

РЕЦЕНЗІЯ

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

Магнітні наночастинки (МНЧ) мають ряд специфічних фізичних властивостей, що робить їх перспективним матеріалом для використання в компонентах радіоелектронних пристроїв, які застосовуються в надвисокочастотній (НВЧ) електроніці, телекомунікаційних технологіях. У галузі медицини їх застосування в якості агента радіодіагностики захворювань та адресної доставки ліків до органів і живих тканин відкриває великі можливості. Також існує інтерес до використання МНЧ у квантових технологіях. В такому разі передбачається їх використання при низьких температурах: температурі кипіння азоту і, навіть, температурі кипіння гелію. Тому, подальший розвиток нанотехнологій потребує експериментального дослідження впливу температури на зміни електромагнітних взаємодій у нанорозмірних магнітних матеріалах та виявлення закономірностей і механізмів, відповідальних за ці зміни. Дисертаційна робота Сови К. Ю. саме і присвячена дослідженню впливу теплових деформацій на електромагнітні властивості магнітних наночастинок.

Актуальність теми дисертаційної роботи Сови К. Ю. 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 магніторезонансні властивості та встановленням 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 мети було виконано наступні завдання: розробка методики експрес-реєстрації та дослідження величини намагніченості та поля насичення конгломератів магнітних наночастинок; розробка методики реєстрації частотної дисперсії діелектричної проникності суспензії магнітних наночастинок у водному розчині зі стабілізаторами для вивчення впливу стабілізаторів на спектральні властивості наночастинок, виконання експериментальних досліджень спектрів феромагнітного резонансу при кімнатних і низьких температурах для встановлення механізмів впливу температури на сумарне поле магнітної анізотропії наночастинок. **Достовірність** отриманих у роботі експериментальних результатів підтверджується використанням апробованих методів і методик досліджень та відповідного сучасного експериментального обладнання, використанням реперних зразків в експериментах, порівняльним аналізом з даними, отриманими науковими групами, а також публікаціями у рейтингових фахових міжнародних журналах, які входять до міжнародних наукометричних баз.

Структура дисертаційної роботи Сови К. Ю. складається з анотації, вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел і додатку. Результати дисертації викладено в 7 статтях, які опубліковано в реферованих періодичних фахових виданнях, та 5 тезах доповідей у збірниках праць міжнародних і вітчизняних конференцій.

В першому розділі дисертації було проаналізовано літературні джерела з загальних особливостей МНЧ та напрямків їхнього практичного застосування з метою визначення завдань експериментальних досліджень цієї роботи. Визначено, що наночастинки заміщених стронцієм манганітів лантану ($\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$) та допований магнетит (AFe_2O_4) становлять великий інтерес у вивченні фундаментальних взаємодій електромагнітної енергії з речовиною, а також для прикладного застосування. Проведено аналіз результатів, одержаних різними дослідниками щодо впливу температури і немагнітного покриття на магнітні та електромагнітні властивості МНЧ. Визначено найбільш перспективні МНЧ, зміна електромагнітних властивостей яких становлять інтерес для фундаментальної фізики та практичного застосування. Визначено основні завдання, щодо вирішення методичних та експериментально-фізичних проблем.

В другому розділі дисертації наведено особливості розроблених експериментальних методик експрес-реєстрації статичної намагніченості магнітних матеріалів, в тому числі МНЧ, на основі відомого методу малих збурень. Розглянуто умови та обладнання для реєстрації феромагнітного резонансу у МНЧ в широкому діапазоні температур. Також описано особливості методики вимірювання надвисокочастотної комплексної діелектричної проникності рідин з наночастинками та розроблену на її основі експериментальну коаксіальну комірку для досліджень в широкій смузі частот, в тому числі водних суспензій наночастинок зі стабілізаторами, і описано розроблену на основі методики експериментальну коаксіальну комірку.

У третьому розділі дисертації проведено аналіз результатів експериментальних досліджень надвисокочастотної комплексної діелектричної проникності МНЧ магнетиту у водних розчинах зі стабілізаторами цитрат натрію та олеат натрію, що було проведено з використанням розробленої методики та створеної експериментальної коаксіальної комірки. Методом електронного спінового резонансу було вивчено температурні зміни магнітної енергії магнітних наночастинок AFe_2O_4 (A - Fe, Zn, Co) та $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$. В роботі показано, що термообробка МНЧ Fe_3O_4 привела до зміни знака сумарного поля магнітної анізотропії при температурі кипіння гелію внаслідок виникнення поля зовнішніх напружень у поверхневих шарах МНЧ. Аналіз температурної зміни спектрів феромагнітного резонансу в наночастинках $\text{La}_{0.775}\text{Sr}_{0.225}\text{MnO}_3$ показав, що сумарне поле магнітної анізотропії конгломератів магнітних наночастинок, вкритих діоксидом кремнію, свідчить про виникнення поля зовнішніх напружень між ними внаслідок теплових деформацій, спричинених різницею коефіцієнтів розширення двох матеріалів. В розділі також наведено результати дослідження впливу ліганда Fast Green FCF в різній концентрації на ступінь агломерованості МНЧ.

Кожен розділ дисертаційної роботи має проміжні висновки. Основні результати дисертації наведено наприкінці дисертаційної роботи. Автором сформульовано та обґрунтовано висновки, узагальнення та положення всіх розділів дисертації. Таким чином, особистий внесок дисертанта є визначальним.

Варто відзначити **найбільш інтересні результати**:

- З використанням методу електронного спінового резонансу було вперше експериментально зареєстровано механічні напруги в конгломераті МНЧ $\text{La}_{0.775}\text{Sr}_{0.225}\text{MnO}_3$, вкритих оксидом кремнію. З аналізу отриманих результатів, було визначено, що такі механічні напруги виникають внаслідок теплових деформацій, спричинених різницею коефіцієнтів розширення матеріалу МНЧ і матеріалу оболонки з діоксиду кремнію.

- Автором дисертаційної роботи було розроблено 2 методики експрес-реєстрації петель магнітного гістерезису макро- та наномagnetиків і було запропоновано та використано відповідні експериментальні установки, що вкрай важливо для практичного застосування розробленого обладнання в умовах науково-дослідної лабораторії.

- На основі вже існуючих методик, було розроблено методику реєстрації частотної дисперсії комплексної діелектричної проникності водних розчинів МНЧ зі стабілізаторами в широкому діапазоні частот, та виготовлено експериментальну коаксіальну комірку. Показано, що розроблена методика та виготовлена комірка має низку переваг у порівнянні з вже існуючими методиками і моделями.

• Безперечно, що робота також викликає деякі питання та дає привід для **низки зауважень**.

- У другому і третьому розділах було недостатньо роз'яснено та проаналізовано вибір стабілізаторів для дослідження діелектричної проникності рідин з магнітними наночастинками, в тому числі для їхнього подальшого практичного застосування.
- У третьому розділі бажано б привести більшу кількість експериментальних досліджень діелектричної проникності магнітних наночастинок з різною концентрацією стабілізаторів в рідинах для більш детального обґрунтування інтерпретації отриманих результатів.
- В дисертаційній роботі також спостерігається низка стилістичних помилок та описок. Деякі рисунки з устаткуванням не мають всі відповідні підписи до їхніх структурних елементів. Наприклад, на рисунку 2.13 *в* не зазначено складники резонатора, що вирізняють його від інших.
- Існують певні описки та невідповідності. Так автором використана незрозуміла термінологія, така як, «довжина хвилі коливання» та «швидкість коливання». Крім того, в Розділі «Мета дисертаційної роботи» автор пише про проведені дослідження в сантиметровому та міліметровому діапазонах, а в новизні одержаних результатів подовжує цей діапазон до 0,01 ГГц. Тобто в подальшому треба бути більш пильним при поданні результатів своєї наукової діяльності.

Варто відзначити, що вищенаведені недоліки не знижують наукову та практичну значущість викладених в роботі результатів дослідницької діяльності. Основним досягненням дисертанта є отримання, **вперше**, низки експериментальних результатів з дослідження взаємодії надвисокочастотного електромагнітного поля з магнітними наночастинками за температури кипіння гелію та температури кипіння азоту. Ці результати мають суттєву практичну значущість. Сформульовані на їх основі висновки є цілком **обґрунтованими**. Запропоновані в дисертаційній роботі методики експериментальних досліджень відповідають потрібному рівню достовірності.

Відомості про дотримання академічної доброчесності. Неправомірних запозичень та ознак порушення академічної доброчесності у дисертаційній роботі Сиви К. Ю. не виявлено.

Вважаю, що дисертаційна робота Сиви К.Ю. є **завершеною науковою працею**, в якій наведено повний опис наукового процесу починаючи з розробки та обґрунтування методик закінчуючи їхнім практичним використанням при проведенні досліджень. До безумовної переваги даної дисертаційної роботи варто віднести факт отримання фундаментальних експериментальних результатів, які мають наукову значущість для радіофізики та фізики твердого тіла. Результати, що було наведено в роботі пройшли успішну **апробацію** на міжнародних наукових конференціях як в Україні, так і за кордоном.

Узагальнюючи все вищевикладене, за актуальністю, новизною, науковим рівнем та обсягом проведених експериментальних досліджень дисертаційна робота Соби К. Ю. **«Електромагнітні властивості магнітних наночастинок в умовах теплових деформацій»** повністю відповідає вимогам Постанови Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 року № 44 «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, Сова Катерина Юріївна, заслуговує присудження наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 10 – Природничі науки за спеціальністю 104 – Фізика та астрономія.

Офіційний рецензент:

доктор фізико-математичних наук,
виконуючий обов'язки заступника
директора з наукової роботи
Інституту радіофізики та електроніки
ім. О. Я. Усикова НАН України



Олександр КОГУТ