

## ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу Соби Катерини Юріївни «Електромагнітні властивості магнітних наночастинок в умовах теплових деформацій», яка подана на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 104 – Фізика та астрономія” (10 – Природничі науки)

Великий інтерес до вивчення фізичних властивостей магнітних наночастинок є зумовленим можливостями їхнього практичного використання в багатьох галузях, зокрема для розробки радіоелектронних компонентів різних пристроїв, що застосовуються в галузі надвисокочастотної електроніки, телекомунікаційних технологіях. Такі можливості пов'язані з фізичними явищами та характеристиками, притаманними нанорозмірним об'єктам, а саме: однодоменність, суперпарамагнетизм, гігантський магнітний опір, підвищена магнітна коерцитивність, та інші. Подальший розвиток нанотехнологій потребує активного експериментального вивчення впливу температури на зміни електромагнітних взаємодій в нанорозмірному магнетизму на рівні та виявлення закономірностей і механізмів, відповідальних за ці зміни. Дисертаційна робота К. Ю. Соби саме і присвячена дослідженню впливу теплових деформацій на електромагнітні властивості магнітних наночастинок.

**Актуальність** теми дисертаційної роботи К. Ю. Соби обумовлена як практичним інтересом, так і важливістю з точки зору фундаментальних досліджень в галузі наноелектроніки та радіофізичної науки в цілому. А саме, вона 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. Ці дослідження обумовлені їхньою **практичною значимістю** та перспективою використання даних наночастинок як магнітоактивних елементів в квантових перетворювачах, в розвитку методики гіпертермії та адресної доставки ліків.

**Метою дисертаційної роботи** є встановлення характеру залежностей спектрів феромагнітного резонансу у 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-ресстрації та дослідження величини намагніченості та поля насичення конгломератів магнітних наночастинок; розробка методики ресстрації 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 та 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** К. Ю. Соби складається з анотації, вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатку. Результати дисертації



викладено в 7 статтях, які опубліковано в реферованих періодичних фахових виданнях та 5 тезах доповідей у збірниках праць міжнародних та вітчизняних конференцій.

В першому розділі дисертації було проаналізовано літературні джерела за темою досліджень. Проведено аналіз результатів, одержаних іншими дослідниками та науковими групами щодо впливу низьких температур на електромагнітні властивості магнітних наночастинок. Проаналізовано, які саме властивості магнітних наночастинок потребують додаткового експериментального дослідження, які необхідні дисертантки для виконання основних завдань дисертації.

В другому розділі дисертації запропоновано дві модифіковані методики експрес-реєстрації петель магнітного гістерезису макро- та наноманетиків, включно з магнітними наночастинок, що базуються на методі малих збурень з використанням зовнішнього змінного магнітного поля. Наведено особливості розроблених і вдосконалених методик для магнітометричних досліджень, дослідження дисперсійних характеристик матеріальних параметрів магнітних наночастинок методами надвисокочастотної радіоспектроскопії. Описані особливості методики вимірювання надвисокочастотної комплексної діелектричної проникності рідин з наночастинок та розроблену на її основі експериментальну коаксіальну комірку для досліджень в широкій смузі частот. Показано критерії застосовності методики надвисокочастотного електронного спінового резонансу з використанням векторного аналізатора кіл для досліджень в рамках дисертаційної роботи. Продемонстровано умови одержання необхідного рівня достовірності результатів проведених експериментальних досліджень.

У третьому розділі дисертації проаналізовано результати експериментальних досліджень надвисокочастотної діелектричної проникності наночастинок  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  у водних розчинах зі стабілізаторами, які було проведено з використанням розробленої методики та створеної експериментальної комірки. Вивчено температурні зміни магнітної енергії наночастинок  $\text{AFe}_2\text{O}_4$  (A - Fe, Zn, Co) та  $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$ . Автором було показано, що термообробка наночастинок  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  спричинила зміну знака сумарного поля магнітної анізотропії при температурі кипіння гелію внаслідок виникнення поля зовнішніх напружень у поверхневих шарах наночастинок. Аналіз температурної зміни спектрів феромагнітного резонансу в наночастинок  $\text{La}_{0.775}\text{Sr}_{0.225}\text{MnO}_3$  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.

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:

- Дисертантка за час виконання дисертаційної роботи розробила 2 методики експрес-реєстрації петель магнітного гістерезису макро- та наноманетиків та виготовила відповідні експериментальні установки, що на теперішній час є досить рідкісним явищем. Відзначаю також як позитивний момент детальний опис використаних експериментальних установок та наведений ілюстративний матеріал для пояснення їхнього функціонування.



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

- Використання діаманітного покриття магнітних наночастинок для зміни диполь-дипольної взаємодії між такими наночастинами. Завдяки зміні товщини такого покриття (з органічних та неорганічних матеріалів) збільшується відстань між наночастинами і за рахунок цього дисертантка регулювала диполь-дипольну взаємодію між ними.

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

- У дисертаційній роботі дуже багато часу відводиться опису експериментальних методів, обладнання, установок, але не описуються методи обробки експериментальних результатів, що не дає повноти картини щодо експериментального багажу дисертанта. Як вже було відзначено, дисертантка розробила 2 методики отримання та виготовила відповідні експериментальні установки, але в дисертації не зовсім чітко вказано для яких зразків вони були використані в дисертації, а також не виконаний порівняльний аналіз їх характеристик.
- У другому та третьому розділах бажано б провести спроби реєстрації комплексної діелектричної проникності водних розчинів стабілізаторів з більшим різноманіттям магнітних наночастинок.
- У третьому розділі багато пишеться про внески полів анізотропії в сумарне поле анізотропії, але недостатньо проаналізовано кількісний вклад кожного з цих полів, хоча би на основі літературних даних.
- До недоліків дисертаційної роботи слід віднести також наявність стилістичних помилок та описок в тексті, наприклад на сторінці 120 написано «видалення продуктів синтезу»; на сторінці 103 не вказується в залежності від чого спостерігається монотонне зниження значень діелектричної проникності всіх розчинів у вимірюваному діапазоні. Вочевидь це спостерігається з ростом частоти. На сторінці 134 не вірно вказано температурний діапазон 77-300 К, щодо експериментальних залежностей, які змінюються незначно у межах похибки вимірювання. Згідно рисунку 3.20 цей діапазон температур є 77-230 К. Крім того у тексті дисертації не має нумерації сторінок.

Відзначу, що помічені недоліки не знижують значущість наведених експериментальних результатів. Основний здобуток дисертанта є отримання, **вперше**, низки експериментальних результатів по дослідженню взаємодії надвисокочастотного електромагнітного поля з магнітними наночастинами за температури кипіння гелію та температури кипіння азоту. Отримані в дисертації результати є корисними та сформульовані на їх основі висновки є цілком **обґрунтованими**. Запропоновані в дисертаційній роботі методики експериментальних досліджень відповідають потрібному рівню достовірності.

Вважаю, що дисертаційна робота Сиви К.Ю. є **завершеним трудом**, у якому наведено опис всього наукового процесу від розробки та обґрунтування методик до їхнього використання при дослідженнях. До безумовного достоїнства роботи належить віднести отримання фундаментальних експериментальних результатів, які є важливими для

радіофізики та 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 Сиви К.Ю. «Електромагнітні властивості магнітних наночастинок в умовах теплових деформацій» повністю відповідає вимогам МОН України до дисертації на здобуття ступеня доктора філософії, зокрема пп.9, 11, 12 «Порядку присудження наукових ступенів», а її автор, Сива Катерина Юріївна, заслуговує присудження вченого ступеня доктора філософії за спеціальністю – 104 “Фізика та астрономія” (10 – Природничі науки).

Офіційний опонент:

член-кореспондент НАН України,  
доктор фізико-математичних наук,  
професор, завідувач відділу Молекулярної біофізики,  
Фізико-технічного інституту низьких температур  
ім. Б. І. Веркіна НАН України

*B. O.*

В. О. Карачевцев

*Підпис В. О. Карачевцева засвідчую.*

*Заступник директора з наукової роботи  
ФТІНТ ім. Б. І. Веркіна НАН України*

*Добин О.В.*

