

РЕЦЕНЗІЯ

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

Наразі нанорозмірні частинки магнітних матеріалів привертають значний науковий та практичний інтерес, як багатообіцяючі матеріали для застосування у техніці та медицині. Серед технологічних напрямків варто відзначити системи магнітного запису, сенсори електромагнітних полів, мікрохвильові елементи і квантові перетворювачі. Однією з проблем квантових перетворень є необхідність мінімізації теплової енергії, що можливо досягнути при низьких температурах. Як наслідок, існує потреба у вивченні електромагнітних властивостей магнітних наночастинок (МНЧ) як при низьких температурах так і при кімнатних. Важливо розуміти, що зміна температури в МНЧ приводить до їхніх теплових деформацій, що породжує додаткові механізми, які впливають на електромагнітні властивості МНЧ. Ці механізми потребують детального дослідження і більш глибокого розуміння фундаментальних процесів взаємодії електромагнітних хвиль з нанорозмірними магнітними матеріалами. Дисертація Сиви К. Ю. саме й присвячена дослідженню впливу теплових деформацій на електромагнітні властивості магнітних наночастинок.

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

У **першому розділі** дисертації було проведено аналіз загальних властивостей магнітних наночастинок з точки зору практичних застосувань в радіофізиці та наноелектроніці на основі

огляду попередніх наукових робіт. Особлива увага приділяється температурній залежності електромагнітних властивостей МНЧ та впливу немагнітного покриття на їхні електромагнітні властивості. Обґрунтовано вибір МНЧ двох типів: заміщених стронцієм манганітів лантану і допованого магнетиту для подальшого дослідження ефекту теплових деформацій. Визначено актуальні наукові завдання, які полягають у важливості вивчення надвисокочастотних властивостей таких МНЧ в широкому діапазоні температур.

У **другому розділі** дисертації запропоновано дві методики експрес-реєстрації петель магнітного гістерезису мікро- та наномагнетиків, включно з МНЧ, на основі метода малих збурень для додаткового аналізу їхніх електромагнітних властивостей. Розглянуто методи та методики реєстрації феромагнітного резонансу у МНЧ в широкому діапазоні температур. Викладено вдосконалену радіоспектроскопічну методику отримання спектрів комплексної діелектричної проникності розчинів, в тому числі водних суспензій наночастинок зі стабілізаторами, та описано розроблену на основі методики експериментальну коаксіальну комірку.

У **третьому розділі** дисертації викладено аналіз результатів експериментальних досліджень методом електронного спінового резонансу температурних змін надвисокочастотних спектрів МНЧ AFe_2O_4 (А - Fe, Zn, Co) та $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$ (з покриттям SiO_2 і без покриття) в широкому діапазоні температур. В розділі також наведено розрахунок частотної дисперсії діелектричної проникності Fe_3O_4 (магнетиту) у водних розчинах зі стабілізаторами (цитрат натрію та олеат натрію) за розробленою методикою з використанням розробленої та виготовленої коаксіальної комірки, що було описано у другому розділі роботи; показано, що збільшення втрат електромагнітного випромінювання при зниженні частоти до 1 ГГц обумовлено зростанням провідності МНЧ магнетиту, диспергованих у водних розчинах зі стабілізаторами.

Кожен розділ дисертації включає в себе висновки за кожним розділом. Основні висновки дисертації наведено наприкінці роботи. В основних висновках сформульовано та обґрунтовано отримані автором результати, узагальнення та положення всіх розділів дисертації. Таким чином, особистий внесок дисертантки є визначальним.

Варто відзначити **найбільш значимі результати**:

- Вперше в термооброблених МНЧ магнетиту методом електронного спінового резонансу експериментально було зареєстровано залежну від температури конкуренцію між полем зовнішніх напружень та полем диполь-дипольної взаємодії між МНЧ за внесок у сумарне ефективне поле магнітної анізотропії.
- Було розроблено методики експрес-реєстрації петель магнітного гістерезису макро- та наномагнетиків і було виготовлено відповідні експериментальні установки: експериментальний магнітометр на основі методу малих збурень і струнний магнітометр, що необхідно для дослідження магнітних властивостей МНЧ.
- Було розроблено методику реєстрації частотної дисперсії комплексної діелектричної проникності водних розчинів МНЧ зі стабілізаторами: цитрат натрію та олеат натрію, в широкому діапазоні частот, для чого було виготовлено експериментальну коаксіальну комірку. Така методика розширює та доповнює дослідження взаємодії між МНЧ.

Звісно, слід відзначити і певні **недоліки**, серед яких зупинюся на наступних:

- Безперечно, дослідження за допомогою розроблених магнітометрів доповнює вивчення електромагнітних властивостей МНЧ, але у тексті не описано можливість роботи магнітометрів при низьких температурах.

- В дослідженнях не вказано межі похибки вимірювань. Зокрема не вказано динамічний діапазон радіочастотної вимірювальної апаратури в дослідженнях частотної дисперсії комплексної діелектричної проникності МНЧ зі стабілізаторами, що не дозволяє оцінити точність отриманих даних.
- В тексті зустрічаються фрази типу «...поблизу ФМР...» де треба писати «... поблизу частот ФМР...». До недоліків дисертаційної роботи слід віднести також наявність стилістичних помилок і описок у тексті.

Однак, вказані недоліки не стосуються принципових висновків і положень, і не знижують наукову та практичну значущість викладених в роботі експериментальних результатів.

Вважаю, що результати дисертаційної роботи Сови К. Ю. є достатньо **обґрунтованими та достовірними**, оскільки вони отримані за допомогою сучасного обладнання експериментальної фізики та співпадають з відомими результатами.

Відомості про дотримання академічної доброчесності. Представлені в дисертаційній роботі Сови К. Ю. результати не порушують правил академічної доброчесності. Запозичені результати інших авторів мають посилання на відповідне першоджерело.

З вищевикладеного можна зробити висновок, що дисертаційна робота Сови К.Ю. є **завершеною науковою працею**, текст роботи викладено гарною науковою мовою, сформульовані в ній експериментальні результати було своєчасно опубліковано в рейтингових фахових виданнях та успішно **апробовано** на конференціях та симпозіумах, які було проведено за темою досліджень. Ці результати є новими і мають як наукову так і прикладну цінність для радіофізики та фізики твердого тіла.

В цілому, дисертаційна робота може бути оцінена, як завершене наукове дослідження, в якому було отримано нові цікаві результати. Ці результати у сукупності сприятимуть у вирішенні задач, пов'язаних з використанням МНЧ, у тому числі, у квантових технологіях перетворення сигналів, методиці адресної доставки ліків до органів і тканин.

Підсумовуючи вищевикладене, за актуальністю, новизною, науковим рівнем та обсягом проведених експериментальних досліджень дисертаційна робота Сови 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:

кандидат фізико-математичних наук,
старший науковий співробітник
відділу радіофізики твердого тіла
Інституту радіофізики та електроніки
ім. О. Я. Усикова НАН України

Н.С.

Сергій НОСАТЮК