(BO_3)_4$.

Структура дисертації Попережая С.М. складається зі вступу, п'яти оригінальних розділів, висновків і бібліографічного опису, що включає 179 найменувань.

У **вступі** дисертант обґрунтовує актуальність теми досліджень, мету та задачі роботи, формулює основні результати, які винесено на захист, аналізує їх наукову та практичну цінність, а також приводить дані щодо апробації дисертації і публікації основних результатів.

Огляд літератури свідчить про добре знання автором сучасного стану теоретичних та експериментальних питань пов'язаних з властивостями досліджуваних кристалів, яке дозволило йому чітко і переконливо сформулювати основні завдання роботи та методи їх вирішення.

У **другому розділі** описано методику проведення досліджень та вказано особливості обробки експериментальних даних.

Третій, четвертий та п'ятий розділи даної роботи є оригінальними та містять експериментальні дані для досліджуваних подвійних лужно-рідкісноземельних молібдатів та ербієвого алюмоборату.

У **третьому розділі** описано результати експериментальних досліджень ІЧ-спектрів подвійних молібдатів $KR(MoO_4)_2$ ($R = Y, Dy, Er, Tm, Yb$) і запропоновано ефективну модель «чотирьохелементного пружного ланцюжка» з двома різними пружними константами для розрахунку закону дисперсії низькочастотних коливальних мод шарових кристалів по всій зоні Бріллюена.

У **четвертому розділі** наведено результати резонансних досліджень кристалу $KTm(MoO_4)_2$ в широкому інтервалі магнітних полів та частот спостереження.

П'ятий розділ присвячено резонансним і калориметричним дослідженням монокристалу $ErAl_3(BO_3)_4$.

Наукова новизна основних результатів полягає в наступному:

1. Вперше спостережено потрійну структуру резонансної лінії поглинання іона Tm^{3+} в ЕПР спектрі монокристалу $KTm(MoO_4)_2$, поява якої пов'язана зі спін-спіновою взаємодією між іонами тулія і утворенням магнітних кластерів. Встановлено, що інтенсивність ліній-супутників в потрійній структурі зменшується при зростанні зовнішнього магнітного поля. Знайдено константи ефективної взаємодії в магнітних ланцюжках іонів Tm^{3+} .
2. Вперше виявлено потрійну структуру основної резонансної лінії іона Er^{3+} і додаткову слабкоінтенсивну лінію, що має g -фактор, вдвічі більший g -фактора основної лінії в ЕПР спектрі монокристалу $ErAl_3(BO_3)_4$. Показано, що спостережувані особливості спектрів ЕПР обумовлені проявами ближнього магнітного порядку в ербієвому

алюмоборату. Визначено також магнітний внесок в питому теплоємність ербієвого алюмоборату при низьких температурах. Показано, що температурна залежність магнітного внеску кількісно описується в рамках моделі, що враховує анізотропію спіно-спінової взаємодії між рідкісноземельними іонами ербію, та знайдено параметри такої взаємодії.

3. Вперше запропоновано ефективну модель «чотирьохелементного пружного ланцюжка» з двома різними пружними константами для розрахунку закону дисперсії низькочастотних коливальних мод шарових сполук по всій зоні Бріллюена. Показано, що така модель якісно описує експериментально отримані спектри пропускання серії сполук $KR(MoO_4)_2$ ($R = Y, Dy, Er, Tm, Yb$) в далекій інфрачервоній області. Встановлено параметри загасання в таких кристалах.

Таким чином, слід зазначити, що здобувачем вперше було отримано ряд **нових** результатів, які мають важливе значення для фізики магнетизму при низьких температурах. Дисертація С.М. Попережая **повністю відповідає** паспорту спеціальності 01.04.11 – магнетизм.

Результати досліджень є **обґрунтованими та достовірними**, оскільки були отримані з використанням добре апробованих сучасних експериментальних методів та неодноразово обговорювались на багатьох міжнародних конференціях.

Результати даної роботи опубліковані у **6 статтях в наукових фахових виданнях** та пройшли **апробацію** на багатьох міжнародних конференціях і семінарах, в збірках праць яких опубліковано 15 тез доповідей здобувача.

Текст автореферату правильно відображає основний зміст і структуру дисертації.

При загальній позитивній оцінці дисертації Попережая С.М. слід висловити наступні **зауваження**:

1. В розділі 4 описані дослідження резонансних властивостей подвійного калій-тулійового молібдату. Доцільно було б також провести дослідження температурних залежностей поведінки резонансної лінії іона Tm^{3+} , які могли б дозволити визначити характер взаємодії між іонами тулія.

2. В розділі 5 було б корисним проведення досліджень ЕПР монокристалу $ErAl_3(VO_3)_4$ в ширшому діапазоні частот спостереження, що дозволило б визначити ефективні g-фактори і початкові розщеплення резонансних ліній.

3. Текст дисертаційної роботи написаний, на загал, чітко і послідовно, але часом зустрічаються довгі та складні речення, які ускладнюють читання роботи. Деякі рисунки перенасичені інформацією, що ускладнює їх сприйняття. Все це слід врахувати автору в майбутньому.

Окремі зауваження, наведені вище, не стосуються суті дисертаційної роботи, основних висновків і наукових положень, що виносяться на захист. Вони мають рекомендаційний характер і не впливають на загальну позитивну оцінку дисертації Попережая С.М., а також не піддають сумніву достовірність отриманих автором результатів і основних висновків.

Дисертація С.М. Попережая є **завершеною науковою працею**, в якій вирішено важливу задачу, яка має істотне значення для фізики магнетизму, а саме: виявлено особливості резонансних властивостей і спін-спінової взаємодії в рідкісноземельних молібдатах і алюмобораті та описано механізми формування низькочастотного коливального спектру в подвійних молібдатах. На мою думку, дисертаційна робота «Спектральні особливості спінових та фононних збуджень в подвійних лужно-рідкісноземельних молібдатах та ербієвому алюмобораті» за актуальністю, новизною, обґрунтованістю і достовірністю отриманих наукових результатів та їх практичним значенням повністю задовольняє всім вимогам, які ставляться МОН України до кандидатських дисертацій, зокрема пунктам 9, 11 і 12 "Порядку присудження наукових ступенів", а її автор, Попережай Сергій Миколайович, без сумніву, заслуговує присудження йому наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.11 – магнетизм.

Офіційний опонент:

доктор фізико-математичних наук,

старший науковий співробітник,

провідний науковий співробітник

Національного технічного університету

«Харківський політехнічний інститут»

МОН України

