

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

**Тихоненко-Поліщук Юлії Олегівни**

**„Статичні та динамічні магнітні властивості наночастинок  
феритів-шпінелей та заміщених манганітів”**,

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

Нанорозмірні частинки набувають все ширшого практичного значення і знаходять все більше застосувань у техніці, медицині, електроніці та інших галузях. Такий стрімкий розвиток технологій синтезу наночастинок, які володіють різноманітними фізичними властивостями, був би неможливий без новітніх експериментальних методів дослідження і діагностики наночастинок. Серед таких, які були використані і у дисертаційній роботі, можна відмітити, наприклад, просвітлювальну електронну мікроскопію, атомну силову мікроскопію, або ж СКВІД магнітометрію, які сьогодні набули вигляду невибагливих і зручних у користуванні інструментів з надзвичайно високими параметрами роздільної здатності і чутливості. З використанням такого інструментарію сучасний дослідник має можливість експериментально вивчати фізичну поведінку та ефекти в нанорозмірних матеріальних системах, які раніше піддавались лише теоретичному розгляду. У свою чергу, сучасні нанотехнології дозволяють контролювано отримувати матеріальні системи з бажаними і наперед заданими властивостями, що особливо привабливо для практичних застосувань. Так, з'явилася змога отримувати і досліджувати частинки складних магнітних оксидів, які особливо цікаві з наукової точки зору завдяки багатогранній і складній фізиці магнітних ефектів, що виникають за рахунок сильної кореляції між їх структурними, електронними та магнітними підсистемами. Окрім цього, як відмічається і демонструється у дисертації, наночастинки сполук з родини складних магнітних оксидів – ферити-шпінелі та заміщені манганіти – здатні значно покращити функціональність існуючих матеріалів, а також відкрити нові, більш ефективні підходи до вирішення тої чи іншої інженерної задачі. Нетривіальна наука і практична значимість досліджуваних систем наночастинок визначає **актуальність** детального і повноосяжного вивчення властивостей таких нанооб'єктів.

Дисертаційна робота спрямована на вирішення завдань, пов'язаних з такою **науковою проблемою** як з'ясування особливостей та встановлення закономірностей впливу хімічних заміщень і умов синтезу на статичні та динамічні магнітні властивості наночастинок феритів-шпінелей та заміщених манганітів.

З'ясування закономірностей зміни статичних і динамічних властивостей нанорозмірних магнітних систем на основі складних оксидів перехідних та рідкоземельних елементів під впливом хімічних заміщень та різних умов синтезу, що успішно виконується в дисертації, визначає **практичну значимість** результатів і дозволяє використовувати їх для прогнозування поведінки магнітних наночастинок феритів-шпінелей та заміщених манганітів у низькочастотних та високочастотних магнітних полях, а також для розробки наноматеріалів з керованими і відтворюваними магнітними параметрами, перспективних з точки зору застосування у різних технічних та медичних напрямках, зокрема у якості індукторів тепла в медичній гіпертермії, на чому робиться особливий наголос в дисертаційній роботі.

Отримані наукові результати характеризуються всебічним описом завдяки використанню низки *сучасних експериментальних методик*, де поєднуються кристалографічні і морфологічні дослідження з магнітометричними і калориметричними вимірами, які узгоджено доповнюють одна одну в контексті поставлених задач. Системний підхід до вибору об'єктів дослідження, проведення експериментів і аналізу даних забезпечує **новизну** результатів і їх високий науковий рівень.

Дисертація складається з вступу, п'яти розділів, висновків та переліку посилань.

У *першому розділі* автор детально обґрунтовує актуальність вивчення магнітних властивостей досліджуваних наночастинок феритів-шпінелей і заміщених манганітів з точки зору перспективності для медичних застосувань, зокрема, магнітної гіпертермії. Варто відзначити зроблений дисертантом акцент на критеріях застосовності наночастинок в якості індукторів тепла, на основі яких потім робиться порівняльна характеристика отриманих властивостей і параметрів для досліджуваних систем.

У другому розділі коротко описуються методи синтезу магнітних наночастинок, які досліджувалися у роботі, а також експериментальні методики та параметри проведених вимірювань.

У третьому розділі обговорюються результати магнітних квазістатичних та магніто-калоричних досліджень наночастинок феритів-шпінелей чотирьох різних сполук – (Ni, Co, Zn і Mn)Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Завдяки комплексному підходу до експериментального вивчення були отримані ключові фізичні параметри (середній розмір і розкид за розмірами, магнітна сприйнятливість, температура блокування, величина питомих втрат енергії в змінному магнітному полі), що дозволило виконати якісний порівняльний аналіз. У результаті, були отримані добре обґрунтовані висновки щодо підвищення ефективності нагрівання наночастинок ферит-шпінелей, а саме, що величина питомих втрат (SLP) головним чином визначається магнітною сприйнятливістю і температурою блокування. Це дозволило визначити шляхи оптимізації та виконати оцінки параметрів для отримання наночастинок із бажаними властивостями.

У четвертому розділі вивчаються особливості зміни кристалічних, магнітних і теплових параметрів наночастинок заміщених манганітів La<sub>0,7-x</sub>(Nd,Sm)<sub>x</sub>Sr<sub>0,3</sub>MnO<sub>3</sub> в залежності від концентрації легуючих елементів (Nd або Sm). Продемонстровано, що із збільшенням вмісту легуючих елементів температура Кюрі і намагніченість наночастинок зменшується. Показано, що таке зменшення має близький до лінійного характер, якщо частинки синтезовані при високій температурі (1573 K), проте виявляє немонотонний характер, якщо частинки синтезовані при низькій температурі (1073 K). Серед можливих причин останньої тенденції обговорюється неповне упорядкування кристалічної структури та відхилення вмісту кисню від його стехіометричного значення при зміні хімічного складу зразків.

У п'ятому розділі деталізується хід отримання критичного розміру однодоменності з метою виправлення неточностей, що часто зустрічаються у періодичній літературі, а також будується таблиця значень критичного розміру для найбільш поширених феромагнітних частинок. У другій частині розділу розробляється числова модель для аналізу магнітної поведінки наночастинок. Важливими перевагами цієї моделі є можливість врахування впливу температури, а також розкиду за магнітними параметрами, який

завжди притаманний синтезованому ансамблю частинок. Окрім цього, додатково робиться припущення про те, що ансамбль наночастинок складається не лише із сильномагнітних анізотропних частинок, що відповідають за гістерезис в низьких полях, але і містить слабкомагнітні ізотропні частинки, які визначають суперпарамагнітну складову поведінки у високих полях. Справедливість такого підходу було підтверджено досить доброю відповідністю між розрахованими кривими намагніченості і експериментальними даними.

В цілому, можна стверджувати, що в дисертації наведено *низку нових результатів*, які, безперечно, розширюють відповідні уявлення фізики магнітних явищ та будуть сприяти подальшій оптимізації магнітних параметрів наночастинок, а також знаходженню нових типів сполук із покращеною функціональністю в нанорозмірному стані.

Результати дисертації відображені у шести публікаціях у фахових журналах з вагомим авторським внеском дисертанта, пройшли апробацію на вітчизняних та міжнародних конференціях. Автореферат достатньо повно відображає основні результати, отримані в дисертації.

**Серед зауважень можна відмітити наступні:**

1. У роботі аналізуються експериментальні результати, отримані з використанням сучасного обладнання, яке, як це зрозуміло з опису, належить різним дослідницьким групам і знаходиться в різних установах. В дисертації, включаючи розділ 2, де описуються експериментальні методики, читач знаходить лише посилання на роботи із деталями експерименту, тоді як групи і місця, де проводились дослідження, варто було б вказати у самій роботі, що продемонструвало би широку географію і значний масштаб проведених досліджень.

2. Основною системою одиниць, в яких виконана робота, є СГС. У роботі також зустрічаються значення величин, наведених у системі СІ – тоді дисертант додатково в дужках наводить значення і в СГС. Проте, є місця, де цього не пророблено (наприклад, у підрозділах 3.2 і 4.2). Вибір єдиної системи одиниць спростив би сприйняття дисертаційного матеріалу.

3. Подекуди у різних розділах повторюються визначення одних і тих же фізичних величин, наприклад, одна і та ж формула функції Ланжевена

визначається у підрозділі 3.1 (формула (3.1)) та у підрозділі 5.2 (формула (5.31)).

4. Підрозділ 5.1, присвячений дослідженню критерія однодоменності, та підрозділ 5.2, в якому викладено чисельні розрахунки польових і температурних залежностей намагніченості, мають дещо різний предмет досліджень і тому їх варто було б виділити в окремі розділи.

Проте, наявність цих зауважень, на мій погляд, не знижує наукової цінності дисертації, оформлення й зміст якої відповідає вимогам, що ставляться до кандидатських дисертацій. Висновки дисертаційної роботи вважаю обґрунтованими, сама дисертація, на мою думку, вносить суттєвий науковий вклад в розвиток фізики магнітних явищ.

Зважаючи на викладене вище, вважаю, що рецензована робота являє собою систематичне і закінчене наукове дослідження, яке містить актуальні та нові наукові результати, та повністю відповідає вимогам п.п. 9,11,12,13 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою КМУ №567 від 24.07.2013 р. (зі змінами, внесеними згідно з Постановами КМУ №656 від 19.08.2015 р. та №1159 від 30.12.2015 р.) до кандидатських дисертацій, а її автор, Тихоненко-Поліщук Юлія Олегівна, безсумнівно заслуговує присвоєння наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.11 – магнетизм.

Доктор фізико-математичних наук,  
старший науковий співробітник,  
завідувач відділу кристалізації  
Інституту металофізики  
ім. Г.В. Курдюмова НАН України

В.К. Носенко

Підпис В.К. Носенка засвідчую:  
вчений секретар Інституту металофізики  
ім. Г.В. Курдюмова НАН України,  
канд. фіз.-мат. наук



Є.В. Кочелаб