

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу Сови Катерини Юріївни «Електромагнітні властивості магнітних наночастинок в умовах теплових деформацій»,
представлену на здобуття наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 10 –
Природничі науки за спеціальністю 104 – Фізика та астрономія

Нанорозмірні магнітні матеріали, такі як магнітні наночастинки (МНЧ), вже багато років знаходять застосування в різних галузях техніки і медицини, та мають великі перспективи для розвитку майбутніх нових наукових напрямків. Такі перспективи перш за все пов'язані з тим, що при переході до нанорівня в матеріалах можуть виникати нові властивості, які не притаманними макророзмірним матеріалам. Серед перспективних напрямків розвитку нанотехнологій слід відзначити використання МНЧ в квантових перетворювачах мікрохвильового сигналу в оптичний. Таке перетворення є найбільш ефективним в умовах низьких температур (температурі кипіння азоту, температурі кипіння гелію), що має вплив на електромагнітні властивості МНЧ. Наявні на даний момент наукові дані з вивчення такого впливу не є повними і потребують додаткових досліджень, у тому числі у вивчення впливу теплових деформацій на електромагнітні властивості МНЧ. У дисертаційній роботі Сови К. Ю. саме таку тему досліджень було освітлено.

Актуальність теми дисертаційної роботи Сови К. Ю., присвяченої вивченню взаємодії магнітних наночастинок із електромагнітним полем, обумовлена як практичним інтересом, так і важливістю з точки зору фундаментальних досліджень в галузі наноелектроніки та радіофізики. А саме, актуальність полягає в необхідності вивчення впливу теплових деформацій поверхні магнітних наночастинок, перспективних для **практичного** застосування, на їхні електромагнітні властивості та встановлення основних механізмів, відповідальних за ці фізичні процеси.

Метою дисертаційної роботи є встановлення характеру залежностей спектрів феромагнітного резонансу в сантиметровому та міліметровому діапазонах довжин хвиль від теплових деформацій у конгломератах наночастинок та виявлення механізмів, відповідальних за такий характер залежностей. Для досягнення поставленої мети було виконано наступні завдання: розроблено методики експрес-реєстрації та дослідження величини намагніченості та поля насичення конгломератів магнітних наночастинок; розроблено методики реєстрації частотної дисперсії діелектричної проникності суспензії магнітних наночастинок у водному розчині зі стабілізаторами для вивчення впливу стабілізаторів на спектральні властивості наночастинок, виконано експериментальних досліджень спектрів феромагнітного резонансу при кімнатних і низьких температурах для встановлення механізмів впливу температури на сумарне поле магнітної анізотропії наночастинок.

Дисертаційна робота Сови К. Ю. є обґрунтованим, логічно побудованим та завершеним науковим дослідженням, що має традиційну структуру. Вона складається з анотації, вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел і додатку. Додаток містить список публікацій здобувача. Робота викладена на 157 сторінках, що містять 4 таблиці і 48 рисунків. Список використаних джерел налічує 156 найменувань.

У **вступі** висвітлено загальний напрямок досліджень у роботі, обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету, основні завдання дослідження, та наведено наукову новизну і практичне значення отриманих результатів. Також відображено особистий внесок

здобувача, який є визначальним. Приведено інформацію щодо публікацій та апробації результатів досліджень, вказано обсяг та структуру роботи.

У **першому розділі** дисертації було розглянуто сучасні напрямки розвитку технологій, які мають перспективи використання МНЧ. Показано, що значний науковий та практичний інтерес представляють МНЧ зі структурою шпінелі (AFe_2O_4 , $\text{A}=\text{Fe, Zn, Co}$) та перовськіту ($\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$). На основі аналізу літературних даних показано, яким чином магнітні та електромагнітні властивості МНЧ залежать від температури. Проаналізовано вплив немагнітного покриття і методів синтезу на магнітні та електромагнітні властивості МНЧ. На основі аналізу, що було викладено у першому розділі, сформульовано основні завдання роботи.

У **другому розділі** дисертації з метою вивчення характеру змін статичної намагніченості МНЧ для проведення аналізу експериментальних даних резонансного електромагнітного поглинання, було вдосконалено магнітометричні методики та розроблено відповідне лабораторне устаткування. Наведено опис, блок-схеми, принцип роботи та особливості розроблених експериментальних установок для експрес отримання петель магнітного гістерезису матеріалів, включно з МНЧ, які було зібрано на основі вдосконаленої методики. Розглянуто умови реєстрації спектрів феромагнітного резонансу у МНЧ в широкому діапазоні температур і визначено обладнання для реєстрації їхніх спектрів. Описано розроблену методику отримання комплексної діелектричної проникності рідин (в тому числі, нанорідин), та детально розглянуто розроблену на її основі експериментальну широкосмугову коаксіальну комірку.

У **третьому розділі** дисертації представлено результати дослідження впливу температури на електромагнітні властивості МНЧ AFe_2O_4 та $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$, які досліджувались методом електронного спінового резонансу. Показано, що для термооброблених МНЧ Fe_3O_4 змінюється знак сумарного поля магнітної анізотропії при температурі 4,2 К, що є наслідком виникнення поля зовнішніх напружень у поверхневих шарах МНЧ. Низькотемпературні дослідження МНЧ $\text{La}_{0.775}\text{Sr}_{0.225}\text{MnO}_3$ з покриттям SiO_2 показало виникнення поля зовнішніх напружень між ними внаслідок теплових деформацій, спричинених різницею коефіцієнтів розширення двох матеріалів. Наведено аналіз результатів експериментальних досліджень з використанням розробленої методики та створеної експериментальної коаксіальної комірки комплексної діелектричної проникності МНЧ магнетиту (Fe_3O_4) у водних розчинах зі стабілізаторами цитрат натрію та олеат натрію.

Розділи дисертаційної роботи включають відповідні висновки, узагальнюючі результати дисертації наведено наприкінці роботи.

Умови одержання експериментальних даних і наведені експериментальні результати, на погляд опонента, є цілком коректними і **достовірними**. Це підтверджується використанням відомих методів і методик досліджень, відповідного сучасного експериментального обладнання, публікаціями у рейтингових фахових міжнародних журналах, які входять до міжнародних наукометричних баз. Результати, що було наведено в роботі пройшли успішну **апробацію** на міжнародних наукових конференціях в Україні і за кордоном. Тому **обґрунтованість** наукових положень, висновків і рекомендацій сформульованих здобувачем, не викликає сумніву.

У дисертаційній роботі отримано низку **нових наукових результатів**. Серед них можна відзначити **найбільш значущі**:

1. **Вперше** в спечених магнітних наночастинках Fe_3O_4 методом електронного спінового резонансу експериментально зареєстровано залежну від температури конкуренцію між полем зовнішніх напружень та полем диполь-дипольної взаємодії між магнітними наночастинками за внесок у сумарне ефективне поле магнітної анізотропії.

2. Методом електронного спінового резонансу **вперше** експериментально зареєстровано механічні напруження в конгломераті магнітних наночастинок $\text{La}_{0.775}\text{Sr}_{0.225}\text{MnO}_3$, покритих оксидом кремнію. Визначено, що механічні напруження є наслідком теплових деформацій, спричинених різницею коефіцієнтів розширення матеріалу магнітних наночастинок та матеріалу їхніх оболонок.

3. Вивчено частотну дисперсію комплексної діелектричної проникності водних розчинів магнітних наночастинок в діапазоні частот 0,01-40 ГГц і **вперше** показано, що збільшення втрат електромагнітного випромінювання, яке зареєстровано при зниженні частоти до 1 ГГц, обумовлено зростанням провідності наночастинок Fe_3O_4 , диспергованих у водних розчинах зі стабілізаторами.

4. Розроблено методику експрес-реєстрації намагніченості мікро- та наноманетиків, що дозволило: уніфікувати вимірювальну частину експериментальної установки, а також нівелювати паразитні шуми.

Серед **питань і зауважень** до змісту роботи, які варті обговорення, вважаю потрібним відзначити наступне:

- У другому розділі забагато уваги приділяється добре відомим методикам реєстрації електронного спінового резонансу.
- У третьому розділі варто більш широко розкрити питання вибору МНЧ за методами синтезу.
- На мою думку, варто більш широко розкрити питання, чому автор робить висновок про конкуренцію поля зовнішніх напружень з полем диполь-дипольної взаємодії для термооброблених наночастинок магнетиту в магніторезонансних дослідження при температурі 4,2 К.
- На с.109 заявлено, що буде проведено вивчення температурної залежності спектральних особливостей ФМР зі зміною температури, проте далі описуються данні тільки для температури 4,2 К.
- На с. 115 автором приведено таблицю 3.3 – Магнітні параметри зразків. Але в тексті дисертаційної роботи цей матеріал мало обговорюється.
- У третьому розділі бажано б привести більшу кількість низькотемпературних експериментальних досліджень методом електронного спінового резонансу щодо впливу немагнітного покриття з діоксиду кремнію на електромагнітні властивості МНЧ $\text{La}_{0.775}\text{Sr}_{0.225}\text{MnO}_3$.

Варто зауважити, що недоліки роботи не мають принципового характеру і не впливають на її загальну позитивну оцінку.

Відомості про дотримання академічної доброчесності. У дисертації не виявлено текстових запозичень та використання наукових результатів інших науковців без посилань на відповідні джерела.

Приймаючи до уваги вищевикладене, стверджую, що дисертаційна робота Сиви К.Ю. є **завершеною**, самостійно підготовленою кваліфікаційною **науковою працею**, в якій отримані нові науково обґрунтовані та практично цінні результати. В якості основних

переваг даної дисертаційної роботи слід віднести факт отримання фундаментальних експериментальних даних щодо механічних напружень, які є наслідком теплових деформацій, спричинених різницею коефіцієнтів розширення матеріалу МНЧ заміщених стронцієм манганітів лантану та матеріалу їхніх оболонок з діоксиду кремнію.

Вважаю, що за актуальністю, новизною, науковим рівнем та обсягом проведених експериментальних досліджень дисертаційна робота Соби К. Ю. **«Електромагнітні властивості магнітних наночастинок в умовах теплових деформацій»** в повній мірі відповідає вимогам Постанови Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 року № 4 «Про затвердження Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», а її автор, Соба Катерина Юріївна, заслуговує присудження наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 10 – Природничі науки з спеціальністю 104 – Фізика та астрономія.

Офіційний опонент:

доктор фізико-математичних наук,
старший науковий співробітник,
завідувач відділу теорії магнітних явищ
та магнітної динаміки конденсованих середовищ
Інституту магнетизму НАН України



Володимир ГОЛУБ

24.10.2023

Підпис Володимира Голуба засвідчую

Вчений секретар Інституту магнетизму
НАН України та МОН України



Ірина ЦАРАЙ