

ВІДГУК
офіційного опонента про дисертацію
ГЛАМАЗДИ Олександра Юрійовича
“Низькорозмірні мультифункціональні кристалічні матеріали: вплив
структурних особливостей на взаємодію між фононною, електронною та
магнітною підсистемами”
на здобуття наукового ступеня доктора фізико-математичних наук
(спеціальність 01.04.07 – фізика твердого тіла)

Метою дисертаційної роботи Олександра Юрійовича Гламазди «є встановлення взаємозв'язку між структурними особливостями мультифункціональних низькорозмірних матеріалів та їх впливом на фононну, електронну та магнітну підсистеми». (стор. 33)

В дисертаційній роботі вирішувалася низка наукових завдань:

1. Вивчити вплив фотополімеризації на люмінесцентні, коливальні та мембранні властивості фулеренових плівок.
2. Встановити зв'язок між структурними особливостями магнітних фрустрованих магнетиків та їх фізичними властивостями.
3. Дослідити вплив впорядкування ізольованих вуглецевих одностінних нанотрубок (ВОНТ) в плівках органічних сполук на їх електропровідні та оптичні властивості.
4. Встановити вплив зовнішнього оточення та температури на люмінесцентні та коливальні властивості ВОНТ.
5. Дослідити вплив введення легуючих домішок Ru_x ($x=0-0.2$) на магнітну та фононну підсистеми в $Sr_2Ir_{1-x}Ru_xO_4$.
6. Встановити залежність між структурними особливостями шаруватих мультифероїків та їх коливальними властивостями.
7. Дослідити залежність між структурними особливостями браунмілеритів $SrMO_{2.5}$ ($M=Co, Fe$) та їх коливальними властивостями.
8. Винайти спектральні особливості в магнітній системі Ba_2CuTeO_6 типу «спінова драбина» поблизу особливої точки.
9. Встановити зв'язок між структурними особливостями в китаєвських двовимірних (α - $RuCl_3$) та тривимірних (β - і γ - Li_2IrO_3) матеріалах та фракціоналізацією спінових збуджень.

Актуальність дисертаційної роботи визначається двома обставинами:

- По-перше, актуальність роботи обумовлена важливістю проблеми встановлення механізмів, що відповідають за унікальні фізичні властивості мультифункціональних матеріалів та нагальністю експериментальної перевірки нових ідей і концепцій, що пов'язані з фізикою таких систем.

- По-друге, низькорозмірні мультифункціональні кристалічні матеріали, отриманню та дослідженню властивостей яких присвячена

дисертаційна робота О.Ю. Гламазди, знаходять або можуть знайти конкретне застосування в самих різноманітних галузях сучасної техніки. Наприклад:

1. фулеренові плівки можуть бути використані як мембрани для сепарації різних газів, біологічних молекул та як ємності для зберігання газів;
2. вуглецеві одновимірні нанотрубки можна використовувати при створенні надміцних композитних структур;
3. мультифероїки (LuFe_2O_4 , CuO , $\text{Ca}_3\text{Mn}_2\text{O}_7$) мають широкий спектр практичного використання в електрооптичних приладах, п'єзоелектричних елементах, температурних сенсорах, різних датчиках тиску та інше;
4. на основі фрустрованих магнетиків (LuFe_2O_4 , $\text{Ba}_3\text{MSb}_2\text{O}_9$ ($M=\text{Cu}$, Co), $\alpha\text{-RuCl}_3$, β - та $\gamma\text{-Li}_2\text{IrO}_3$) можуть бути розроблені так звані топологічні квантові комп'ютери.

З формальної точки зору, підтвердженням актуальності роботи слугуватиме та обставина, що тематика дисертації тісно пов'язана з основними науковими напрямками досліджень Фізико-технічного інституту низьких температур імені Б.І. Веркіна НАН України. А саме: “Дослідження взаємодії між біополімерами, біологічно активними речовинами та вуглецевими нанотрубками як функціональними складовими біосенсорів” (номер державної реєстрації 0106U002560, термін виконання 2006-2010 рр.); “Дослідження структури і визначення енергетичних характеристик нанобіогібридів, сформованих біополімерами та їх компонентами з вуглецевими нанотрубками, хромофорами та іонами металів” (номер державної реєстрації 0110U007895, термін виконання 2011-2013 рр.); “3D наноструктурні форми графену: створення, дослідження фізичних властивостей та шляхів їх практичного використання” (номер державної реєстрації 15/17-Н НАН України, термін виконання 2015-2019 рр.); “3D гібридні наноструктури на основі 2D наноматеріалів (оксид графену, MoS_2): створення, характеристика та використання у сенсорних пристроях” (номер державної реєстрації 4/Н-2018 та 1/Н-2019, термін виконання 2018-2019 рр.) в рамках проектів за грантами НАН України дослідницьким лабораторіям/групам молодих вчених НАН України для проведення досліджень за пріоритетними напрямками розвитку науки і техніки. Та в рамках проектів: “Розробка біосенсорів на основі сітки польових транзисторів, створених вуглецевими нанотрубками” (STCU № 4950, термін виконання 2009-2011 рр.); National Research Foundation of Korea (№ 2009-0093817 та 2012-046138).

Структура дисертації О.Ю. Гламазди така. Робота складається з Анотації, Вступу, шести Розділів, Висновків, списку використаних джерел, що містить 285 найменувань.

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

Розділ 1. «Оптичні та фізичні властивості фулеренових плівок» присвячено дослідженню оптичних та мембранних властивостей фулеренових плівок. В розділі обговорюються результати дослідження впливу фотополімеризації плівок фулеренів на їх люмінесцентні властивості та раманівські спектри.

Розділ 2. «Вплив оточення на оптичні властивості вуглецевих одностінних нанотрубок» присвячено дослідженню впливу температури та рН на фізичні властивості одновимірних кристалічних структур - одностінних вуглецевих нанотрубок (ВОНТ). В розділі надано результати дослідження впливу температури та рН на оптичні властивості вуглецевих нанотрубок в оточенні полімерів або поверхнево-активних речовин.

Розділ 3. «Наногібриди одностінних вуглецевих нанотрубок» присвячено дослідженню наногібридів ВОНТ поєднаних у зв'язані агрегати. В розділі наведено результати дослідження ефективності впорядкування ізольованих вуглецевих одностінних нанотрубок в полімерних органічних матрицях.

Розділ 4. «Мультифункціональні матеріали з корельованими електронними підсистемами» присвячено висвітленню результатів дослідження електронних та магнітних властивостей в низці мультифункціональних матеріалів з різним ступенем корельованості електронних підсистем. В розділі надано результати дослідження шаруватого антиферромагнетика PdCrO_2 , проведено дослідження шаруватого мультифероїку LuFe_2O_4 , проведено аналіз раманівських спектрів антиферромагнетика CuO , проведений аналіз температурної еволюції оптичних фононів в раманівських спектрах шаруватих $\text{IrTe}_{2-x}\text{Se}_x$, вивчено температурну еволюцію раманівських спектрів шаруватого кристалу - халькогеніду заліза FeSe та IrTe_2 .

Розділ 5. «Особливості шаруватих перовскітних структур та вплив дефектів на їх фізичні властивості» присвячено дослідженню оптичних властивостей низки перовскітів. В розділі надано результати раманівських досліджень хімічно легованого домішками Ru_x перовскіту $\text{Sr}_2\text{Ir}_{1-x}\text{Ru}_x\text{O}_4$. За допомогою коливальної спектроскопії досліджено тонкі епітаксіальні плівки браунмілеритів $\text{SrMO}_{2.5}$ ($\text{M}=\text{Co}, \text{Fe}$), проведено аналіз раманівських спектрів сполук $\text{Ca}_3\text{Mn}_2\text{O}_7$ та $\text{Ba}_2\text{CuTeO}_6$.

Розділ 6. «Геометрично фрустровані спінові системи» присвячено дослідженню кристалічних матеріалів, в яких було виявлено новий квантовий стан - спінова рідина. В розділі надано порівняльний аналіз раманівських спектрів низки сполук бН-типу $\text{Ba}_3\text{MSb}_2\text{O}_9$ ($\text{M}=\text{Zn}, \text{Co}$ і Cu) в сукупності з теоретичними розрахунками раман-активних фононних мод.

Зупинюся на аналізі *новизни, достовірності і цінності* для сучасної фізики основних положень дисертації О.Ю. ГЛАМАЗДИ (стор. 341).

Всі 13 висновків дисертаційної роботи О.Ю. Гламазди, що виносяться на захист, умовно можна поділити на дві великі групи:

- Результати досліджень оптичних та електрофізичних властивостей низьковимірних матеріалів (0D, 1D, 2D, 3D) на основі вуглецю. Йдеться про композити на основі вуглецю, в яких реалізуються відносно слабкі взаємодії між компонентами системи (ковалентні, металеві, типу Ван-дер-Ваальса та ін.).

- Результати досліджень оптичних властивостей "екзотичних" магнетиків (фрустровані мультифероїки, браунмілери, «спінові драбини», шаруваті кристали, «китаєвські» матеріали та ін.). Йдеться про системи, в яких як правило реалізується сильний тип взаємодії між підсистемами (зазвичай іонна, кулонівська або обмінна взаємодія).

Висновки 1 – 5.

1. Вперше в спектрі люмінесценції фотополімеризованих фулеренових плівок виявлено характеристичну смугу, яка обумовлена фотополімеризацією та може слугувати індикатором появи фотополімеризованої фази.

Матеріали, на підставі яких зроблено цей висновок, подані частково в Розділі 1 (підрозділ 1.2). *Достовірність, новизна і цінність* цього висновку для сучасної фізики сумнівів не викликає – вперше розвинута методологія вивчення еволюції оптичних властивостей фотополімеризованих фулеренових плівок шляхом одночасної реєстрації спектрів люмінесценції і раманівських спектрів, що дозволяє спостерігати спектри випромінювання ділянки плівки з конкретним ступенем полімеризації.

2. Вперше показано, що при термічному нанесенні фулеренів на пористу полімерну підкладку створюється композитна плівка, яка демонструє селективність до кисню або гелію у порівнянні з азотом та метаном, відповідно.

Матеріали, на підставі яких зроблено цей висновок, подані частково в Розділі 1 (підрозділ 1.3). З одного боку дисертант значно полегшує працю офіційного опонента, приводячи в Таблиці 1.2 основні експериментальні результати. З іншого ж боку, у вступі до підрозділу 1.3, наводяться літературні дані максимально близькі до отриманих в роботі результатів.

В першу чергу слід відзначити, що експерименти, покликані захистити це положення, являють собою вкрай вдалий приклад поєднання «прикладних» досліджень з фундаментальними – оптимізація експлуатаційних властивостей отриманих композитів і дослідження їх складу і структури за допомогою сучасних оптичних методів.

Достовірність і цінність цього висновку для сучасної фізики сумнівів не викликає.

3. Вперше створено нанорозмірні самозбірки ізольованих вуглецевих нанотрубок у водних суспензіях завдяки взаємодії між біоорганічними молекулами, адсорбованими на їх поверхні. У таких складних

наноструктурах виявлено перенесення електронного збудження екситонами з напівпровідникових на металеві нанотрубки.

Захисту цього положення, а також положень 4 та 5, в яких продовжено розгляд оптичних та електрофізичних властивостей ізольованих вуглецевих одностінних нанотрубок, присвячений Розділ 2 і частково Розділ 3 дисертаційної роботи.

4. Вперше встановлено суттєвий вплив впорядкування ізольованих, окремих вуглецевих одностінних нанотрубок на їх електропровідні та оптичні властивості в плівках органічних сполук.

5. Вперше виявлена різна температурна поведінка радіальної коливальної моди окремих вуглецевих нанотрубок з металевою та напівпровідниковою провідністю, яка обумовлена різною електрон-фононою взаємодією.

Нижче наводиться аналіз *достовірності* і *новизни* цих висновків. *Цінність* усіх цих положень полягає у тому, що завдяки багатообіцяючим перспективам застосування ВОНТ, особливо в біологічних системах, включаючи доставку ліків, біосенсорика, біомедичні пристрої і клітинну біологію, необхідно знати їх оптичні та електрофізичні властивості в різних середовищах.

Достовірність та *новизна* висновку 3 сумнівів не викликає. Дійсно, дисертанту вдалося розробити технологію створення самозбірки ізольованих ВОНТ завдяки вмілому використанню ефекту абсорбції біологічного полімеру (ДНК) на поверхні нанотрубок. За допомогою поєднання таких оптичних методів як люмінесценція, яка є надчутливим методом і може слугувати елементом сенсору та раманівської спектроскопії, що здатна контролювати властивості нанотрубок, спостерігалось перенесення електронного збудження екситонами з напівпровідникових на металеві нанотрубки.

Достовірність висновку 4 є очевидною.

Достовірність та *новизна* висновку 5 сумнівів не викликає. Низькотемпературні раманівські дослідження плівок ВОНТ:ДНК окремих вуглецевих нанотрубок, ізольованих завдяки біополімеру, дозволили дисертанту виявити різну температурну поведінку радіальної коливальної моди нанотрубок з металевою та напівпровідниковою провідністю, що пов'язана з їх різною електрон-фононою взаємодією.

Висновки 6 – 13.

6. Вперше виявлено, що в фрустрованому мультифероїку LuFe_2O_4 існує функціональний зв'язок між фононою, магнітною та зарядовою підсистемами, який впливає на фононні моди, що спостережені у раманівському спектрі.

Матеріали, на підставі яких зроблено цей висновок, подані частково в Розділі 4 (підрозділ 4.2). *Достовірність* висновку б сумнівів не викликає завдяки високому експериментальному рівню досліджень, а також завдяки проведенню теоретико-групового аналізу коливальних збуджень і розрахунків фононних мод з використанням програмного пакету GULP [147]. Більш складне питання про *новизну* отриманих результатів. Попередні дослідження LuFe_2O_4 [152-154] також виявили аномалії фононної підсистеми поблизу електронного та магнітного фазових переходів. Однак дисертанту вперше вдалося провести пряме одночасне зондування фононних, магнітних та електронних збуджень. На мій погляд в цьому і полягає основна *цінність* цього висновку для сучасної фізики твердого тіла.

7. Вперше з аналізу температурної еволюції фононної підсистеми в CuO виявлено температуру кросоверу поблизу $T^ \sim 140$ К, що пов'язано зі зміною динаміки кристалічної ґратки та конкуренцією полярних і неполярних ґраткових спотворень.*

Матеріали, на підставі яких зроблено цей висновок, подані частково в Розділі 4 (підрозділ 4.3). Предметом дослідження, захищеного цим висновком, є вивчення раманівських спектрів шаруватих монокристалів CuO при різних напрямках поляризації. До початку досліджень дисертанта було відомо, що CuO в низькотемпературній параелектричній фазі ($T < T_M$) має просту колінеарну антиферомагнітно-впорядковану структуру. Магнітні моменти антиферомагнітно впорядковуються вздовж напрямку $[10\bar{1}]$ і феромагнітно - вздовж напрямку $[101]$. З аналізу поведінки коливальних мод дисертантом було знайдено ефект кросоверу при $T = T^*$, що вказує на зміну динаміки кристалічної ґратки.

Достовірність, новизна і цінність цього висновку для сучасної фізики сумнівів не викликає.

8. Вперше за допомогою експериментальних спектральних досліджень та розрахунку динаміки кристалічної ґратки показано, що у визначенні структурних і електронних властивостей браунмілеритів $\text{SrMO}_{2.5}$ ($M = \text{Co}, \text{Fe}$) ключову роль відіграють одновимірні тетраедричні ланцюги.

Матеріали, на підставі яких зроблено цей висновок, подані частково в Розділі 5 (підрозділи 5.5 та 5.6). *Достовірність* цього висновку сумнівів не викликає. Висновок ґрунтується на результатах оптичних досліджень і розрахунків динаміки кристалічної ґратки. Тим часом, *новизна* цього висновку носить "локальний" характер, оскільки вона стосується конкретних об'єктів дослідження - браунмілеритів $\text{SrMO}_{2.5}$ ($M = \text{Co}, \text{Fe}$). Результати, отримані дисертантом, природно збігаються з висновками багаторічних досліджень щодо впливу розподілу кисню в підґратках шаруватих

перовскитоподібних речовин на їх кристалічну структуру, електрофізичні та ін. властивості. Модельним об'єктом для встановлення впливу одновимірних тетраедричних ланцюгів на кристалічну структуру, оптичні та електрофізичні властивості перовскитоподібних речовин традиційно служить високотемпературний надпровідник $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$, в якому в залежності від концентрації кисню в ланцюгах Cu-O спостерігається поява трьох різних фаз (OI, OII, T): надпровідна фаза з $T_c \sim 90\text{K}$ - OI, надпровідна фаза з $T_c \sim 50\text{K}$ - OII і діелектрична - T.

9. *Введення легуючих домішок Ru_x ($x=0-0.2$) у шаруваті монокристали $\text{Sr}_2\text{Ir}_{1-x}\text{Ru}_x\text{O}_4$ дозволяє дослідити еволюцію магнітних та граткових збуджень в їх раманівських спектрах та виявити співіснування $\text{Ir}(\text{Ru})\text{O}_6$ октаєдрів обох типів у цьому кристалі.*

Матеріали, на підставі яких зроблено цей висновок, подані частково в Розділі 5 (підрозділ 5.2). Перш за все слід зазначити, що цей висновок базується на результатах які отримані при найвищому експериментальному рівні. Вперше об'єктами дослідження слугували шаруваті монокристали $\text{Sr}_2\text{Ir}_{1-x}\text{Ru}_x\text{O}_4$ ($x=0-0.2$). Особливості поведінки раманівських спектрів вивчені в широкому діапазоні температур ($\sim 5 - \sim 300\text{K}$), що включає критичні температури відомих магнітних фазових переходів, в діапазоні частот $180-2700 \text{ cm}^{-1}$. В $\text{Sr}_2\text{Ir}_{1-x}\text{Ru}_x\text{O}_4$ дисертанту вдалося виявити співіснування фононних мод які пов'язані з коливаннями октаєдрів $\text{Ir}(\text{Ru})\text{O}_6$ в досліджуваному діапазоні легування. Отже, *достовірність, новизна і цінність* цього висновку для сучасної фізики сумнівів не викликає.

10. *Виявлено співіснування наборів конкуруючих м'яких мод обертання і нахилу октаєдрів (MnO_6) в кристалі $\text{Ca}_3\text{Mn}_2\text{O}_7$, що належать до параелектричної та до сегнетоелектричної фаз.*

Матеріали, на підставі яких зроблено цей висновок, подані частково в Розділі 5 (підрозділ 5.4). Раманівська спектроскопія використовується дисертантом для безпосереднього дослідження м'яких мод обертання і нахилу октаєдрів (MnO_6), які є двома основними параметрами порядку, передбаченими в гібридному невласному сегнетоелектричному матеріалі $\text{Ca}_3\text{Mn}_2\text{O}_7$. При цьому виявлено *гігантське* пом'якшення моди нахилу октаєдра 107 cm^{-1} на 26 cm^{-1} при нагріванні за рахунок структурного переходу від сегнетоелектричної до параелектричної фази. Це контрастує з невеликим пом'якшенням обертальної моди 150 cm^{-1} на 6 cm^{-1} . У проміжній фазі співіснують конкуруючі м'які моди з різною симетрією, викликаючи аномалії спінових збуджень і коливань решітки. Дисертант демонструє, що моделі м'якого обертання і нахилу, що залежать від шляху фазового переходу між сегнетоелектричною та параелектричною фазами, є ключовим фактором при визначенні сегнетоелектричних, магнітних та граткових властивостей $\text{Ca}_3\text{Mn}_2\text{O}_7$. Слід вважати даний висновок *достовірним, новим* і таким, що має *цінність* з наукової та прикладної точок зору.

11. *Вперше виявлено, що магнітна система типу «спінової драбини» $\text{Ba}_2\text{CuTeO}_6$ знаходиться поблизу особливої квантової точки зі сторони упорядкованого магнітного стану.*

Матеріали, на підставі яких зроблено цей висновок, подані частково в Розділі 5 (підрозділ 5.3). Дисертант вважає, що $\text{Ba}_2\text{CuTeO}_6$ є найбільш придатним об'єктом для вивчення моделі тривимірної спінової драбини. Для підтвердження *достовірності, новизни та цінності* для сучасної фізики твердого тіла цього висновку О.Ю. Гламазда наводить результати вимірювань фізичних властивостей $\text{Ba}_2\text{CuTeO}_6$ за допомогою найрізноманітніших методів: статична магнітна сприйнятливість; мюонна спектроскопія обертання/релаксації; ЕПР; магнітне раманівське розсіювання. Зонди обертання спіна мюона в нульовому полі і електронного спінового резонансу виявляють послідовний перехід від парамагнетика через подібне до спін-рідинного та до магнітовпорядкованого стани зі зниженням температури. Параметри двохмагнетонного раманівського відгуку (пікова енергія, ширина лінії і інтенсивність смуги) підпорядковуються Т-лінійній залежності. Така критична масштабна поведінка, *на думку дисертанта*, є експериментальною ознакою наближення до квантово-критичної точки з впорядкованого боку в $\text{Ba}_2\text{CuTeO}_6$.

12. *Вперше показано, що висококорельований спіновий стан може з'являтися в шаруватих $\text{Ba}_3\text{CoSb}_2\text{O}_9$ і $\text{Ba}_3\text{CuSb}_2\text{O}_9$ кристалах з трикутною ґраткою нижче 50 К.*

Матеріали, на підставі яких зроблено цей висновок, подані частково в Розділі 6 (підрозділ 6.2). *Достовірність і новизна* цього висновку базується на результатах порівняльного аналізу раманівських та дифракційних спектрів трьох шаруватих сполук $\text{Ba}_3\text{MSb}_2\text{O}_9$ (M = Cu, Co, Zn). Монокристали $\text{Ba}_3\text{MSb}_2\text{O}_9$ вирощувалися флюсовим методом в середовищі BaCl_2 . Отримані кристали перемелювали і подрібнювали для вивчення порошкової рентгенівської дифракції, яка продемонструвала наявність лише однієї фази в кристалах $\text{Ba}_3\text{MSb}_2\text{O}_9$. На підставі порівняльного аналізу раманівських спектрів встановлено, що на відміну від немагнітної сполуки $\text{Ba}_3\text{ZnSb}_2\text{O}_9$, магнітні аналоги $\text{Ba}_3\text{MSb}_2\text{O}_9$ (M=Co і Cu) показують аномалії кристалічної ґратки при температурах нижче 100 К і появу сильнокорельованого магнітного стану нижче 50 К. Дисертант стверджує також, що вивчені зразки $\text{Ba}_3\text{CuSb}_2\text{O}_9$ складаються з двох структурно різних оточень: статичної JT-спотвореної орторомбічної фази и динамічної спін-орбітальної заплутаної гексагональної фази (стор. 304).

13. *Вперше показано, що в китаєвських матеріалах: $\alpha\text{-RuCl}_3$ спостерігається двовимірна, а $\beta\text{-}$ і $\gamma\text{-Li}_2\text{IrO}_3$ тривимірна фракціоналізація спінових збуджень.*

Матеріали, на підставі яких зроблено цей висновок, подані частково в Розділі 6 (підрозділи 6.3 та 6.4). Перш ніж перейти до обговорення *новизни* та *достовірності* цього висновку, необхідно ще раз підкреслити, що основним методом досліджень в дисертації О.Ю Гламазди є раман-спектроскопія. Я вважаю, що даний метод найкраще ілюструє можливості дослідження еволюції властивостей таких складних об'єктів, як китаєвські матеріали. Наявність зв'язку між магнетизмом і будовою кристалічної ґратки є характерною рисою матеріалів з сильною спін-орбітальною взаємодією. Мова йде про схожість магнітного відгуку, зареєстрованого в раманівських спектрах α - RuCl_3 і β - і γ - Li_2IrO_3 , яка дозволяє дисертанту зробити висновок про те, що в тривимірних стільникових іридатах і двовимірному стільниковому рутенаті реалізується китаєвський магнетизм.

Виявлено, що ромбодрична структура α - RuCl_3 має більш оптимальну геометрію міжатомних зв'язків для розміщення китаєвського магнетизму ніж моноклінна структура. Виявлено низькочастотну широку смугу в раманівських спектрах β - і γ - Li_2IrO_3 , що обумовлена наявністю ферміонних майоранівських збуджень.

Отже, *достовірність, новизна і цінність* цього висновку для сучасної фізики сумнівів не викликає.

З наведеного вище аналізу основних положень дисертаційної роботи, тексту дисертації і основних публікацій дисертанта, слід вважати, що мета дисертаційної роботи - встановлення взаємозв'язку між структурними особливостями мультифункціональних низькорозмірних матеріалів та їх впливом на фононну, електронну та магнітну підсистеми - Олександром Юрійовичем Гламаздой досягнута.

Результати фундаментальних досліджень дисертанта безсумнівно мають високу *прикладну цінність* для практичного застосування – отримані результати сприятимуть розробці та удосконаленню технології синтезу низькорозмірних кристалічних матеріалів з заздалегідь відомими фізичними властивостями.

До недоліків дисертаційної роботи О.Ю Гламазди слід віднести наступні:

1. Літературний огляд в його класичному розумінні в дисертації відсутній. У деяких розділах дисертації стан відповідної проблеми наводиться в підрозділі Вступ або в інших підрозділах, а десь (див., наприклад, Розділ 3) взагалі відсутній.

2. У Розділах 1 - 6 відсутній перелік конкретних публікацій дисертанта, що захищають матеріали даних розділів. Офіційному опоненту доводиться виконувати непритаманну йому роботу - шукати статті дисертанта, на основі яких написані відповідні розділи дисертації.

3. Матеріали, що наведені в підрозділах 4.4 - 4.6, не дозволили дисертанту сформулювати результат проведених досліджень у вигляді висновків до дисертації. У зв'язку з цим мені, як опонентові, незрозуміло причини розміщення матеріалів цих підрозділів в тексті Розділу 4.

4. Послідовність висновків до дисертації не збігається з ходом викладу матеріалів у Розділі 5, на підставі яких базуються висновки 8 -11, що також ускладнює і без того несолодке життя офіційного опонента.

5. Обсяг проведеної роботи в Розділі 1 (підрозділ 1.3) значно вужчий, ніж заявлено в Висновку 2 («...Вперше показано, що при термічному нанесенні фулеренів на пористу полімерну підкладку...»), насправді вивчалася конкретна підкладка з полікарбонату).

6. Дані наведені на Рис. 6.8, суперечать твердженням дисертанта про однофазність досліджуваних зразків $\text{Ba}_3\text{CuSb}_2\text{O}_9$ (результати дифракційних та оптичних досліджень). На мою думку, це може свідчити про низьку якість зразків що досліджувались: «Навіть зразки з однієї партії містять деяку відмінність в стехіометрії» (стор. 304).

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 О.Ю Гламазди свідчить про те, що в результаті роботи виконаної дисертантом був досягнутий істотний прогрес у становленні та розвитку актуального наукового напрямку фізики твердого тіла – “Встановлення кореляції між структурними особливостями низькорозмірних мультифункціональних кристалічних матеріалів та їх впливом на фононну, електронну та магнітну підсистеми”. У становленні та розвитку цього напрямку й полягає наукова й прикладна значимість усієї сукупності результатів, отриманих О.Ю Гламаздой та узагальнених у дисертації, що рецензується.

Дисертаційна робота О.Ю Гламазди оформлена відповідно до вимог ДАК МОН України до докторських дисертацій та написана гарною науковою мовою. Основні результати роботи Олександра Юрійовича Гламазди 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 О.Ю. Гламазди **“Низькорозмірні мультифункціональні кристалічні матеріали: вплив структурних особливостей на взаємодію між фононною, електронною та магнітною підсистемами”** 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 і 12 "Порядку присудження наукових ступенів" і вимогам Департаменту по атестації кадрів Міністерства освіти і науки України, а її автор заслуговує присудження наукового ступеня доктора фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.07 - фізика твердого тіла

Офіційний опонент
старший науковий співробітник
ІНЦ ХФТІ НАНУ,
доктор фізико-математичних наук,
старший науковий співробітник



Т.В. Сухарева

*Богдана Т.В. Сухаревої
заверяю*

Ген. директор Фізико-математичного інституту НАНУ Ф. Шурьга

