

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертацію Вакули Артура Сергійовича
“Електромагнітні властивості наномагнетиків у сантиметровому та
міліметровому діапазонах довжин хвиль”,
яка представлена на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-
математичних наук за спеціальністю 01.04.03 – радіофізика

Експериментальні та теоретичні дослідження фізичних явищ, які мають місце при взаємодії електромагнітного випромінювання з матеріальними середовищами є важливим і актуальним напрямом у сучасній радіофізиці. Особливий інтерес представляють нові дослідження, в руслі нанофізики, зокрема, дослідження електромагнітних явищ в середовищах, які складаються з магнітних нанооб’єктів, оскільки вони мають риси суттєво відмінні від рис, притаманних суцільним середовищам і достатньо широкі перспективи практичних застосувань.

Дисертаційна робота Вакули А.С. присвячена важливій проблемі сучасної радіофізики – дослідженню таких фізичних об’єктів, як магнітні наноматеріали, методами радіоспектроскопії.

Актуальність теми дисертації впливає з того, що в ній зроблено акцент на вивченні методами магнітного резонансу наномагнетиків, які є перспективними матеріалами для застосування в наноелектронних пристроях гігагерцового і терагерцового діапазонів, біології та медицині.

Логічним і актуальним є те, що автор роботи зосередився на вивченні магнітно-резонансних властивостей наномагнетиків в сантиметровому і міліметровому діапазоні довжин хвиль, як при кімнатних температурах, так і при низьких. При дослідженнях автор цілком закономірно спирається на той факт, що в нанорозмірних магнітних матеріалах принципово важливу роль грають поверхневі ефекти, які суттєво впливають на їхні магнітні, пружні та магнітопружні властивості.

Головний акцент зроблено на експериментальному дослідженні спектрів феромагнітного резонансу, які суттєво залежать від розмірних параметрів, хімічного складу і методу синтезу наномагнетиків.

Робота Вакули А.С. виконувалась в Інституті радіофізики та електроніки ім. О.Я.Усикова НАНУ у рамках держбюджетних науково-дослідних робіт «Вивчення взаємодії електромагнітних та звукових хвиль, а також заряджених часток з твердотільними структурами» (№ держреєстрації 0112U000211) та «НВЧ – спектроскопія суспензії магнітних нанопорошків з органічними рідинами» (№ держреєстрації 0115U005233).

Дисертація Вакули А.С. загальним обсягом у 134 стор. складається з основного тексту, що містить 42 рисунки та списку 107 джерел використаної літератури. Текст дисертації містить перелік умовних позначень, вступ, три розділи та висновки.

У **вступі** викладені тема та мета досліджень, обґрунтована їхня актуальність, проаналізовано зв'язок роботи з програмами наукових досліджень України, описані методи досліджень, наведені отримані наукові результати, доведена їхня наукова новизна та практичне значення, охарактеризовані публікації та висвітлена апробація результатів дисертації.

У **першому розділі** роботи наведено обґрунтування вибору об'єктів дослідження. Проведено аналіз впливу різних факторів на магнітні властивості наномагнетиків і спектри ФМР/ЕПР.

У **другому розділі** представлено опис теоретичної моделі, на основі якої досліджуються магнітно-резонансні властивості наномагнетиків. Модель спирається на рівняння Ландау-Ліфшиця і Блоха. Далі модель використана в комп'ютерній програмі, за допомогою якої отримані часові залежності магнітної сприйнятливості. Показано, що еволюція в часі уявної частини магнітної сприйнятливості відбувається за схожим сценарієм як для ФМР, так і ЕПР. Наведені відповідні графіки. Проведено порівняння теоретичних і експериментальних результатів.

Окремо розглянута модернізація експериментальної установки, яка дозволила збільшити чутливість вимірювального обладнання.

У **третьому розділі** наведено результати дослідження спектрів ФМР в наноплівках пермалою та зразках з різними наночастинками. Дана інтерпретація спектрів на основі формули Кіттеля.

Значну увагу приділено дослідженням суспензій з наночастинками, та масивів нанодротів. Представлені результати вимірів спектрів ФМР та ЕПР в діапазоні частот та при температурах 4,2 К та 300 К. Показано, що спектри залежать від технології синтезу наночастинок.

До результатів, які мають **наукову новизну**, можна віднести такі:

1. Числову модель формування ліній феромагнітного і електронного парамагнітного резонансів та порівняльний аналіз їх формування. Демонстрацію того, що лінії ФМР і ЕПР можна вважати сформованими за час, що на два порядки менше часу встановлення стаціонарного стану прецесії магнітного моменту.
2. Експериментальне дослідження спектрів феромагнітного резонансу у магнітних наночастинках, які знаходяться в суспензії з багатоатомними спиртами. Виявлення впливу на спектри зміни середньої відстані між магнітними наночастинками.

4. Експериментальне встановлення механізмів, відповідальних за частотний зсув лінії феромагнітного резонансу у масивах нанодротів різного складу зі зміною температури.

5. Експериментальне визначення незалежності ширини лінії феромагнітного резонансу в наночастинках Fe_3O_4 , синтезованих кріохімічним методом, від температури в широкому діапазоні температур, на відміну від наночастинок, які синтезовані іншими методами.

Крім того, автором удосконалено методику реєстрації спектрів феромагнітного і електронного парамагнітного резонансів в наномагнетиках у міліметровому та сантиметровому діапазонах довжин хвиль.

Оцінка обґрунтованості наукових досліджень у дисертаційній роботі та **достовірності результатів** впливає, в першу чергу, з того, що в дисертаційній роботі дослідження проведені не тільки експериментально, але і теоретично. Результати досліджень Вакули А. С. підтверджені науковими публікаціями в спеціальних виданнях, і представлені доповідями на міжнародних наукових конференціях. Всі положення наукової новизни підкріплені статтями в фахових виданнях, одна з яких опублікована в рейтинговому міжнародному журналі. Аналіз експериментальних результатів спирається на достатньо прості перевірені теоретичні моделі, підкріплюється посиланнями на статті у вітчизняних і зарубіжних виданнях.

Практична цінність наукових результатів дисертаційної роботи полягає в тому, що розроблено числову модель, за допомогою якої визначено особливості формування феромагнітного і парамагнітного резонансів в наномагнетиках. Таке дослідження є важливим для розуміння часових характеристик феромагнітного і парамагнітного резонансів, а також для розробки швидкодіючих електронних пристроїв на основі наномагнетиків.

Автором дисертаційної роботи, Вакулою А. С., модернізована установка з дослідження електронного парамагнітного і феромагнітного резонансів. Це в значній мірі поліпшило її технічні характеристики. Завдяки чому, як зазначає автор дисертаційної роботи, стало можливим досліджувати на установці наномагнетики (наноплівки, нанодроти і наночастинки).

Повнота викладення матеріалу та його відповідність до публікацій.

Всі результати дисертаційної роботи Вакули А. С. підтверджено публікаціями, що опубліковані в провідних фахових та зарубіжних виданнях з радіофізики. Серед видань можна виділити такі журнали «Journal of Magnetism and Magnetic Materials», «Telecommunications and Radio Engineering», «Радиотехника», «Радиофизика и электроника». Всього 8 статей за темою дисертації. Результати, що опубліковані в 10 тезах, доповідались та обговорювались на міжнародних конференціях.

Усі публікації автора увійшли до списку використаних джерел та мають посилання у тексті дисертації. Зміст автореферату відповідає змісту дисертації.

Зауваження та помічені недоліки у текстах автореферату та дисертації.

1. Немає чіткого відокремлення оглядового матеріалу від оригінального. Розділи 1,2,3 частково наповнені оглядовим матеріалом.

2. В дисертації відсутні посилання на дослідження аналогічних наноматеріалів методом Брілюєнівського розсіювання світла (див., наприклад, G.P. Golovach at all. JMMM. 382 (2015) 253-264), порівняння методик, аналіз недоліків і переваг.

3. При інтерпретації експериментальних результатів застосовані найбільш прості моделі на рівні теорії ФМР Кіттеля, які звужують розуміння магнітних властивостей наномагнетиків і зменшують глибину інтерпретації спектрів магнітних збуджень.

4. Твердження про те, що на спектри ФМР суспензії з магнітними наночастинками має вплив обмінна взаємодія бездоказове і суперечить тому факту, що обмінна взаємодія має місце на відстанях порядку постійної ґратки нанокристалу.

5. Є певні розбіжності між тим, що написано в оригінальних статтях та дисертації і авторефераті. Це стосується назв рівняння руху для намагніченості, звукової карти.

6. Є деякі стилістичні та лексичні помилки. Це стосується назви підрозділу 1.3, вживання терміну «ланцюг» замість «коло» та інше. Крім того, в дисертації досить багато описок.

Перераховані недоліки не ставлять під сумнів достовірність наукових результатів, отриманих Вакулою А. С., і не псують позитивного враження від роботи. Всі результати, відображені в дисертаційній роботі, є науково обґрунтованими і корисними.

Загальний висновок.

Зміст автореферату та дисертації повністю відповідають спеціальності 01.04.03 – радіофізика. В дисертаційній роботі розв'язана актуальна задача з дослідження електромагнітних властивостей наномагнетиків у сантиметровому та міліметровому діапазонах довжин хвиль. Отримані цікаві результати по теоретичному та експериментальному дослідженню спектрів феромагнітного резонансу в наномагнетиках для сантиметрового та міліметрового діапазонів довжин хвиль.

В цілому про роботу можна сказати, що вона за змістом та необхідним оформленням задовольняє вимогам, які пред'являє Міністерство освіти та науки України до кандидатської дисертації, а її автор **Вакула Артур Сергійович** заслуговує присудження наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.03 – радіофізика.

Офіційний опонент,
доктор фізико-математичних наук, професор,
професор кафедри квантової радіофізики
Київського національного університету
імені Тараса Шевченка

Зав

І.В.Зависляк

05.10.2017р.



*Підпис І.В. Зависляк
свертожую.
Перший проректор*

О. К. Закуцко