

ВІДГУК

офіційного опонента

на дисертаційну роботу Жекова Костянтина Ростиславовича
**“МАГНІТОПРУЖНІ ЕФЕКТИ В РІДКІСНОЗЕМЕЛЬНИХ БОРОКАРБІДАХ
ТА ФЕРОБОРАТАХ”**,

подану до захисту на здобуття наукового ступеня кандидата

фізико-математичних наук

за спеціальністю 01.04.07 – “фізика твердого тіла”

Актуальність теми дисертації. Сучасний технологічний прогрес стимулює пошук та синтез нових функціональних матеріалів, які б мали бажані технологічні характеристики. Сполуки на основі перехідних металів виявляють низку унікальних властивостей, досить важливих для створення новітніх технологій та вирішення проблем сучасної фізики твердого тіла. Це - колосальний негативний магнітоопір, високотемпературна надпровідність, магнітоємність, магнітоелектричний та магнітоп'єзоелектричний ефекти і т. ін. В зв'язку з цим в останні роки інтенсивно досліджуються рідкісноземельні нікель-борокарбіди RNi_2B_2C та фероборати $RFe_3(BO_3)_4$ ($R = Y, Pr - Yb$, в яких спостерігалися цікаві й не до кінця пояснені в даний час ефекти. Більшість кристалів борокарбідів є магнітними надпровідниками з порівнянними температурами переходів у надпровідний і магнітовпорядкований стан. Діелектричні фероборати - мультифероїки, в яких одночасно реалізуються фазові перетворення з хоча б двома з трьох параметрів порядку – електричним, магнітним або пружним. Першочерговими задачами дослідження подібних систем, що демонструють співіснування декількох типів упорядкування, є з'ясування ролі електронної, магнітної та пружної підсистем, механізмів взаємодії між ними, а також можливостей ефективного керування відповідними властивостями цих об'єктів.

Саме тому низькотемпературні дослідження пружних властивостей та магнітопружних ефектів в конкретних представниках сімейств рідкісноземельних борокарбідів та фероборатів, безсумнівно, є **актуальними** та визначають тему дисертаційної роботи К.Р.Жекова.

Актуальність теми також підтверджується тим, що дисертаційна робота К.Р.Жекова виконувалася у Фізико-технічному інституті низьких температур ім. Б. І. Веркіна НАН України відповідно до цілей і завдань бюджетних програм науково-дослідницьких робіт з актуальних напрямків фундаментальних і прикладних наукових досліджень НАН України, починаючи з 2001 року і по теперішній час.

Структура дисертації, основні наукові та практичні результати та їх новизна. Дисертація К.Р.Жекова включає анотації українською та англійською мовами та складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел і двох додатків.

У вступі дисертаційної роботи обґрунтовано актуальність теми, сформульовані мета та задачі досліджень, відзначено новизну отриманих результатів, їх фундаментальне та прикладне значення, наведені дані про особистий внесок дисертанта, а також відомості щодо апробації отриманих результатів і дані про структуру та обсяг дисертації.

Перший розділ містить огляд літературних даних щодо структури та основних фізичних властивостей інтенсивно досліджуваних останнім часом нікелевих борокарбідів та фероборатів. В кінці розділу наведено постановку завдань дисертаційної роботи. Літературний огляд, а також бібліографія свідчать про достатній обсяг знань і ґрунтовний науковий підхід автора до проблеми, що вивчається.

Основні оригінальні результати автора приведені в другому, третьому, четвертому та п'ятому розділах.

У другому розділі розглянуто використовуваний в роботі метод одночасного вимірювання швидкості та поглинання звуку, принцип роботи експериментальної установки, докладно описано конструкцію кріостату та процедуру підготовки зразків для акустичних досліджень. Особливу увагу приділено опису **вперше запропонованої та реалізованої на практиці «ноніусної»** методики, що дозволяє вимірювати абсолютні швидкості звуку в твердотільних зразках з високим коефіцієнтом поглинання, що мають міліметрову, і, навіть, субміліметрову довжину. Варто підкреслити, що автор брав безпосередню участь а) у технічній реалізації нової процедури одночасного визначення фази й амплітуди високочастотних імпульсних сигналів («120-

градусної векторної схеми») і б) у розробці електронно-керованого фазообертача з практично необмеженим динамічним діапазоном.

У третьому розділі наведено **вперше** отримані з високою точністю абсолютні значення швидкостей звуку в монокристалах борокарбідів RNi_2B_2C ($R = Y, Lu, Ho, Gd, Er$), та представлено дані щодо модулів пружності, модулів всебічного стиснення та температур Дебая. Досліджено особливості низькотемпературної поведінки швидкості та поглинання звуку в монокристалі $GdNi_2B_2C$ поблизу магнітних фазових переходів, що дозволило суттєво доповнити вже існуючі та побудувати нові фазові $H - T$ діаграми сполуки. Інтересним та неочікуваним результатом виявилася реєстрація досить сильного (10^{-2}) ефекту акустичної «невзаємності», який може бути наслідком взаємодії звуку з практично регулярною антиферромагнітною доменною структурою.

У четвертому розділі виявлено суттєві аномалії пружних характеристик монокристалу фероборату $NdFe_3(BO_3)_4$ при спонтанних та індукованих магнітним полем фазових перетвореннях. Завдяки магнітоакустичним дослідженням вдалося **вперше** побудувати фазові $H - T$ діаграми сполуки. Варто підкреслити, що це неможливо було зробити, спираючись на результати, отримані за допомогою інших експериментів.

У п'ятому розділі досліджені магнітопружні властивості бінарних рідкісноземельних фероборатів $Nd_{1-x}Dy_xFe_3(BO_3)_4$ ($x=0.25, 0.4$). Було показано, що в залежності від співвідношення рідкісноземельних іонів, в цих кристалах можуть реалізуватися декілька магнітних фаз, зміну яких можна здійснити під впливом температури або зовнішнього магнітного поля. Завдяки сильному магнітопружному зв'язку фазові перетворення чисто магнітного походження проявляються у вигляді яскравих аномалій в поведінці пружних характеристик. Це дозволило автору **вперше** побудувати фазові $H - T$ діаграми досліджуваних сполук для різних напрямків магнітного поля.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в наступному:

1. Вперше запропоновано нову експериментальну методику високоточного визначення абсолютної швидкості звуку, яка на відміну від існуючих дозволяє пра-

цювати зі зразками субміліметрових розмірів, що сильно поглинають. Завдяки цьому вперше з похибкою менше 1 % отримано значення швидкостей звуку в субміліметрових монокристалах нікелевих борокарбідів (RNi_2B_2C , де $R = Y, Lu, Ho, Gd, Er$).

2. Вперше експериментально виявлено високу чутливість пружних модулів гадолінієвого борокарбіда до фазових перетворень магнітної природи, а також значну акустичну „невзаємність”. Ефекти пов’язуються зі значним внеском в характеристики поширення звуку його взаємодії з антиферомагнітною доменною структурою.

3. Вперше виявлено суттєві аномалії пружних характеристик феробората неодиму, які обумовлені реалізацією в сполуці переходу в антиферомагнітний впорядкований стан (колінеарна фаза) та в неспівмірну спіральну фазу. Перехід в неспівмірну фазу класифіковано як фазовий перехід першого роду. Вперше побудовано температурно-польові фазові діаграми $NdFe_3(BO_3)_4$ для двох напрямків магнітного поля, орієнтованого в базисній площині кристалу, на яких встановлено границі існування колінеарної та неспівмірної антиферомагнітних фаз.

4. За допомогою акустичних досліджень виявлено нові ФП в магнітній підсистемі фероборатів з двома типами РЗ іонів $Nd_{1-x}Dy_xFe_3(BO_3)_4$ ($x = 0,4; 0,25$). Встановлено, що спонтанна та індукована магнітним полем, орієнтованим уздовж тригональної осі, перебудова магнітної структури в $Nd_{0,75}Dy_{0,25}Fe_3(BO_3)_4$ проходить шляхом двох ФП. Визначено температуру Нееля $T_N = 31,4$ К для кристалу $Nd_{0,6}Dy_{0,4}Fe_3(BO_3)_4$. Показано, що в ньому відсутні спонтанні спін-реорієнтаційні переходи - система знаходиться в легковісному магнітному стані.

5. Вперше побудовано фазові Н - Т діаграми сполук $Nd_{1-x}Dy_xFe_3(BO_3)_4$ ($x = 0,4; 0,25$) для різних напрямків зовнішнього магнітного поля. Діаграми мають складну структуру та містять кілька ліній ФП (і, відповідно, магнітних фаз), що характеризує досліджувані кристали як багатопідграткові антиферомагнетики.

Завершуючи стислий огляд найбільш важливих результатів, які одержані дисертантом, слід зазначити, що усі вони є **новими, вперше отриманими і достовірними**, узгоджуються між собою та з відповідними літературними експериментальними та теоретичними даними інших авторів.

Обґрунтованість і достовірність висновків, сформульованих автором, обумовлена використанням добре апробованого імпульсного ультразвукового методу одночасного високоточного виміру швидкості та поглинання звуку, доброю відтворюваністю результатів, ретельністю постановки експериментів й обробки отриманих результатів.

Разом з тим є деякі зауваження до роботи, зокрема:

1. В літературному огляді слід було б більш детально зупинитися на розгляді питання про доменну структуру антиферромагнетиків та її різновиди, оскільки уявлення про доменну структуру використовуються в окремих місцях при трактуванні аномальної поведінки швидкості ультразвуку та його поглинання поблизу точок фазових перетворень.
2. У дисертації не проведено (а цікаво було б провести) порівняння поведінки магнітопружних характеристик рідкісноземельних борокарбідів, що здатні демонструвати надпровідникові властивості, з характеристиками гадолінієвого борокарбіда, де надпровідність не спостерігається.
3. Оригінальна частина роботи дещо перевантажена детальним описом результатів досліджень інших авторів.
4. Мають місце незначні недоліки стилістичного характеру. Наприклад, деякі найменування пунктів в розділі “Зміст” є недостатньо інформативними (“3.2.1 q і H в базисній площині”, “5.1.3 Феноменологічний підхід”).

Однак перелічені зауваження не впливають на основні висновки дисертаційної роботи К.Р.Жекова, їх наукове та практичне значення і на загальну високу оцінку роботи. Без сумніву, вона є завершеною кваліфікаційною науковою працею, що побудована на ретельній і великій за обсягом роботі автора.

Основні результати дисертації повною мірою викладені в 8 статтях, опублікованих у провідних фахових виданнях. Вони доповідались та обговорювались на 14 міжнародних та вітчизняних конференціях, опубліковані в збірниках тез цих конференцій.

Автореферат повно та точно відображає зміст дисертації.

Оцінюючи дисертацію в цілому, необхідно зробити висновок, що за актуальністю тематики, обґрунтованістю і достовірністю висновків і положень, новизною одержаних результатів і за їх науковим та практичним значенням дисертація К.Р.Жекова цілком задовольняє вимогам п.п. 9, 11, 12 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України №567 від 24.07.2013, а її автор, без сумніву, заслуговує на присудження йому вченого ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.07 - фізика твердого тіла.

Офіційний опонент
кандидат фізико-математичних наук,
старший науковий співробітник,
старший науковий співробітник кафедри фізики металів та напівпровідників
Національного технічного університету
«Харківський політехнічний інститут» МОН України

Ирина Шипкова
Ірина ШИПКОВА
ЗАСВІДЧУЮ:
ВЧЕНОЇ СЕКРЕТАР
НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»
26 *12* Заковоротний О.Ю.
20 *18* р.

Підпис Шипкової Ірини Геннадіївни засвідчую

