

ВІДГУК
офіційного опонента про дисертацію
БУХАНЬКО Федіра Миколайовича
“Фазові перетворення в низьковимірних електронних і спінових
системах з конкуруючими параметрами порядку”
на здобуття наукового ступеня доктора фізико-математичних наук
(спеціальність 01.04.07 – фізика твердого тіла)

Метою дисертаційної роботи Федіра Миколайовича Буханько є встановлення механізмів формування і руйнування низьковимірних просторово-модульованих електронних та магнітних структур в сполуках з кількома співіснуючими параметрами порядку (орбітальний, зарядовий і спіновий).

З формальної точки зору, підтвердженням актуальності роботи може служити та обставина, що тематика дисертації тісно пов'язана з основними науковими напрямками досліджень Донецького фізико-технічного інституту імені О. О. Галкіна НАН України (м. Київ). А саме: "Исследование особенностей энергетического спектра и электронной структуры металлов, металлоксидов, интерметаллоидов с помощью электромагнитных возбуждений", 1992-1993 pp, № держреєстрації 0193U039773; "Исследование особенностей энергетического спектра и электронной структуры металлов, металлоксидов, интерметаллоидов с помощью электромагнитных возбуждений", 1994-1995 pp., № держреєстрації 0194U045353; "Микроволновая диэлектрическая проницаемость соединений 1-2-3 с дефицитом кислорода", 1992-1994 pp., № держреєстрації 0294U001012; "Исследование природы поглощения и проникновения электромагнитных волн в ВТСП", 1994-1995 pp., № держреєстрації 0195U026157; "Релаксационные и распадные явления в металлооксидах, металлических и микрокристаллических материалах", 1994-1997 pp., № держреєстрації 0194U021975; "Релаксация, структурные и фазовые превращения в сильнонеравновесных твердотельных агрегатах", 1997-2000 pp., № держреєстрації 0197U008904; "Еволюція структур мезорівня і фазові перетворення в металевих і керамічних матеріалах далеких від термодинамічної рівноваги в умовах термомеханічних і електромагнітних впливів", 2000-2003 pp., № держреєстрації 0100U003857; "Спін-спінові та електрон-фононні взаємодії в металоксидних провідниках і діелектриках з перехідними іонами", 2003 - 2006 pp., № держреєстрації 0103U005975; "Формування, еволюція і властивості сильно нерівноважних і неоднорідних металевих і металоксидних нанокompatитних систем", 2006 - 2009 pp., № держреєстрації 0106U006936; "Кінетика і механізми процесів перенесення, упорядкування та фазових переходів в низьковимірних і об'ємних легованих нерівноважних металевих і металоксидних системах", 2009 - 2014 pp., № держреєстрації 0109U004918; "Спінові стани й квазічастинкові збудження в

складних системах зі зниженою розмірністю" 2014-2018 рр., № держреєстрації 0114U006064. Результати роботи були частково підтримані грантом в рамках науково-технічного співробітництва в 2001-2003 р.р. між Індією і Україною за проектом "Квантові фазові переходи і транспорт у високотемпературних надпровідниках", 2001-2003 р.р., № держреєстрації 0101U009268.

Структура дисертації Ф. М. Буханько така. Робота складається з анотації, списку умовних позначок і скорочень, Вступу, 6 розділів, Висновків та бібліографічного списку, який включає 265 джерел.

Анотація та Вступ написані в повній відповідності з вимогами ДАК МОНУ, що пред'являються до цих розділів докторських дисертацій.

Розділ 1. *«Концентраційні фазові перетворення в купратах $R\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ ($R = \text{Y}, \text{Dy}, \text{Gd}; 6 < y < 7$)»* присвячений вирішенню наступного завдання - дослідження фазових перетворень в купратах $R\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ ($R = \text{Y}, \text{Dy}, \text{Gd}; 6 < y < 7$).

Розділ 2. *«Магнетизм вихорових струмів в 2D сітці джозефсонівських слабких зв'язків в надпровідній $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6.9}$ кераміці. Квантові флуктуації заряду»* в основному присвячений вирішенню наступного завдання - дослідження магнетизму вихорових струмів в 2D сітці джозефсонівських слабких зв'язків в надпровідній $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6.9}$ кераміці.

Розділ 3. *«Фазові перетворення в допованих манганітах $\text{La}_{1-x}\text{Ca}_x\text{MnO}_3$ ($0 \leq x \leq 1.0$)»* присвячений вирішенню наступного завдання - дослідження фазових перетворень в системі манганітів $\text{La}_{1-x}\text{Ca}_x\text{MnO}_3$ ($0 \leq x \leq 1.0$).

Розділ 4. *«Формування і руйнування періодичних квазідвовимірних антиферомагнітних структур в манганітах $\text{La}_{1-y}\text{R}_y\text{MnO}_{3+\delta}$ ($R = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Sm}; 0 \leq y \leq 1.0$)»* присвячений вирішенню наступного завдання - дослідження формування та руйнування періодичних квазідвовимірних АФМ структур в манганітах $\text{La}_{1-y}\text{R}_y\text{MnO}_{3+\delta}$ ($R = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Sm}; 0 \leq y \leq 1.0$).

Розділ 5. *«Фазові перетворення в допованих манганітах $R_{0.55}\text{Sr}_{0.45}\text{MnO}_3$ ($R = \text{Nd}, \text{Sm}, \text{Gd}$) з майже половинним заповненням зони провідності»* присвячений вирішенню наступного завдання - дослідження фазових перетворень в допованих манганітах $R_{0.55}\text{Sr}_{0.45}\text{MnO}_3$ ($R = \text{Nd}, \text{Sm}, \text{Gd}$) з майже половинним заповненням зони провідності.

Розділ 6. *«Структурні, електронні і магнітні фазові перетворення в 2D сітках обірваних валентних зв'язків в плівках аморфного германію ($a - \text{Ge}$)»* присвячений вирішенню наступного завдання - дослідження структурних, електронних і магнітних фазових перетворень в сітках обірваних валентних зв'язків у відпалених плівках аморфного германію.

Слід визнати, що дисертаційна робота Ф.М. Буханько дуже добре структурована. Дійсно, кожному з шести розділів відповідає розв'язання одного з шести конкретних завдань. Реалізована в дисертаційній роботі

форма представлення результатів явно призначена, вочевидь, полегшити нелегку працю офіційного опонента.

Зупинюся на аналізі *новизни, достовірності і цінності* для сучасної фізики основних висновків дисертації Ф. М. Б У Х А Н Ь К О (стор. 298).

1. Показано, що поява і еволюція надпровідності в системах допованих купратів $R\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ тісно пов'язана з формуванням в металевих CuO_2 шарах при $y > 6.3$ періодичних квазідвовимірних динамічних наноструктур дірок типу зарядових страйпів у вигляді низькочастотних хвиль зарядової густини. Встановлено, що стабілізація періодичної орто-II фази поблизу кисневого індексу $y = 6.5$ призводить до захоплення динамічних зарядових страйпів надструктурою орто-II фази в вигляді 1D статичної хвилі зарядової густини. З ростом індекса до $y = 6.9$ поверхня Фермі реконструюється і з'являється сингулярність Ван-Хова густини електронних станів поблизу E_F .

Захисту цього положення присвячений Розділ 1. Основний зміст Розділу 1 складають результати рентгеноструктурних і високочастотних досліджень низки керамічних зразків ВТНП із структурою 1-2-3 (що відрізняються за хімічним складом) *при кімнатній температурі*, а також обговорення отриманих результатів у дусі уявлень про природу і механізми високотемпературної надпровідності розвинених за більш ніж 30 років. У мене, як у офіційного опонента, немає ніяких сумнівів відносно *достовірності* отриманих результатів. Що ж до *новизни*, то частина, приведених в дисертації Ф.М. Буханько результатів, що відносяться до структурних аспектів проблеми надпровідності ВТНП типу 1-2-3, аналогічна отриманим у кінці ХХ століття у ряді лабораторій світу (див., наприклад, Т.В. Сухарева, *Functional Materials* **4**, 4, 467(1997), В.А. Фінкель, *Low Temperature Physics* **28**, 687 (2002)). Цінністю цього положення, хоча і занадто сміливого, для сучасної фізики твердого тіла є розвиток уявлень про реконструкцію поверхні Фермі поблизу значення кисневого індексу $y \rightarrow 6.9$ і появи сингулярності густини електронних станів поблизу E_F .

2. У мікрохвильовому діапазоні електромагнітних хвиль в зразках $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6.9}$ з оптимальним допуванням виявлений фазовий перехід в стан з орбітальним парамагнетизмом спонтанних вихорових струмів, топологічний фазовий перехід Костерлітца-Таулесса розв'язання 2D вихорових пар, топологічний фазовий перехід Костерлітца-Таулесса-Березинського розв'язання електрон - діркових пар, резонанс джозефсонівської плазми в стосі надпровідних CuO_2 шарів.

Фактично дане положення містить чотири тези:

1. «У мікрохвильовому діапазоні електромагнітних хвиль в зразках $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6.9}$... виявлений фазовий перехід в стан з орбітальним парамагнетизмом спонтанних вихорових струмів...»,

2. «... виявлений фазовий перехід Костерлітца-Таулесса розв'язання 2D вихорових пар...»,

3. «... виявлений топологічний фазовий перехід Костерлітца-Таулесса-Березинського розв'язання електрон-діркових пар...»,

4. «...виявлений резонанс джозефсонівської плазми в стосі надпровідних CuO_2 шарів.».

Захисту цього положення присвячено Розділ 2 дисертації. В якості основного методу дослідження електромагнітних властивостей ВТНП дисертант використовує резонансний метод виміру НВЧ імпедансу виходячи з того, що цей метод менш чутливий до дефектності структури на макроскопічному рівні. Ідейною основою при обговоренні результатів експериментальних досліджень Федіра Миколайовича служать в основному результати теоретичних досліджень, отримані у кінці 80-х, - початку 90-х років ХХ століття [27,28, 41, 44,45 та ін]. На жаль, широко відомий огляд G. Blatter, M. V. Feigel'man, V. B. Geshkenbein, A. I. Larkin, and V. M. Vinokur "Vortices in high - temperature superconductors", Rev. Mod. Phys. **66**, 1125(1994) вислизнув від уваги дисертанта (?).

Експериментальні результати досліджень представлені на Рис. 2.1-2.6. У мене немає ніяких сумнівів в *достовірності* основних тез, що становлять суть цього положення. Здавалося б, що і *новизна* основних тез, які відносяться до другого висновку, також не повинна викликати сумнівів. Проте виникає питання, наскільки сучасні і справедливі уявлення дисертанта про існування двох видів топологічних ФП :

а. «фазовий перехід Костерлітца-Таулесса розв'язання 2D вихорових пар»,

б. «топологічний фазовий перехід Костерлітца-Таулесса-Березинського розв'язання електрон - діркових пар»,

а так само про можливість протікання топологічних ФП в нульовому магнітному полі? Результати прецизійних вимірів температурних залежностей d_c -опору гранулярних ВТНП $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6.95}$, проведених в лабораторії опонента, суперечать подібному твердженню [ФТТ, **60**, 3, 465 (2018), Письма в ЖЭТФ, 108, 4 , 249 (2018)].

Цінність цього положення я, в першу чергу, бачу в перспективності проведення подальших досліджень електромагнітних властивостей гранулярних ВТНП за допомогою розвинених дисертантом резонансних методів вимірів НВЧ імпедансу залежно від величини і напряму зміни температури, величини зовнішнього магнітного поля, магнітній передісторії і тому подібне.

3. Встановлено, що в системі допованих манганітів $\text{La}_{1-x}\text{Ca}_x\text{MnO}_{3+\delta}$ фазовий перехід діелектрик-метал відбувається з ростом x поблизу критичної концентрації кальцію $x_c = x_{dm} \approx 0.15$ внаслідок закривання ян-теллерівської щілини в спектрі носіїв заряду. Перехід першого роду з діелектричного в металевий феромагнітний стан викликаний зміною механізму феромагнітного обміну між спінами марганцю. Згідно побудованої магнітної $T - x$ фазової діаграми, подальше зростання

концентрації Са призводить до фазового переходу першого роду з металевого ФМ стану в квазідвовимірну діелектричну АФМ фазу СЕ-типу з просторово-модульованим орбітальним і зарядовим впорядкуванням поблизу критичної позначки $x_{c2} \approx 0.5$.

Захисту цього положення присвячено Розділ 3 дисертації. У цьому Розділі наводяться результати рентгеноструктурних досліджень (при кімнатній температурі) і температурної залежності високочастотної магнітної сприйнятливості системи манганітів $\text{La}_{1-x}\text{Ca}_x\text{MnO}_{3+\delta}$. Обговорення отриманих експериментальних даних проводиться на основі уявлень про зв'язок суперобмінного впорядкування вироджених орбіталей і магнітною структурою діелектриків з ян-теллерівськими іонами, що були розвинені ще в 70-80-их роках ХХ століття [120-122].

Дисертант виявив, що:

1. фазовий перехід діелектрик-метал при $x = 0.12-0.15$ супроводжується різким падінням ширини магнітного фазового переходу з ПМ у ФМ стан,
2. у дуже вузькому інтервалі концентрацій домішки Са поблизу $x = 0,5$ спостерігається температурний гістерезис високочастотної магнітної сприйнятливості зразків,
3. розшарування слабодопованих зразків $\text{La}_{1-x}\text{Ca}_x\text{MnO}_3$ на феромагнітну, антиферомагнітну і спин-стекольную мікрофази.

Достовірність і новизна отриманих результатів сумнівів не викликає, хоча дані відносно фазових переходів в системі $\text{La}_{1-x}\text{Ca}_x\text{MnO}_3$ принципово не відрізняються від аналогічних даних отриманих для системи $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$ [136]. *Цінність* цього положення полягає в тому, що на базі виявлення спільності поведінки слабодопованих манганітів можливий цілеспрямований пошук систем, в яких одночасно реалізується ефект Яна-Теллера, спінове і зарядове впорядкування.

4. *Виявлено, що в системах самодопованих манганітів $\text{La}_{1-y}\text{R}_y\text{MnO}_{3+\delta}$ ($R = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Sm}; \delta \cong 0.1$) ізовалентне заміщення іонів лантану рідкоземельними іонами з меншим радіусом призводить до формування квазідвовимірних синусоїдально модульованих АФМ структур А-, Е- і СЕ-типу з малою магнітною анізотропією в ab-площинах. Фрустрація квазідвовимірних антиферомагнітних структур спінів Mn при значеннях середнього іонного радіуса іонів заміщення порядку $\langle r_A \rangle \cong 1.13 \text{ \AA}$ призводить до появи квантової спінової рідини з щільною в спектрі магнітних збуджень, електрон-діркової рідини у вигляді металевих крапель і локальної надпровідності в вигляді 2D сітки надпровідних петель з джозефсонівськими контактами при температурах нижче 60 К.*

Захисту цього положення присвячено Розділ 4 дисертації. Я вважаю, що предметом аналізу *достовірності, новизни і цінності* для сучасної фізики твердого тіла та фізики магнітних явищ повинна служити початкова частина цього положення: «Виявлено, що в системах самодопованих манганітів $\text{La}_{1-y}\text{R}_y\text{MnO}_{3+\delta}$ ($R = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Sm}; \delta \cong 0.1$) ізовалентне заміщення іонів лантану

рідкоземельними іонами з меншим радіусом призводить до формування квазідвовимірних синусоїдально модульованих АФМ структур A -, E - і CE -типу з малою магнітною анізотропією в ab – площинах...». Річ у тому, що друга частина висновку є, на мою думку, не більше ніж деталізацією (чи роз'ясненням) першої (фундаментальної!) частини того, що захищається.

Фактично матеріал Розділа 4 присвячено встановленню спільності та відмінностей поведінки кристалічної структури, електромагнітних та ін. властивостей манганітів $\text{La}_{1-y}\text{R}_y\text{MnO}_{3+\delta}$ залежно від сорту іона R^{3+} і його частки в манганіті. Під час обговорення результатів вимірів фізичних властивостей дисертант оперує винятково значеннями іонних радіусів $\langle r \rangle$, в той час як 4f оболонки іонів Pr^{3+} , Nd^{3+} , Sm^{3+} заповнені в різному ступені... Виявлені в дисертації Ф.М. Буханько відмінності (часом принципові) у поведінці структурних, електронних і магнітних властивостей трактуються дисертантом як наслідок відмінностей у величинах іонних радіусів. При цьому значення іонних радіусів, що фігурують у дисертації, не є результатом експериментальних досліджень дисертанта, а є цитуванням літературних даних. На мій погляд визначення величин іонних радіусів в чотирьохкомпонентній системі, в якій відбуваються до того ж зміни типу кристалічної ґратки, на підставі вимірювань параметрів ґраток, є досить складним завданням. Прямий зв'язок величин параметрів кристалічних ґраток та іонних радіусів може і не реалізовуватися ...

У дисертаційній роботі реалізована досить ефективна програма досліджень, що включає структурні дослідження зразків $\text{La}_{1-y}\text{R}_y\text{MnO}_{3+\delta}$ (где $\text{R} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Sm}$, $y = 0, 0.1, \dots, 0.9, 1$) при кімнатній температурі, виміри температурної залежності намагніченості зразків с різною магнітною передісторією (FC або ZFC-режим) в широкому діапазоні значень напруженості зовнішнього магнітного поля (від декількох Oe до декількох kOe). На жаль, не усі отримані дисертантом результати приведені в дисертації.

Основним результатом досліджень, що захищаються положенням 4, є побудова $T - y - \langle r_a \rangle$ магнітних фазових діаграм для всіх манганітів $\text{La}_{1-y}\text{R}_y\text{MnO}_{3+\delta}$. Найголовніше те, що в усіх випадках реалізується низькотемпературна АФМ фаза із скошеними спінами Mn (цитую дисертанта: «...під залежності температури переходу в скошений стан був отриманий раніше теоретично де Женом для допованого анізотропного антиферромагнетика в рамках моделі подвійного обміну [179]»).

Достовірність, новизна і цінність цього положення сумнівів не викликають.

5. *Встановлено, що магнітна $T - y$ фазова діаграма допованих стронцієм систем $\text{R}_{0.55}\text{Sr}_{0.45}\text{MnO}_3$ ($\text{R} = \text{Nd}, \text{Sm}, \text{Gd}$) з малим структурним безладом асиметрична і містить характерні ознаки "гігантських" флуктуацій електронних і магнітних властивостей параметрів порядку, що виникають поблизу межі існування металевої ФМ фази і діелектричної АФМ фази CE -типу поблизу $\langle r_A \rangle \cong 1.3 \text{ \AA}$. У зразках системи $(\text{Sm}_{1-y}\text{Gd}_y)_{0.55}\text{Sr}_{0.45}\text{MnO}_3$*

з $y = 0.5, 0.6$ і 0.7 при температурах нижче 50 K виникає змішаний стан двох фаз - впорядкованої АФМ фази СЕ-типу з зарядовим і орбітальним порядком і невпорядкованої квантової фази Гріффітса. З ростом магнітного поля до критичного значення відбувається незворотний фазовий перехід першого роду з діелектричної АФМ фази СЕ-типу в металеву феромагнітну фазу. Подальше зростання концентрації гадолінію до значення $y = 1.0$ призводить до фазового переходу системи спінів марганцю в змішаний стан двох фаз без дальнього магнітного порядку - немагнітний стан типу безщільової спінової квантової рідини і фази спінового скла, що співіснують в нульовому dc зовнішньому магнітному полі при температурах нижче 50 K .

Захисту цього положення присвячено Розділ 5 дисертації. В першу чергу підкреслюю те, що на відміну від приведених в Розділах 3 і 4 даних, обґрунтованих на аналізі поведінки чотирьохкомпонентних систем типу $\text{La}_{1-y}\text{R}_y\text{MnO}_{3+\delta}$ в магнітному полі, в цьому розділі аналізується поведінка п'ятикомпонентних систем $[(\text{Nd}_{1-y}\text{Sm}_y)_{0.55}\text{Sr}_{0.45}\text{MnO}_3, (\text{Sm}_{1-y}\text{Gd}_y)_{0.55}\text{Sr}_{0.45}\text{MnO}_3]$. Способом керування складом п'ятикомпонентних систем є зміни співвідношення Sm і Gd або Sm і Nd при постійному сумарному значенні їх вмісту в системі (0.55). Важливою обставиною є те, що об'єктами вивчення служать системи, що містять як сукупність "легких" і "важких" РЗМ $[(\text{Sm}_{1-y}\text{Gd}_y)_{0.55}\text{Sr}_{0.45}\text{MnO}_3]$, так і двох "легких" РЗМ $[(\text{Nd}_{1-y}\text{Sm}_y)_{0.55}\text{Sr}_{0.45}\text{MnO}_3]$, що відрізняються характером заповнення магнітних 4f електронних оболонок.

Основним результатом досліджень, захищеним положенням 5, є побудова серії $H-T$ фазових діаграм для системи $(\text{Sm}_{1-y}\text{Gd}_y)_{0.55}\text{Sr}_{0.45}\text{MnO}_3$ (Рис. 5.6, 5.11, 5.12). Фазові діаграми, представлені на Рис. 5.6 і 5.11 і побудовані на підставі ідентичних експериментальних даних, не співпадають (?) Природа фазових перетворень і критичних явищ у манганітах були розглянуті раніше у відомому огляді [228].

В цілому це положення слід визнати новим і достовірним. Цінність же цього положення полягає в розширенні методологічних основ досліджень заміщених манганітів (склад, температури, магнітні поля).

6. За даними ЕПР і рентгеноструктурного аналізу встановлено існування двох типів 2D сіток обірваних валентних зв'язків $a - \text{Ge}$ на поверхнях мікропор і мікрокристалітів, що виникають в процесі кристалізації плівок аморфного германію, викликаним їх відпалом в інтервалі температур $20 - 600\text{ }^\circ\text{C}$. Вперше виявлено характерні ознаки неоднорідного феромагнітного упорядкування неспарених спінів обірваних зв'язків германію при температурах нижче 170 K . Причинами феромагнітного упорядкування неспарених спінів обірваних зв'язків є їх висока густина в окремих плівках і мала величина енергії кореляції електронів, локалізованих на обірваних валентних зв'язках германію поблизу рівня Фермі.

Захисту цього положення присвячено Розділ 6 дисертації. Фактично це положення включає в себе дві принципово відмінних тези відносно природи еволюції спектрів ЕПР аморфного Ge:

1. в результаті зміни умов отримання об'єктів дослідження,
2. в результаті зміни температур реєстрації спектру.

Більше того, вивчення впливу умов отримання об'єктів дослідження базувалося не лише на реєстрації НВЧ спектрів, але і на даних рентгеноструктурних досліджень. Не можу не відзначити, що техніка рентгеноструктурних досліджень (фотографічний спосіб реєстрації дифракційної картини, Дебаївська камера РКД-57, фотометрування рентгенограм) аж ніяк не відповідає експериментальному рівню досліджень в ХХІ столітті. Отримані дисертантом результати дослідження впливу температури відпалу плівок аморфного германію повністю базуються на закономірностях еволюції спектрів ЕПР раніш детально розглянутих в класичних роботах 70-х років минулого століття [241, 243].

Зовсім інша картина спостерігається при вивченні впливу температури на еволюцію спектрів НВЧ: вперше методом магнітного резонансу дисертантові вдалося виявити феромагнітне впорядкування частини спінів неспарених електронів при температурах нижче $T < 170 \text{ K}$ в відпалених «товстих» плівках аморфного Ge.

Достовірність обох частин цього положення ніяких сумнівів не викликає. *Новизна* ж, відверто кажучи, стосується лише виявлення ефекту ФМР, причиною якого є висока густина і мала величина енергії кореляцій електронів, локалізованих на обірваних валентних зв'язках в відпалених плівках аморфного Ge. *Цінність* цього положення полягає в розширенні уявлень про механізми впливу обірваних валентних зв'язків на поглинання високочастотного електромагнітного випромінювання.

З наведеного вище аналізу основних положень дисертаційної роботи, тексту дисертації і основних публікацій дисертанта, слід вважати, що мета дисертаційної роботи - встановлення механізмів формування і руйнування низьковимірних просторово-модульованих електронних та магнітних структур в сполуках з кількома співіснуючими параметрами порядку (орбітальний, зарядовий і спіновий) - Федіром Миколаєвичем Буханько повністю досягнута.

У дисертації експериментально досліджено еволюцію низьковимірних структур з конкуруючими параметрами порядку в широкому інтервалі температур в декількох системах купратів, манганітів і аморфному германії. Змішаний основний стан низьковимірних електронних і магнітних структур з сильною взаємодією, в якому одночасно існують кілька конкуруючих параметрів порядку є нестійким до всякого роду зовнішніх впливів. Ця нестійкість призводить до електронних і магнітних фазових перетворень, індукованих як сильними, так і слабкими зовнішніми впливами. У дисертаційній роботі було виявлено високу чутливість купратів і манганітів до змін складу зразків і зовнішніх впливів.

Результати фундаментальних досліджень дисертанта безсумнівно представляють високу *прикладну цінність* для практичного застосування деяких незвичайних властивостей надпровідників та магнетиків виявлених в

даній роботі при виготовленні різного роду сенсорів і елементів пам'яті в промисловій електроніці.

До недоліків дисертаційної роботи Ф.М. Буханько слід віднести наступні:

1. За відсутністю в дисертації конкретного викладу сучасного стану проблем, порушених у дисертації, в деяких розділах важко відокремити результати, що отримані дисертантом від літературних даних (в основному це стосується Розділів 4 і 5);

2. У Розділах 1 - 6 відсутній перелік конкретних публікацій дисертанта, що захищають матеріали даних розділів. У деяких випадках дисертант в ході викладу матеріалу посилається на власні публікації відсутні в списку праць за темою дисертації (див. стор. 9-11 дисертації);

3. Має місце плутанина в цитуванні навіть власних робіт, так [149] \equiv [195], [172] \equiv [196];

4. Недостатньо чіткий опис методичних аспектів досліджень (наприклад, прилади для створення дуже слабких і дуже потужних магнітних полів);

5. Структурні аспекти фазових перетворень у системі $\text{La}_{1-x}\text{Ca}_x\text{MnO}_{3+\delta}$ розглядаються дисертантом з використанням нестандартної термінології: «псевдотетрагональна фаза», «псевдокубічна фаза» (?) Винахід нової термінології не є шляхом вирішення складної фізичної задачі!

6. В якості частини положення 4 (див. стор. 299 дисертації) стверджується: «Фрустрація квазідвовимірних антиферромагнітних структур спінів Mn ... призводить до появи ... локальної надпровідності в вигляді 2D сітки надпровідних петель з джозефсонівськими контактами при температурах нижче 60 К». Так звана доказова база зводиться до: «Передбачається, що виявлений вперше аномальний діамagnetизм зразків з $y = 0.85$ і 1.0 і незвичайні сходинки намагніченості $M(T)$ в слабких магнітних полях в інтервалі температур $0 < T < 20$ К є характерними ознаками існування в зразках локальної надпровідності...» (стор. 212). Нагадую, що використання зворотів типу «передбачається» в якості доказової бази тієї чи іншої тези зустрічається в тексті дисертації 56 разів (!!!).

Усі висловлені зауваження не носять принципового характеру, не торкаються загальної високої оцінки дисертації та не можуть вплинути на позитивне враження від отриманих у роботі нових і важливих результатів та її змісту.

У якості офіційного опонента я вважаю, що сукупність положень дисертаційної роботи Ф.М. Буханько свідчить про те, що в результаті багаторічної роботи виконаної дисертантом був досягнутий істотний прогрес у становленні та розвитку актуального наукового напрямку фізики твердого тіла – «Фазові перетворення в низьковимірних електронних і спінових

системах з конкуруючими параметрами порядку”, який, природно, збігається з назвою дисертації. У становленні та розвитку цього напрямку й полягає наукова й прикладна значимість усієї сукупності результатів, отриманих Ф.М. Буханько та узагальнених у дисертації, що рецензується.

Дисертаційна робота Ф.М. Буханько оформлена відповідно до вимог ДАК МОН України до докторських дисертацій та написана гарною науковою мовою. Основні результати роботи Федіра Миколаєвича Буханько в повному обсязі були опубліковані у вітчизняній та міжнародній науковій пресі та повідомлені на багатьох міжнародних конференціях. Положення і результати, які виносилися на захист кандидатської дисертації, не виносяться на захист докторської дисертації. Автореферат відображає основний зміст і структуру дисертаційної роботи.

На основі викладеного вище вважаю, що дисертаційна робота Ф.М. Буханько **“Фазові перетворення в низьковимірних електронних і сіннових системах з конкуруючими параметрами порядку”** повністю відповідає паспорту спеціальності 01.04.07, фізико-математичні науки є завершеною науковою роботою і задовольняє всі вимоги, що пред'являються до докторських дисертацій, зокрема з пунктами 9, 10 и 12 "Порядку присудження наукових ступенів" і вимогам Департаменту по атестації кадрів Міністерства освіти і науки України, а її автор безумовно заслуговує присудження наукового ступеня доктора фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.07 - фізика твердого тіла

Офіційний опонент
старший науковий співробітник
ННЦ ХФТІ ІАНУ,
доктор фізико-математичних наук,
старший науковий співробітник



Т.В. Сухарева

ЗАСВІДЧУЮ

секретар
ІАНУ

12.03.03

