

## ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу Гламазди Олександра Юрійовича  
«НИЗЬКОРОЗМІРНІ МУЛЬТИФУНКЦІОНАЛЬНІ КРИСТАЛІЧНІ МАТЕРІАЛИ: ВПЛИВ  
СТРУКТУРНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ НА ВЗАЄМОДІЮ МІЖ ФОНОННОЮ,  
ЕЛЕКТРОННОЮ ТА МАГНІТНОЮ ПІДСИСТЕМАМИ»,

яка подана на здобуття наукового ступеня доктора фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.07 – фізика твердого тіла

Велика увага у фізиці твердого тіла приділяється нанорозмірним кристалічним системам. Така зацікавленість обумовлена генерацією нових фізичних явищ, які ще недавно могли бути тільки передбачені теоретичними методами. Розвиток нанотехнологій потребує активну експериментальну діяльність щодо виявлення теоретично-передбачених фізичних явищ в низькорозмірних кристалічних системах, обумовлених обмеженням ступенів свободи збуджень різної природи та спостереженням нових явищ, які мають широко коло практичних застосувань. Дисертаційна робота О. Ю. Гламазди присвячена дослідженню впливу структурних особливостей на взаємодію між фононною, електронною та магнітною підсистемами в низькорозмірних кристалічних системах.

У дисертаційній роботі розглянуто значний набір таких кристалічних систем починаючи з фулеріту, вуглецевих нанотрубок, мультифероїки, надпровідники. Усі ці об'єкти мають унікальні фізичні характеристики які вже знаходять своє застосування у різних, сучасних технологічних сферах. **Актуальність** теми дисертаційної роботи О. Ю. Гламазди пов'язана зі встановленням механізмів, що відповідають за унікальні фізичні властивості в мультифункціональних низькорозмірних кристалічних матеріалах та нагальністю експериментальної перевірки нових ідей і концепцій, що пов'язані з фізикою таких систем. Мультифункціональність обраних кристалічних сполук обумовлена їх **практичністю** та перспективою використання у проектуванні та виробництві високотехнологічних приладів.

**Метою дисертаційної роботи** є встановлення взаємозв'язку між структурними особливостями мультифункціональних низькорозмірних матеріалів та їх впливом на фононну, електронну та магнітну підсистеми. Для досягнення мети було використано цілу низку експериментальних методик: оптичні (люмінесцентна та раманівські спектроскопія, спектроскопія поглинання світла), магнітні (електронний спіновий резонанс, мюонна спінова спектроскопія, вимірювання магнітної сприйнятливості), розрахунок динаміки кристалічної ґратки. **Достовірність** отриманих в роботі результатів підкріплюється комплексним підходом у виборі методів дослідження та відповідного сучасного експериментального обладнання, а також підтверджується узгодженістю з експериментальними даними, що були отримані іншими науковими групами у цьому напрямку та високим індексом цитування в високореєтингових реферованих наукових журналах.

**Структура дисертаційної роботи** О. Ю. Гламазди складається з анотації, вступу, шести розділів, висновків, списку використаних джерел та додатку. Результати дисертації викладено в 23 статтях, які опубліковано в реферованих провідних періодичних фахових видань та 13 тезах доповідей у збірниках праць міжнародних та вітчизняних конференцій.

У **першому розділі** дисертації приведено результати дослідження оптичних та мембранних властивостей фулеренових ( $C_{60}$ ) плівок. В розділі приділяється увага дослідженню впливу фотополімеризації окремих фулеренів в складні структури на їх люмінесцентні властивості. В роботі використовувалась раманівська спектроскопія для аналізу ступеню полімеризації фулеренових плівок. Вперше в низькотемпературних спектрах світіння фотополімеризованих фулеренових плівок було виявлено характеристичну високоенергетичну симетричну смугу поблизу  $14434\text{ см}^{-1}$ , що зникає при полімеризації та

може слугувати якісним показником полімеризації плівки. Ця смуга має пасткове походження і при полімеризації, внаслідок зниження симетрії та енергії власних електронних рівнів фулеренів, відбувається зниження енергії пасток.

**Другий розділ** присвячено дослідженню впливу оточення на фізичні властивості одномірних кристалічних вуглецевих наноструктур - одностінних вуглецевих нанотрубок (ВОНТ). ВОНТ, за рахунок обмеження розповсюдження збудження в радіальному напрямку, може мати електронні властивості притаманні або металу, або напівпровіднику. Для наукових та практичних цілей дуже важливо вміти проводити оцінку впливу оточення на фізичні властивості ВОНТ. Одним з інтересних результатів даного розділу є оцінка впливу температури на раманівські спектри ізольованих ВОНТ, що відокремлюються одна від одної завдяки органічному полімеру ДНК. В раманівських спектрах плівок наногібридів ВОНТ з ДНК виявлено різну температурну поведінку коливальних низькочастотних мод, що належать ВОНТ з металевою та напівпровідниковою провідністю. Відповідна поведінка обумовлена різною електрон-фононою взаємодією.

У **третьому розділі** обговорюються результати впливу упорядкованості ВОНТ в складних наногібридах в полімерних діелектричних матрицях на їх оптичні та електричні властивості. В роботі отримано сітки наногібридів ВОНТ обернутих аніонним полімером та зв'язаних за допомогою катіонного похідного порфірину, що знаходиться між ними. Винайдено перенос енергії між сусідніми ВОНТ та проведено оцінку швидкості перенесення енергії.

В роботі приводяться результати дослідження впливу упорядкованості ВОНТ вздовж обраного напрямку в полімерній матриці на їх болометричні властивості. Показано, що упорядкованість ВОНТ у поєднанні з градієнтним розподілом по товщині плівки значно покращують болометричні характеристики з досліджуваних плівок.

У **четвертому розділі** розглядаються результати дослідження кристалічних шаруватих матеріалів з різним ступенем корельованості електронних підсистем. З найбільш інтересних результатів слід відмітити дослідження шаруватого антиферромагнетика  $\text{PdCrO}_2$  з трикутною кристалічною ґраткою. Ця кристалічна система складається з Pd та CrO<sub>6</sub> шарів, які відповідальні за магнітні та електронні властивості. Дослідження  $\text{PdCrO}_2$ , проведені методом раманівської спектроскопії, електронного спінового резонансу та розрахунку динаміки кристалічної ґратки виявили тісний зв'язок між магнітною, фононою і зарядовою підсистемами.

**П'ятий розділ** присвячено дослідженню шаруватих кристалічних сполук, що мають перовскітну структуру. Перовскітна платформа має широкі перспективи практичного використання в нанофотоніці, оптоелектроніці та фотовольтаїці. На мою думку, з результатів, що приведено в розділі, найбільш цікавими є дослідження невластного гібридного сегнетоелектрику  $\text{Ca}_3\text{Mn}_2\text{O}_7$ . Особливістю цього матеріалу є поява поляризації внаслідок комбінації деформацій кристалічної ґратки, обумовлених обертанням і нахилом октаєдрів (MnO<sub>6</sub>). За допомогою раманівської спектроскопії та розрахунку динаміки кристалічної ґратки було показано конкурентного співіснування деформацій кристалічної ґратки, що належать до параелектричної та сегнетоелектричної фаз при кімнатній температурі.

Квантові спінові драбини є винятковими модельними низькорозмірними системами, що складаються з двох або декількох одновимірних магнітних ланцюгів, та в яких можуть бути виявленні нові стани матерії і складні фазові діаграми. В роботі Гламазди О.Ю. представлено результати комплексних досліджень магнітної системи типу «спінова драбина»  $\text{Ba}_2\text{CuTeO}_6$ , що складається з двох направляючих. Показано, що магнітна система  $\text{Ba}_2\text{CuTeO}_6$  розташовується поблизу так званої квантової критичної точки яка розділяє магнітно-упорядкований стан та спін-рідинний магнітний стан.

У шостому розділі представлено результати дослідження модельних так званих китаєвських матеріалів, що мають стільникову кристалічну структуру:  $\alpha$ - $\text{RuCl}_3$  та двох поліморфних кристалічних структур ( $\beta$ - і  $\gamma$ - $\text{Li}_2\text{IrO}_3$ ). Відомо, що в цих матеріалах може бути виявлено спін-рідинний магнітний стан, для опису якого було запропоновано модель О. Китаєва. В рамках цієї моделі, має бути реалізована фракціоналізація елементарних магнітних збуджень та поява квазічастинок - майоранівських ферміонів. В дисертаційній роботі було виявлено появу майоранівських ферміонів в  $\alpha$ - $\text{RuCl}_3$ , що розповсюджувались в двовимірній площині. Також показано, що в  $\beta$ - і  $\gamma$ - $\text{Li}_2\text{IrO}_3$  майоранівські збудження мають тривимірну природу. Виявлено значний вплив структурних особливостей кристалів на фонону та магнітну підсистему.

Наприкінці кожного розділу дисертації наведено проміжні висновки. Основні результати дисертації приведені наприкінці дисертаційної роботи. Автором сформульовано та обґрунтовано висновки, узагальнення та положення всіх розділів дисертації. Таким чином, особистий внесок дисертанта є визначальним.

Відмічу деякі, найбільш цікаві результати:

- Вперше було створено розгалужені 3D сітки наногібридів вуглецевих нанотрубок з аніонним полімером, які були скоординовані за допомогою катіонного похідного порфірину. Виявлено екситонне перенесення енергії між сусідніми нанотрубками та проведено оцінку швидкості перенесення енергії. Отримані результати мають практичну цінність та можуть бути використані при створенні елементної бази для фотовольтаїки та наносенсорики.
- Вперше показано вплив на болометричні властивості упорядкованості ізольованих вуглецевих одностінних нанотрубок в діелектричних матрицях.
- Вперше за допомогою комбінування спектральних досліджень та розрахунку динаміки кристалічної ґратки показано, що ключову роль у визначенні структурних і електронних особливостей в кисень-дефіцитних похідних перовскітів  $\text{SrMO}_{2.5}$  ( $M=\text{Co}, \text{Fe}$ ) відіграють одновимірні тетраедричні ланцюги.

Певна річ, що така змістовна робота також викликає деякі питання та дає привід для **низки зауважень**.

- У дисертаційній роботі дуже мало відводиться опису експериментальних методів, обладнання, установок, не описуються методи обробки експериментальних результатів, що не дає повноти картини щодо експериментального багажу дисертанта.
- У розділах 2-3 багато пишеться о впливі зовнішнього оточення, перш за все полімерів та органічних молекул, на спектральні властивості вуглецевих матеріалів, але не вказуються які типи взаємодії забезпечують цей вплив та не наводиться порядок величин цих взаємодій, хоча би на основі літературних даних.
- До недоліків дисертаційної роботи слід віднести наявність друкарських описок, що, наприклад, зустрічаються на стор. 9 – «сильнокорельованного», стор. 71 – «підрозділі», стор. 216 «браунміллерити», стор. 294 «майорановські».

Відзначу, що помічені недоліки не знижують значущість наведених експериментальних результатів. Основний здобуток дисертанта є отримання, **вперше**, низки експериментальних результатів по дослідженню взаємозв'язку між структурними змінами та фонною, електронною та магнітною підсистемами в низькорозмірних кристалічних системах. Отримані в дисертації результати є дуже цікавими, а запропоновані в дисертаційній роботі пояснення спостережених експериментальних результатів та сформульовані на їх основі висновки є цілком **обґрунтованими**.

Вважаю, що дисертаційна робота Гламазди О.Ю. є **завершеним трудом**, у якому наведено опис всього наукового процесу від отримання зразків до їх дослідження. До безумовного достоїнства роботи належить віднести отримання фундаментальних експериментальних результатів, які є важливими для фізики твердого тіла. Результати роботи пройшли успішну **апробацію** на міжнародних наукових конференціях як в Україні, так і за кордоном

Підсумовуючи все вищесказане, за актуальністю, новизною, науковим рівнем та обсягом проведених досліджень дисертаційна робота Гламазди О.Ю. **«Низькорозмірні мультифункціональні кристалічні матеріали: вплив структурних особливостей на взаємодію між фононною, електронною та магнітною підсистемами»** повністю відповідає вимогам МОН України до докторської дисертації, зокрема пп.9, 11, 12 «Порядку присудження наукових ступенів», а її автор, Олександр Юрійович Гламазда, заслуговує присудження вченого ступеня доктора фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.07 – фізика твердого тіла.

Офіційний опонент:

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

С. І. Тарапов

Підпис

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

засвідчую:

*Нач. відділу радіофізики та електроніки*



*В. Тарко*