

Відгук

офіційного опонента на дисертаційну роботу Співака Андрія Ярославовича «Структуризація та динамічні процеси в багаточастинкових мікро-механічних системах під впливом зовнішніх збурень», подану на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.02 – теоретична фізика

В дисертації А.Я.Співака вивчаються багаточастинкові конгломерації мікро-механічних частинок, які взаємодіють лише шляхом відштовхування та знаходяться під впливом зовнішніх збурень. Інтерес до таких систем обумовлений їх масштабним використанням у багатьох технологічних процесах. Але, головним чином, він сформований завдяки специфічним властивостям таких систем, які показують зовні поведінку притаманну начебто типовим агрегатним станам конденсованої речовини, але із суттєвими (інколи навіть екстраординарними) відмінностями. Достатньо вказати припускаючи за певних умов флюїдизацію, що гранульовані матеріали (надалі - ГМ) демонструють можливість компактизації. Дослідження (у тому числі - дисертанта) вказують, що у випадку ГМ ми маємо справу із природно анізотропною системою. Враховуючи мультимасштабний і унікальний характер ГМ, опис їх структуризації та інших фізичних процесів в них зустрічається із відсутністю універсальної теорії. Зусилля теоретичних досліджень спрямовуються на розбудову моделей окремих конкретних процесів (скажімо, компактизації). Тут слід зауважити, що експериментальні дослідження, незважаючи на начебто наочну простоту, також вимагають витримування конкретних детермінованих умов і часто не можуть бути відтвореними (чимось нагадує проблему вимірів в квантовій механіці).

Саме таким модельним підходам, спрямованим на дослідження конкретних процесів формування структурованих станів та переходів проміж ними, і присвячена кандидатська дисертація А.Я.Співака. Строго кажучи, застосування методів рівноважної статистичної механіки до ГМ, які знаходяться під впливом зовнішніх збурень, не є цілком послідовним, але автор застосовує їх у найближчому околі квазістаціонарних станів, в яких відбувається взаємна компенсація, скажімо, втрат енергії під час зіткнення частинок-гранул та зовнішніх потоків енергії (збурень), що робить такий підхід адекватним.

Хочу підкреслити, що більшість результатів дисертації отримані в аналітичній формі, що робить їх практичними в задачах параметризації розглянутих моделей.

У дисертаційній роботі А.Я.Співака розглянуті:

методи опису та параметризації структуроутворень, що спостерігаються в модельних ГМ;

кінетика компактизації, що описується в термінах вільного об'єму та параметра впорядкування в гранульованих системах під впливом механічних імпульсних збурень;

умови формування і властивості стаціонарних станів;

теоретична модель для опису стисливості та компактизації двокомпонентних гранульованих сумішей в широкому інтервалі значень об'ємної фракції компонентів;

динаміка імпульсу збудження у низько-вимірних моделях гранульованих систем з урахуванням неоднорідностей, а також деякі інші питання.

Структурно дисертація Співака А.Я. містить чотири розділи. В першому розділі за допомогою методів (побудов Вороного, відповідно визначеного трансляційного та орієнтаційного параметрів впорядкування, параметра Ліндемана) здійснюється опис та параметризація спостерігаємих типів структури ГМ. В другому розділі доводиться можливість існування квазістаціонарних станів у низьковимірних відкритих системах непружних частинок за умов компенсації ззовні втраченої під час бінарних зіткнень енергії. В третьому розділі вивчається явище компактизації в ГМ, яке полягає у зміні

системою дискретних частинок об'єму, який вона займає, під впливом механічних збуджень. В четвертому розділі вивчається перенесення імпульсу збудження крізь неоднорідні низько-вимірні силові ланцюжки.

В кожній розглянутій задачі ретельно виділені саме недосліджені або недостатньо вивчені моменти (в попередніх підходах), прояснення яких має сприяти кращому розумінню явища.

Наприклад, при доведенні існування квазістаціонарних станів в одновимірних системах непружних частинок у розділі 2 детально розглядаються моделі із різною кількістю частинок (2, або 3, або N), під впливом зовнішнього поля (тяжіння) та за його відсутності, із однією або двома границями (активними або пасивними), у вакуумі і у середовищі (тобто із додатковим каналом дисипації).

Зокрема показано, що для системи у полі тяжіння знайдені стани є стійкими, що підтверджується як чисельними розрахунками, так і прямими фізичними експериментами. Проведений аналіз для спеціально сконструйованих стаціонарних станів дозволив встановити можливість переходу, який має певні риси самоорганізації системи.

Базуючись на спостереженнях стаціонарних станів у вертикальній системі непружних частинок, проаналізовано перенос імпульсу збудження крізь ланцюжок контактуючих частинок.

У розділі 4, де розглянуті моделі переносу імпульсу у силових ланцюжках, для лінеаризованої неоднорідної дискретної моделі вертикального ланцюжка, отримані аналітичні розв'язки задачі Штурма-Ліувіля у вигляді функцій Бесселя першого роду.

Доведено наявність зв'язку між квазінормальною модою (відомим розв'язком для періодичного збудження) та розривним або резонансним розв'язком, який з'являється у випадку імпульсного збудження, що є новим кроком щодо розуміння розповсюдження слабких збуджень у неоднорідних ланцюжках.

Порівняння чисельних розв'язків нелінійного дискретного рівняння для системи вертикального ланцюжка у полі тяжіння, із точними розв'язками у термінах циліндричних хвиль для відповідних лінеаризованих рівнянь, за умов різних значень сили тяжіння (для $10g$ та g), показує їх добре співпадання. За умов низької гравітації (для $0.1g$) відхилення вже не кількісне, а якісне і супроводжується утворенням солітонного збудження.

На відміну від відомого підходу Нестеренка, що описує солітонну моду у герцівському ланцюжку, здобувачем запропоновано нелінійне рівняння у термінах перекриттів частинок, яке отримане з дискретного лише континуальним переходом. Внаслідок чого рівняння придатне для опису не лише сильних збуджень у однорідних ланцюжках, а залишається справедливим і для систем із неоднорідністю та довільною величиною збудження (що, між іншим, підтверджується експериментально). Отриманий солітонний розв'язок такого рівняння майже не відрізняється за дисперсією, амплітудою та швидкістю розповсюдження від солітону Нестеренка, але показує більш широкі можливості застосування.

Розраховано ефективну масу солітонної квазічастинки, використання якої для опису розсіяння солітонного збудження на важкому ізотопічному дефекті у декорованому ланцюжку, демонструє гарне погодження із результатами експериментів.

Значну увагу у дисертації приділено вивченню явища компактизації. Так, застосування моделі вільного об'єму дозволило отримати логарифмічно повільний профіль впакування, який добре узгоджується із експериментальними даними. Використання дисперсійної моделі вільного об'єму на випадок дводисперсної (або монодисперсної, яка складається із доменів двох різних симетрій) демонструє суттєво немонотонний характер впакування з часом.

Використання підходу Ландау з теорії фазових переходів, із урахуванням рівняння стану Карнахана-Старлінга (КС), показує наявність у лінійному наближенні експоненціального закону релаксації впакування. Порівняння отриманого розв'язку із експериментальними даними дозволило встановити можливість адекватного опису із

використанням кусково-безперервного методу. Отже, спираючись на цей результат, автором робиться висновок про фракційно-кінетичний сценарій компактизації.

Для опису компактизації дводисперсної гранульованої системи, яка досягла свого максимального впакування, запропоновано скористатись формулою Кірквуда-Баффа (КБ) для бінарної суміші, відомої з теорії рідини, у поєднанні із виразом для ізотермічної стисливості, отриманим із рівняння стану суміші твердих сфер КС., в усьому інтервалі можливих значень мольної або об'ємної фракцій. Запропонований комплексний підхід добре узгоджується із результатами експериментальних досліджень ГМ із різними співвідношеннями розмірів гранул.

До найбільш суттєвих результатів дисертації можна було б віднести:

- встановлення критеріїв утворення і стійкості та визначення параметрів стаціонарних станів у одновимірній системі непружних частинок, які формуються шляхом розшарування системи на сегменти із внутрішнім періодичним рухом;
- застосування фракційного підходу до опису кінетики компактизації гранульованої системи на підставі аналізу висновків, що впливають із розв'язків моделі Ландау-Гінзбурга;
- опис стисливості та компактизації двокомпонентної гранульованої суміші із використанням теорії КБ у повному інтервалі значень об'ємних фракцій компонентів;
- отримання точних розв'язків рівнянь руху механічного імпульсу збудження у одновимірних неоднорідних силових ланцюжках (зокрема, резонансних мод) та встановлення мульти-модового характеру його динаміки;
- визначення впливу розупорядкування на транспорт імпульсу збудження у герцівських ланцюжках із використанням моделі Дайсона;
- оцінка впливу умов низької гравітації на транспорт імпульсу збудження у герцівських ланцюжках.

Застосування результатів дисертаційної роботи можуть стосуватися досить широкого класу як прикладних (наприклад, в технологіях створення захисних модулів; в розробках елементів хвильової схемотехніки; в технологіях зберігання та транспортування сипучих матеріалів; в технологіях очистки; в будівельних технологіях), так і фундаментальних проблем (для виявлення ролі міжчастинкової взаємодії, анізотропії та дисипативних ефектів в формуванні станів конденсованої системи; для неструктивного моніторингу домішок в гранульованих системах; для розбудови теорії аналогів гідростатичних явищ в ГМ; для виявлення критеріїв застосування методів фізики конденсованого стану до вивчення мікро-механічних багаточастинкових систем).

До дисертаційної роботи є деякі зауваження та побажання, а саме:

1. У розглянутих моделях впакування не фігурують конкретні параметри зовнішнього збудження, такі як, наприклад, частота, амплітуда, скважність імпульсів, тощо, які можуть помітно змінювати характер спостережуваних ефектів.
2. Було б доцільно проаналізувати роль форми частинок та морфології їх поверхні на величину, швидкість та характер впакування.
3. Ще одне зауваження більш загального характеру полягає в тому, що для розглянутих в даній дисертації об'єктів, з моєї точки зору, повинна бути притаманною їх локальна нестійкість (наприклад, нестійкість певної ділянки піщаного схилу) та абсолютна стійкість їх критичного стану, яка зумовлена універсальним явищем самоорганізованої критичності. Нагадаю, що явище самоорганізованої критичності полягає в тому, що системи різної природи, які складаються з великої кількості взаємодіючих елементів,

природним чином еволюціонують до критичного стану, в якому досить незначна подія може викликати ланцюгову реакцію, що веде до катастрофічних змін в цій системі

Зроблені зауваження не знижують загальної позитивної оцінки дисертаційної роботи. Вони скоріше стосуються можливого розвитку цих досліджень і подальшого застосування отриманих результатів.

Результати дисертаційної роботи Співака А.Я. «Структуризація та динамічні процеси в багаточастинкових мікро-механічних системах під впливом зовнішніх збурень» повністю опубліковані у 11 статтях, з яких 5 статей у фахових наукових виданнях, 1 монографії, а також у працях та тезах міжнародних та національних конференцій, де результати дисертації пройшли апробацію. Автореферат і анотація дисертації повністю відображають її зміст, а також основні результати і висновки, ступінь їх наукової новизни.

Дисертація є закінченою роботою, яка виконана на високому науковому рівні. Виконані наукові дослідження сприяють вирішенню актуальної проблеми розбудови теоретичного опису багаточастинкових мікро-механічних систем ГМ. Задіяні методи досліджень є адекватними до розглянутих задач та достатньо апробованими. Представлені в роботі результати дослідження достовірні, висновки та наукові положення чітко сформульовані та обґрунтовані.

Дисертаційне дослідження Співака Андрія Ярославовича «Структуризація та динамічні процеси в багаточастинкових мікро-механічних системах під впливом зовнішніх збурень» в повній мірі задовольняє усім кваліфікаційним вимогам «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України № 567 від 24 липня 2013 року, які висуваються до дисертацій на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук. Вважаю, що Співак Андрій Ярославович цілком заслуговує на присудження йому наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.02 – теоретична фізика.

Завідувач кафедри медичної і біологічної фізики та інформатики
Національного медичного університету імені О.О. Богомольця,
член-кореспондент Національної академії педагогічних наук України,
заслужений діяч науки і техніки України,
доктор фізико-математичних наук, професор

Чалий О.В.

12.04.2021р.

