

Відгук

офіційного опонента на дисертаційну роботу В.В. Реви "СТАТИСТИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ СИСТЕМ ФЕРОМАГНІТНИХ НАНОЧАСТИНОК З ВМОРОЖЕНИМИ МАГНІТНИМИ МОМЕНТАМИ", представлена на здобуття вченого ступеня кандидата фізико-математичних наук із спеціальності 01.04.02- теоретична фізика.

Дисертаційна робота В.В. Реви присвячена теоретичному дослідженю поведінки феромагнітних наночастинок у рідині під впливом зовнішніх періодичних магнітних полів. Зокрема, у роботі вивчається вплив температури, концентрації наночастинок, міжчастинкової взаємодії, різних характеристик магнітного поля та теплового шуму на потужність втрат енергії змінного магнітного поля в системі наночастинок. Сучасна тенденція прикладної фізики на мініатюризацію вимагає розробку технічних рекомендацій для контролюваної зміни характеристик композитних матеріалів шляхом введення до них наночастинок. Таким чином, робота В.В. Реви, яка детально досліджує теплові та магнітні характеристики ансамблю наночастинок на змінне зовнішнє поле, є безумовно актуальною. Більш того, автором була розроблена процедура оптимізації чисельного моделювання поведінки взаємодіючих ансамблів наночастинок без залучення суперком'ютерів та кластерів, що є актуальною проблемою з огляду на обмежену доступність до суперком'ютерів.

У роботі представлені чисельні та аналітичні розрахунки, які базуються на методі рівнянь Ланжевена для опису динаміки феромагнітної наночастинки, методі молекулярної динаміки, рівнянні Фоккера-Планка та різних алгоритмів оптимізації чисельних обчислень. *Достовірність та обґрунтованість результатів дисертації* В.В. Реви забезпечується використанням добре апробованих методів теоретичної фізики та чисельного моделювання. Також слід відмітити, що зокрема в третьому розділі проводиться детальне порівняння аналітичних та чисельних результатів для взаємодії наночастинок з зовнішнім магнітним полем. Результати дисертації добре апробовані на міжнародних конференціях та спеціалізованих семінарах. Автор дисертації особисто презентував результати дослідження на більшості конференцій, що безумовно підтверджують його *особистий внесок* до дисертації.

Високий науковий рівень проведених досліджень підтверджується високим рівнем публікацій у провідних міжнародних журналах, серед яких Computer Physics Communications (імпакт фактор 3.3) та Physical Review E (імпакт фактор 2.3).

Слід відзначити на мій погляд найбільш важомі *результати* дисертації:

- Побудована теоретична модель для опису ансамблю наночастинок з урахуванням їх взаємодії між собою за наявності зовнішніх магнітних полів. Отримані аналітичні вирази, що описують рух наночастинок у в'язкій рідині. Встановлений взаємозв'язок між траекторією руху наночастинок та амплітудою і частотою зовнішнього періодичного магнітного поля. Проаналізовано випадки різних типів поляризації та діапазонів амплітуди і частоти поля. Встановлені межі реалістичності цієї моделі для практично значимих випадків
- Визначені потужності втрат енергії змінного магнітного поля в системах наночастинок, розподілених у рідині. Проаналізовані температурні залежності потужності втрат для різних частот та амплітуд поля: показано, що теплові коливання нелінійно знижують втрати потужності на невеликих частотах.
- Досліджений вплив теплового шуму та дипольної взаємодії на енергію змінного поля, яку поглинає ферорідина. Встановлено, що в системі можлива конструктивна роль шуму, яка полягає у збільшенні енергії, яка поглинається зі зростанням температури внаслідок руйнування впорядкування у кластерах наночастинок та переходу окремих наночастинок з одного квазі-рівноважного стану до іншого.
- Розвинений метод чисельного моделювання взаємодіючих ансамблів із шумом. Отримані залежності швидкості дрейфу феромагнітних наночастинок від розміру наночастинок, початкової фази змінного поля, що діє на наночастинку, та температури. Показано, що зміна температури призводить до зміни напрямку дрейфу наночастинок на протилежний.

Отримані в дисертації результати є новими, що переконливо обґрунтовано у детальному огляді існуючих в літературі різних чисельних та аналітичних методів опису взаємодіючих ансамблів за умови наявності зовнішніх полів.

Наукове та практичне значення отриманих в дисертації результатів достатньо вагоме. Зокрема, теоретично досліджений в дисертації ефект зміщення частинок силою Магнуса може реалізовувати спрямований транспорт частинок. Цей ефект може бути використаний для сепарації частинок, оскільки величину швидкості дрейфу та напрямок дрейфу можна керувати зовнішніми параметрами. Про наукову важливість оптимізації чисельних розрахунків без залучення суперкомп'ютерів вже зазначалося вище.

По роботі можна зробити наступні зауваження:

- В авторефераті написано, що «тепловий шум може збільшувати швидкість обертання» і показаний Рис. 2(б), де при $\kappa \rightarrow \infty$ досягається максимальне значення кутової швидкості. Водночас параметр $\kappa = mH / k_B T$ означений як відношення магнітної та теплової енергій. Таким чином здається, що при

зменшенні температури збільшується тепловий шум. Це потребує фізичного пояснення.

2. На Рис. 4.8. (стор. 126 дисертації) показані три залежності втрат потужності від частоти, розраховані для об'ємних концентрацій у 1%, 3%, та 5%. У поясненні до цього рисунку зроблений висновок, що для даного випадку збільшення об'ємної концентрації частинок призводить до зменшення втрат потужності. Однак, крива з 1% сильно відрізняється від кривих 3% та 5%, в той час як 3% та 5% майже співпадають одна з одною. Цей висновок був би більш очевидний, якби на Рисунку 4.8 була б показана ще й крива для 10%, тим паче, що концентрація 10% вже досліджувалась вище, як наприклад на Рис. 4.1.
3. В авторефераті написано, що «Якщо взаємодія між частинками в кластерах сильна, для перемагнічування всього кластера потрібне сильне поле, і, як наслідок, петля гістерезису розширяється див. рисунок (4) (б).» і дається посилання на Рис.4 (б), де показані частотні залежності втрат потужності для різних концентрацій. Зовсім незрозуміло як з частотної залежності втрат потужності можна побачити розширення петлі гістерезису, якої на рисунку немає.
4. Останнє зауваження стосується оформлення автореферату, досить незвично бачити автореферат без списку використаних джерел. Відсутність такого списку звужує коло читачів, якім цей реферат буде зрозумілим.

Зроблені зауваження істотно не впливають на позитивну оцінку дисертаційної роботи В.В. Реви «Статистичні властивості систем феромагнітних наночастинок з вмороженими магнітними моментами». Дисертаційна робота відповідає вимогам до кандидатських дисертацій, а її автор, В.В. Рева, заслуговує на присудження йому наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.02 – теоретична фізика. Автореферат та опубліковані наукові праці достатньо повно відображають зміст дисертації.

Офіційний опонент,
доктор фіз.-мат. наук,
провідний науковий співробітник
Інституту магнетизму НАН України та МОН України

А.О. Косогор

Підпис А.О. Косогор засвідчує,
Вчений секретар Інституту магнетизму
НАН України та МОН України,
кандидат фіз.-мат. наук



А.О. Хребтов