

## ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу Бадалян Анни Юріївни «**Формування та режими руху ансамблів наночастинок в рамках статистичної теорії**», поданої на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.07 – фізика твердого тіла

**Актуальність теми дисертації.** На даний час дослідженню структури і властивостей наночастинок та систем нанорозміру приділяють велику увагу. Це пов'язано з виявленням нових унікальних властивостей, що робить їх використання надзвичайно перспективним у новітніх нанотехнологіях. Сучасні дослідження показують, що властивості наноструктур визначаються не тільки розмірами кластерів або наночастинок, але й способами їх організації. З огляду на практичне застосування, особливе місце серед систем подібного типу займають металеві наночастинок. Вони можуть об'єднуватися в ансамблі контрольованого розміру та форми, з певним типом взаємодії, що забезпечує можливість використання унікальних нанорозмірних властивостей. Тому проблемам, які підняті у дисертаційній роботі Бадалян А.Ю., а саме отримання ансамблю наночастинок різного розміру і форми, контролю їх руху та властивостей, а також особливостям їх самоорганізації останнім часом приділяється багато уваги. Ансамблі наночастинок можуть знайти широке застосування в медицині, оптиці, електроніці, сенсорних пристроях, тощо, тому актуальність роботи Бадалян А.Ю. не викликає сумнівів.

**Загальна характеристика дисертаційної роботи.** Дисертаційна робота Бадалян А.Ю. складається зі вступу, аналітичного огляду та трьох оригінальних розділів, висновків, списку використаних джерел, додатків. Вона викладена на 155 сторінках тексту, містить 23 рисунки, 1 таблицю. Список використаних



джерел складається із 178 найменувань робіт вітчизняних та закордонних авторів. Основний текст дисертації складає 117 сторінок.

**У вступі** дисертації обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету та задачі дослідження, показано наукову новизну та практичне значення одержаних результатів, стисло описано стан проблеми.

**У першому розділі** проаналізовані нанокластерні системи, методи формування ансамблів наночастинок та більш детально описані їх магнітні властивості. Також наведені експериментальні результати самоорганізації при русі наночастинок.

**У другому розділі** проаналізовані різні типи руху наночастинок. Побудована модель переходів між поступальним та обертальним режимами руху ансамблю наночастинок на основі синергетичної системи рівнянь Лоренца. Також побудована феноменологічна модель на основі канонічної системи рівнянь для різних випадків перетворення внутрішньої енергії частинки, що дозволило описати можливі умови утворення ансамблю наночастинок. Важливим результатом цього розділу є дослідження різних кінетичних режимів системи. Показано, що вплив середовища або характер перерозподілу внутрішньої енергії також впливає на динамічні режими утворення ансамблів наночастинок.

**Третій розділ** присвячений системам, термодинамічні потенціали яких не мають адитивних властивостей. До таких систем можна віднести і тверді тіла, що піддаються іонному бомбардуванню, і системи наномасштабу. Характерною особливістю неадитивних систем є самоподібність їх фазового простору, об'єм якого залишається незмінним при деформації. У цьому розділі був знайдений ефективний лагранжіан системи, виходячи з якого, визначені рівняння еволюції найбільш ймовірних значень параметра порядку, що зводиться до концентрації наночастинок, і амплітуди його флуктуацій. Показано, що деформація статистичного розподілу не змінює ці рівняння, тоді як ймовірність реалізації різних фазових траєкторій істотно залежить від параметра неадитивності. У

рамках гармонійного наближення визначені статистична сума і моменти параметра порядку в залежності від параметра неадитивності. Розвинена теорія збурень, використання якої дозволяє знайти поправки довільного порядку до зазначених величин.

**У четвертому розділі** продовжено дослідження неадитивних властивостей наночастинок або нанокластерів на основі мікроскопічної моделі в рамках наближення середнього поля. При цьому був досліджений фазовий перехід парамагнетик – феромагнетик для деформованої статсуми. Деформування визначалося додаванням степеневого вигляду спіновій змінній за допомогою параметра неадитивності. Доведено, що врахування властивостей неадитивності дозволяє описати магнітний перехід за режимом фазового переходу першого роду, що на відміну від масивних зразків спостерігається у багатьох експериментах з ансамблями наночастинок. Додатково в рамках молекулярно-польового наближення представлені властивості нанокластерної системи, де температура переходу залежить від відносної зміни об'єму кластеру. При цьому механізм переходу між парамагнітним та магнітовпорядкованим станами визначається не тільки температурою, а й тиском. Також в рамках наближення Ландау було доведено, що, навіть, спрощена модель розкладу (четвертої степені) може охарактеризувати перехід за механізмом першого роду при врахуванні деформації решітки та тиску, що задається поверхневим натягом.

**Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків та рекомендацій.** Вивчення матеріалів дисертаційної роботи, автореферату та публікацій дає можливість стверджувати, що обґрунтованість основних одержаних результатів забезпечується чіткістю та коректністю постановки та розв'язання розглянутих у роботі завдань. Оформлення роботи відповідає встановленим вимогам до дисертацій. Матеріали дисертації повністю викладено у 5 наукових працях закордонних та вітчизняних фахових журналах, 21 наукових працях та доведено до відома наукової спільноти в якості

доповідей на конференціях. Основні положення дисертації відповідають змісту автореферату.

**Достовірність і новизна наукових положень, висновків та рекомендацій.** Достовірність наукових положень, висновків та рекомендацій дисертаційної роботи забезпечується:

- коректним застосуванням аналітичних та чисельних методів розв'язання задач;
- узгодженням чисельних результатів, отриманих за допомогою запропонованих чисельних підходів, із аналітичними розв'язками задачі;
- апробацією положень дисертаційної роботи на наукових конференціях і семінарах різних рівнів.

Сформульовані в дисертації наукові положення, висновки й рекомендації впливають безпосередньо з теоретичних та чисельних результатів проведених досліджень.

**Зауваження.** Природно, що дисертаційна робота не вільна від деяких недоліків. До їх числа можна віднести такі:

1. Аналітичний огляд, на мою думку, містить досить багато загальної, неспецифічної до тематики дослідження інформації,
2. У другому розділі наведені фазові портрети систем, що досліджувалися, але фізичний зміст їх повністю не розкритий.
3. У четвертому розділі не обґрунтовано, чому гамільтоніан узятий у вигляді формули (4.1).
4. У дисертації та авторефераті є ряд стилістичних недосконалостей викладу матеріалу.

Проте, зазначені вище зауваження не мають принципового характеру, не знижують наукового рівня дисертації та не впливають на позитивну оцінку роботи.

**Загальний висновок.** Вважаю, що в цілому, за обсягом проведених досліджень, їх якістю і новизною, а також практичною важливістю отриманих результатів дана дисертаційна робота відповідає основним вимогам “Порядку присудження наукових ступенів”, а її автор, Бадалян Анна Юріївна, заслуговує присудження наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.07 – фізика твердого тіла.

Кандидат фізико-математичних наук, професор,  
професор кафедри енергетики  
Сумського аграрного національного університету



В.Б. Лобода

