

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Герасимчука Ігоря Вікторовича

“Нелінійні локалізовані стани в структурованих середовищах”

представлену на здобуття наукового ступеня доктора фізико-математичних

наук за спеціальністю 01.04.02 – теоретична фізика

Дисертаційна робота Герасимчука Ігоря Вікторовича присвячена розв'язанню низки актуальних проблем сучасної теоретичної фізики: дослідженням локалізації нелінійних хвиль та характеру нелінійних локалізованих станів солітонного типу в структурованих середовищах різної фізичної природи та різного типу, а також в неоднорідних дефектних середовищах і періодичних структурах. Такими середовищами є магнітні структури, полімери, нелінійні оптичні хвилеводи та холодні атомні гази в пастках.

Особливої **актуальності** ці проблеми набувають у зв'язку з тим, що

- (1) об'єктом дослідження є істотно **нелінійні** системи, аналіз яких є значно ускладненим внаслідок невеликої кількості доступних методів, тому існує потреба в розробці спеціальних методів теоретичної фізики для дослідження таких систем, і
- (2) нелінійні локалізовані стани досліджуються в **реальних** фізичних системах з урахуванням властивостей і особливостей таких систем: їх внутрішньої мікроструктури, дефектності, дискретності, просторової неоднорідності, неоднорідності основного стану тощо.

Вважаю, що з розв'язанням цих важливих і складних питань І. В. Герасимчук у своїй дисертаційній роботі успішно впорався. За допомогою сучасного апарату теоретичної фізики ним було побудовано теоретичні моделі нелінійних локалізованих станів у структурованих середовищах, досліджено широкий спектр задач нелінійної фізики. Розв'язані в дисертаційній роботі задачі безсумнівно актуальні та безпосередньо пов'язані з цілим колом напрямів сучасної фізики. Особливо зазначу актуальність здобутих дисертантом результатів для вивчення модульованих структурованих середовищ у нелінійній оптиці та мультишарових магнітних матеріалів, при дослідженні адсорбції полімерних ланцюжків у системах з пастками та інтерфейсами, що дуже актуально у технологічних застосуваннях.

До найбільш яскравих результатів дисертаційної роботи треба віднести наступні:

1. Здобувачем проведено детальний аналіз всіх можливих нелінійних

утворень, локалізованих біля одиночного дефекту (дефектного шару, що розділяє два однорідних середовища) у випадках нелінійного дефекту та комбінованого дефекту з лінійною та нелінійною складовими. Це було зроблено для всіх можливих знаків ангармонізму середовища та характеру взаємодії дефектного шару з оточенням. Показано, що локалізовані поблизу нелінійного дефектного шару нелінійні стани можуть існувати за будь-якого знаку ангармонізму середовища у випадку притягання елементарних збуджень до дефектного шару. Встановлено, що при взаємному притяганні між елементарними збудженнями локалізація нелінійного стану поблизу дефектного шару можлива навіть при відштовхуванні елементарних збуджень від дефекту. За допомогою методу Вахітова-Колоколова визначено умови стійкості всіх нелінійних локалізованих станів як у випадку нелінійного дефекту так і для комбінованого. Виявилось, що притягуючий дефект сприяє стабілізації локалізованого стану. При цьому локалізований на дефектному шарі стан є стійким як у випадку взаємного тяжіння між збудженнями середовища, так і у випадку їх взаємного відштовхування.

2. Одержано локалізацію нелінійних спінових хвиль у шаруватих магнітних структурах з дефектним магнітним шаром. Це структури, котрі містять вузькі шари із властивостями що відрізняються від решти матеріалу. Це можуть бути, зокрема, структури типу феромагнетик-феромагнетик, антиферомагнетик-антиферомагнетик, феромагнетик-антиферомагнетик. Здобувачем було встановлено умови стійкості локалізованого магнітного стану у тришаровій магнітній структурі та показано, що у спектрі малих збуджень солітонного стану існує мода коливань його центру тяжіння відносно магнітного шару. Цей підхід було узагальнено для вивчення локалізації малоамплітудних спінових хвиль у мультишарових магнітних структурах.
3. В системах з однією або двома однаковими пастками (це може бути, зокрема Бозе-Ейнштейнівський конденсат або полімер між інтерфейсами) знайдено можливі локалізовані розв'язки в залежності від характеру нелінійності в пастці/пастках та поза нею/ними. Пастки описувалися прямокутними ямами. Продемонстровано, що у задачі для полімерів з однією потенціальною ямою стан насищення існує лише за умови нелінійності середовища в областях поза ямою, незалежно від характеру середовища у потенціальній ямі. В усіх випадках було обчислено повне число елементарних збуджень.
4. Особливо хотів би підкреслити результати, викладені в сьомому розділі дисертації. Вони присвячені адсорбції полімерних ланцюжків у системі двох проникних або непроникних інтерфейсів. Було використано наближення середнього поля з врахуванням взаємодії виключеного об'єму у випадках з нульовою та фіксованою концентрацією полімеру на безмежності. Розроблено аналітичний метод знаходження та аналізу характеристик полімерної системи з двома проникними інтерфейсами у випадку локалізованого стану шляхом введення нових масштабних змінних

у стані насичення системи та отримано універсальні залежності для характеристик системи. Здобувачем вперше аналітично та чисельно знайдено силу взаємодії між інтерфейсами для проникних інтерфейсів у стані насичення та доведено, що ця сила є суто силою притягання, яка монотонно прямує до нуля при збільшенні відстані між інтерфейсами. Також здобувачем встановлено характер адсорбції реальних полімерних ланцюжків у системі двох жорстких інтерфейсів, які є непроникними для полімеру. У стані насичення аналітично знайдено силу, що діє між непроникними інтерфейсами завдяки зв'язку інтерфейс-полімер, і показано, що ця сила є також силою притягання, так само як і в попередньому випадку.

У дисертаційній роботі здобувачем було устішно застосовано цілий комплекс сучасних методів теоретичної та математичної фізики, чисельні методи дослідження та проведено порівняння одержаних результатів з відомими з літератури теоретичними та експериментальними даними.

Отримані в дисертації результати мають важливе практичне значення та можуть бути застосовані у нелінійній оптиці, фізиці полімерів, фізиці магнітних матеріалів, слабкій надпровідності тощо. Одержані результати для моделей з прямокутними потенціальними ямами можуть бути використані для дослідження адсорбції полімерів у системах з пастками та конденсації Бозе-Ейнштейна. Розуміння характеру та особливостей адсорбції (локалізації) полімерів, що досліджувалось у дисертаційній роботі, є дуже важливим, наприклад, для вивчення біологічних процесів взаємодії між мембрани та біополімерами.

Підсумовуючи, підкреслю новизну отриманих автором результатів. Всі положення та результати, які сформульовані автором у пункті “Наукова новизна”, отримані вперше та базуються на 65 наукових працях, зокрема 23 статтях, своєчасно опублікованих автором у провідних світових та українських фахових виданнях з високим імпакт-фактором (зокрема в *Physical Review Letters*, *Physical Review E*, *Journal of Physics: Condensed Matter*, *J. Phys. Chem. B*, *Nanoscale Research Letters*). Важливість та актуальність дисертаційної роботи підтверджується також тим, що дослідження, які складають зміст дисертації, було виконано у відповідності з більш ніж десятма науково-дослідними роботами, виконаними в Інституті магнетизму НАН України та МОН України, а також частово в НТУУ “Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського” та Національному авіаційному університеті. Матеріали дисертації були представлені на багатьох міжнародних та українських конференціях та опубліковані у вигляді тез в збірниках матеріалів. Високий науковий рівень здобувача підтверджується також тим, що 5 наукових статей за результатами дисертації було опубліковано І.В. Герасимчуком без співавторів.

Зміст основних положень автореферату дисертації повністю співпадає із змістом основних положень самої дисертації.

До дисертаційної роботи, на мою думку, слід зробити низку зауважень:

1. В роботі, зокрема в розділах 2-5 було проведено достатньо детальний та вичерпний аналіз впливу просторових неоднорідностей на властивості солітонів. Проте зовсім не було приділено уваги вивченю наслідків взаємодії солітона з неоднорідностями. Іншими словами, було вивчено як просторовий дефект змінює солітон, але не досліджено як солітон впливає на саме середовище. В даному контексті найбільш цікавим було б розглянути ефекти випромінювання плоских хвиль в результаті розсяяння солітона на дефекті/домішці. Проте, зважаючи на і так великий об'єм проробленої роботи дане зауваження можна розглядати як пропозицію до подальших наукових досліджень.
2. В підрозділі **6.3** розглядалась нелінійна динаміка ґратки солітонів в неспіврозмірному поверхневого шарі. Було отримано наближений вираз для малоамплітудних нелінійних локалізованих мод (брізерів) під щілиною спектру (формула 6.40) у довгохвильовому наближенні. Цей розв'язок автор називає темним антифазним солітоном. Просторово-залежна частина цього розв'язку містить квадратний корінь з виразу, який може бути від'ємним для просторової координати Z , якщо Z перевищує певну сталу величину, $Z > L(\omega/\omega_1)^2$. Таким чином розв'язок не визначений для всієї ґратки, що ставить під сумнів фізичність даного розв'язку.
3. У тому самому підрозділі **6.3** отримано просторово-локалізовані нелінійні моди (брізери) для частот що містяться в щілині лінійного спектру. Нагадаємо, що автором даний результат отримано з моделі Тоді, в якій було залишено лише квадратичні та кубічні доданки, а потім зроблено континуальне наближення. Даний результат знаходитьться у протиріччі із попередніми результатами [M. Aoki, S. Takeno, Stationary anharmonic gap modes in the diatomic Toda chain, J. Phys. Soc. Japan 64 (1995) 809; S.A. Kisilev, S.R. Bickham, A.J. Sievers, Anharmonic gap modes in a perfect one-dimensional diatomic lattice for standard two-body nearest-neighbor potentials, Phys. Rev. B 48 (1993) 13 508], де показано, що локалізованих мод в ланцюжку Тоді не існує. Таким чином виникає протиріччя, коли початкова модель Тоді не має певного класу розв'язків, а її наближення такі розв'язки має. Ймовірно, здійснене в роботі наближення не є працює.
4. Останнє зауваження стосується все того ж підрозділу **6.3**. Ланцюжок Тоді (формула 6.35) має звичайний акустичний спектр, в той час як спектр наближеної моделі 6.37-38, отриманої після розкладу експонент та континуального наближення має більш складну структуру-двоє вітків внаслідок двокомпонентності та щілину між цими вітками. Факт, що наближення призводить до появи нових властивостей системи ставить під сумнів застосовність самого наближення.
5. Слід зазначити, що можливою причиною, яка могла спричинити вищеперечислені невідповідності 2.-4. є відсутність чисельного моделювання даної проблеми. Добре поставлений чисельний експеримент міг би бути кінцевим арбітром, який би розв'язав зазначені в цих пунктах протиріччя.

Відзначу, що наведені вище недоліки не зменшують загального високого рівня виконаної роботи. Характеризуючи дисертацію в цілому, треба визнати, що вона є кваліфікованою науковою працею високого рівня, котра є надзвичайно актуальну як з точки зору фундаментальних властивостей нелінійних хвиль в шаруватих середовищах, так і з точки зору практичних застосувань. Достовірність отриманих у роботі результатів забезпечується використанням загальновизнаного апарату теоретичних досліджень, який базується на сучасних методах теоретичної та математичної фізики, обчислювальних методах та на узгодженні отриманих висновків з результатами інших авторів.

Вважаю, що за всіма формальними і фактичними показниками робота Герасимчука Ігоря Вікторовича **“Нелінійні локалізовані стани в структурованих середовищах”** відповідає всім вимогам Департаменту атестації кадрів МОН України, є закінченою науковою працею і містить в собі значний внесок у теорію нелінійних хвильових процесів в просторово-неоднорідних магнітних, оптических та полімерних середовищах. Автор дисертаційної роботи І. В. Герасимчук безумовно заслуговує на присудження наукового ступеня доктора фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.02 – теоретична фізика.

Провідний науковий співробітник відділу
нелінійної фізики конденсованого стану
Інституту теоретичної фізики ім. М.М. Боголюбова
НАН України,
доктор фізико-математичних наук



Я. О. Золотарюк

Підпис доктора фізико-математичних наук
Я. О. Золотарюка засвідчує,
т.в.о. вченого секретаря
Інституту теоретичної фізики
ім. М.М. Боголюбова
кандидат фізико-математичних наук



I.O. Стародуб