

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Бондаренка Артема Васильовича

«Нелінійна динаміка сильно зв'язаної пари вихорів»,

подану на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю **01.04.02 – Теоретична фізика**

Дисертаційна робота Бондаренка А.В. присвячена теоретичному дослідженню нелінійного відгуку пари магнітних вихорів в сильно зв'язаних нанодисках пермалою. Важливість обраної теми дисертаційної роботи обумовлена тим, що в провідних лабораторіях світу активно розробляються нанорозмірні високочастотні генератори на основі вимушених коливань намагніченості наночастинок під дією спінового струму, причому найбільшу добротність демонструють прилади, в яких активний елемент містить вихрову магнітну текстуру. Для наноосциляторів на основі одного магнітного вихора характерні частоти коливань лежать в області декількох сотень мегагерц. Використання вихрових пар з сильною взаємодією дозволяє на порядок збільшити власні частоти, даючи доступ до гігагерцової області спектру, що є важливим для практичних застосувань. Таким чином, досліджувана в роботі проблема викликає значний інтерес як з точки зору фундаментальної науки, так і з практичного боку. Зважаючи на це, можна впевнено стверджувати, що тема дисертаційної роботи Бондаренка А.В.. є безумовно актуальною.

Результати роботи є обґрунтованими та достовірними, оскільки всі розрахунки в роботі проведені на основі добре апробованих теоретичних підходів, адекватних математичних моделей та методів чисельного моделювання.

Основні результати дисертаційної роботи є цілком новими. Одним з найважливіших нових результатів є вперше показане дисертантом існування керованої зовнішнім магнітним полем бістабільності в системі сильно зв'язаної вихрової пари (материал, викладений в розділі 3). Також в роботі показано, що застосовуючи короткі (порядку наносекунд) високочастотні імпульси магнітного поля амплітудою лише в декілька десятків ерстед, можна надійно контролювати перемикання системи між двома станами, що є цікавим і важливим з точки зору застосувань вихрових пар як елементів пам'яті. Дисертантом детально досліджений вплив параметрів імпульсу (форми, амплітуди, частоти) та температури (теплових флюктуацій) на процес перемикання. При цьому знайдені дуже красиві фізичні ефекти: сильна залежність частотної смуги перемикання від амплітуди імпульсу, і поява хаотичного режиму динаміки вихрової пари. Особливо цікавим є проведений в роботі аналіз хаотичного режиму, оскільки питання про появу динамічного хаосу в механічних системах з декількома ступенями свободи є важливим не тільки з точки зору фундаментальної теорії, але і для застосувань (автоматичне шифрування сигналів з високим ступенем надійності), а складність чисельного моделювання таких режимів є свідченням високого рівня математичної підготовки дисертанта. Важливим результатом роботи є те, що класичний сценарій переходу до хаотичного режиму через каскад

подвоєнь періоду реалізується вже при досить малих амплітудах поля накачування, близько 10 - 20 Ерстед, і в реалістичному для сучасних систем телекомунікацій частотному діапазоні порядка 1-2 ГГц. Як окрему перевагу дисертаційної роботи слід відзначити, що цей теоретичний результат **вже підтверджений експериментально**, більше того, **наведений в роботі теоретичний аналіз відігравав істотну роль при плануванні експериментів**, зокрема, при визначенні типів і частот використовуваних імпульсів.

Не менш цікавими є результати дослідження статичних та динамічних властивостей даної системи при наявності дефектів, викладені в розділі 4 роботи. Дисертантом розглянуті різні типи неідеальності зразків (локальні неоднорідності намагніченості або товщини магнітних шарів, асиметрії товщин шарів або полів зсуву) і проаналізований їхній вплив на вимірювані в експерименті величини. Аналіз показав, що такі дефекти можуть змінювати не тільки потенціал піннінга вихрових ядер, але і таку суто динамічну характеристику вихора, як гіроконстанта. В результаті аналізу вдалося зробити висновок про характер дефектів, наявних в експериментальних зразках, а саме, виявилося, що результати вимірювань узгоджуються лише з припущенням, що роль дефекта відіграє локальна неоднорідність товщини одного з нанодисків. Варто зазначити, що ці результати є **практично важливими** не тільки з точки зору інтерпретації експериментальних даних; фактично, в даній роботі запропоновано простий неруйнівний метод контролю нанорозмірних зразків феромагнетиків.

Зважаючи на наведене вище, є всі підстави стверджувати, що в дисертаційній роботі Бондаренка А.В. **розв'язана важлива наукова задача, що має істотне значення для теоретичної фізики наномагнітних матеріалів**. Основні результати дисертації опубліковані у п'яти статтях в провідних міжнародних фахових наукових виданнях, апробовані у вигляді доповідей на чотирьох міжнародних наукових конференціях. Автореферат адекватно та повно відбиває зміст дисертаційної роботи, яка відповідає спеціальності 01.04.02 – теоретична фізика. Перелік цитованих джерел є досить вичерпним, а самі посилання у тексті є доречними і акуратними.

Разом з тим, дисертаційна робота Бондаренка А.В. **не є вільною від низки недоліків в оформленні**. Зокрема, можна зауважити, що

- на стор.2 говориться, що вихори мінімізують зовнішнє магнітне поле – певно, мається на увазі все ж таки внутрішнє поле;
- у формулі (1.2) перед комутатором повинен бути знак «мінус»;
- у формулі (1.12) невірний степінь відстані в знаменнику (2 замість 3);
- на стор.21 міститься зауваження про існування області біля ядра, де $m_z < 0$, яке жодним чином не обґрунтовується і не пояснюється в тексті;
- в формулі (1.40) пропущений знак похідної по часу;
- після формул (1.44), (1.45) немає пояснення, що таке величина L; якщо це довжина великої осі еліпса, то чому у виразі не входить параметр форми еліптичної частинки (відношення довжин осей);
- на стор.19, 28, 33, 97 є пропущені посилання;
- на стор.92 слово «наших» стосовно посилання на роботу [92] є недоречним;

- на стор. 94 при підгонці експериментальних даних до моделі (4.15) не коментується, чи результати підгонки на Рис. 4.7(а) і (б) відповідають одним і тим самим значенням інших параметрів моделі (τ_A і k);
- в підписі під Рис.2.9 не вказані значення полів накачки, в підписі під Рис.2.10 не вказані інші параметри, при яких розв'язувалася система (2.15);
- в формулі (4.3) не розшифровано, що таке X_{bot} ;
- текст роботи рясніє великою кількістю орфографічних та граматичних неохайнностей.

Хочу підкреслити, що відзначенні вище недоліки **не впливають на загальну позитивну оцінку наукового рівня дисертації** Бондаренка А.В. Оцінюючи дисертацію в цілому, вважаю, що за актуальністю тематики, новизною одержаних результатів, їхнім науковим і практичним значенням дисертація Бондаренка А.В. **цілком задовольняє чинним вимогам до кандидатських дисертацій**, а її автор, Бондаренко Артем Васильович, без сумніву, заслуговує на присудження йому **наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.02 – теоретична фізика**.

Офіційний опонент
доктор фізико-математичних наук,
старший науковий співробітник,
професор кафедри теоретичних основ
високих технологій Інституту
високих технологій Київського
національного університету імені
Тараса Шевченка

Alexei Kolozsuk

Колежук О. К.

Підпис Колежука О. К. засвідчує:
Директор Інституту високих
технологій Київського Національного
Університету імені Тараса Шевченка



B.B.Ільченко