

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Бистрика Юрія Сергійовича

«Аномальні транспортні та релаксаційні процеси у стохастичних системах з надповільною еволюцією»,

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

Актуальність теми досліджень дисертаційної роботи зумовлена вивченням статистичних властивостей транспортних та релаксаційних процесів у складних системах, що демонструють аномально повільну еволюцію. Такі процеси є притаманними для широкого кола стохастичних систем в фізиці, хімії, біології і приводять до виникнення недебаєвських релаксаційних режимів, аномальної дифузії, аномального транспорту, негаусової статистики тощо. Зокрема, важливою задачею є побудова моделей, узагальнення та розвиток теоретичних методів вивчення надповільних транспортних та релаксаційних процесів, чия поведінка є навіть повільнішою, ніж степенева. Одержання нових транспортних та релаксаційних режимів у складних системах розширює відомі знання про клас аномальних процесів і є вельми актуальною задачею як з точки зору теоретичної фізики, так і прикладних завдань, пов'язаних із аналізом статистичних даних та прогнозуванням особливостей перебігу процесів із принципово нетиповою поведінкою. Так, основною метою дисертації є послідовне дослідження транспортних властивостей процесів із нескінченною дисперсією та надповільною еволюцією, а також вивчення релаксаційних властивостей дворівневих систем, що проявляють аномально повільну та надповільну еволюцію. Актуальність теми досліджень також підтверджується її належністю до низки держбюджетних науково-дослідних робіт Сумського державного університету, що виконувалися в рамках наукових програм МОН України. Таким чином, враховуючи вище згадане, можна зробити висновок, що дисертаційна робота Бистрика Ю.С. має науковий та практичний інтерес, а її актуальність та важливість не викликає сумнівів.

Дисертаційна робота складається із вступу, п'яти розділів, висновків, переліку використаних джерел та додатків.

У вступі наведена актуальність, мета, основні завдання, об'єкт, предмет та методи дослідження наукової праці. Зазначено зв'язок дисертаційної роботи з науковими програмами та темами, вказано наукову новизну, практичне значення та особистий внесок дисертанта у наукову роботу.

У першому розділі проведено літературний огляд теоретичних та експериментальних досліджень за темою дисертації. Зокрема, приведено приклади стохастичних систем з аномально повільною еволюцією та розглянуто ключові методи їх теоретичного вивчення. На основі проаналізованих результатів зроблено висновок стосовно відкритих задач у теорії аномальних транспортних та релаксаційних процесів. Розв'язок всіх поставлених задач послідовно проводиться в наступних розділах дисертації.

Другий розділ дисертаційної роботи присвячено опису моделі надповільних польотів Леві, що проводився, виходячи із концепції незв'язаних неперервних у

часі випадкових блукань, а також асимптотичному розв'язку рівняння Монтролла-Вейсса для густини ймовірності положення даного випадкового процесу. Як результат знайдено всі можливі граничні у часі густини ймовірності та відповідні їм масштабуючих функцій, що задають асимптотичну у часі поведінку для масштабованих польотів Леві. Проведено класифікацію отриманих розв'язків в залежності від параметрів випадкових блукань та обговорено основні транспортні властивості розглянутого стохастичного процесу.

У третьому розділі дисертації приведено детальне теоретичне дослідження граничних густин ймовірності, які отримано в попередньому розділі. Так, знайдено ряд їх альтернативних представлень, що дозволяють всебічно проаналізувати основні аналітичні властивості зазначених густин. Також у розділі показано, як граничні розподіли можна знаходити з використанням центральної граничної теореми та системи субординаційних рівнянь Ланжевена. Також в ньому отримано уточнення поведінки оригінальних немасштабованих польотів Леві в режимі рідкісних флуктуацій. На додаток проведено числове моделювання необхідного класу випадкових блукань, що в повній мірі підтвердило аналітично одержані результати.

У четвертому розділі роботи побудовано модель релаксаційних процесів у дворівневих системах, структурні елементи яких змінюють свій стан згідно з дихотомічним процесом. Отримано рівняння, що описує релаксаційну функцію для заданих систем і знайдено його асимптотичні розв'язки за умови, що час перебування системи в двох станах мають розподіли, що характеризуються важкими та/або надважкими хвостами. Проведено класифікацію таких розв'язків, із якої випливає, що релаксація в системі може проявляти повільну степеневу, модифіковану степеневу або надповільну еволюцію. Також наведено дробове рівняння для степеневих релаксаційних функцій та вказано зв'язок одержаних результатів з деякими відомими процесами та моделями.

П'ятий розділ дисертації присвячено знаходженню точних релаксаційних функцій для дворівневої системи із попереднього розділу. Зокрема, отримано точні формули для осцилюючих релаксаційних режимів Ерланга та степеневих режимів Міттаг-Леффлера Леві. Крім того, отримано рівняння типу Монтролла-Вейсса для густини ймовірності величини, яка показує наскільки довше система перебуває в одному стані, ніж в іншому, і знайдено його частковий розв'язок. Аналітичні залежності було підтверджено числовими розрахунками.

Матеріал дисертаційної роботи викладено послідовно і з чіткою логічною структурою. Основні положення дисертації повністю відображені у авторефераті. Дисертаційна робота та автореферат виконані у відповідності до вимог, яким мають задовольняти роботи, що подаються на здобуття ступеня кандидата наук.

Обґрунтованість та достовірність наукових результатів, що отримані у дисертаційній роботі, забезпечується використанням апробованих моделей та відомих методів теоретичної фізики, а також підтвердженням всіх отриманих аналітичних результатів числовим моделюванням. Крім того, нові теоретичні результати в окремих випадках зводяться до вже відомих та знаходять своє підтвердження в цитованих теоретичних та експериментальних роботах інших авторів, що наведені в літературних джерелах.

Результати дисертаційної роботи досить повно відображені в 8 наукових статтях, що опубліковані у провідних фахових журналах (серед них 5 наукових статей в журналах, що індексуються наукометричними базами Scopus та Web of Science, 2 наукові статті у журналі, що індексується наукометричною базою Scopus, і 1 стаття у матеріалах Міжнародної наукової конференції) та 8 тезах доповідей профільних Всеукраїнських та Міжнародних конференцій.

До найбільш вагомих наукових результатів дисертаційної роботи можна віднести наступні:

1) використавши розподіли довжин стрибків процесу з важкими хвостами та розподіли часів очікування процесу з надважкими хвостами, теорію неперервних у часі випадкових блукань розширено на випадок надповільних польотів Леві;

2) для всіх можливих випадків досліджуваної моделі знайдено граничні у часі густини ймовірності масштабованих надповільних польотів Леві та проведено їх детальне теоретичне дослідження в залежності від параметрів, що характеризують розподіли довжин стрибків процесу;

3) в рамках концепції неперервних у часі випадкових блукань отримано рівняння релаксації для дворівневих систем, що еволюціонують у відповідності з дихотомічним процесом, та знайдено всі його можливі асимптотичні розв'язки у випадках важких та надважких розподілів часів перебування системи у двох своїх станах.

Водночас до даної роботи можна висунути такі **зауваження**.

1) У розділі 2 отримуються граничні густини ймовірності та відповідні їм масштабуючі функції часу для надповільних польотів Леві. Графіки цих граничних густин приводяться для всіх можливих випадків у розділах 2 і 3, однак поведінка масштабуючих функцій графічно не показується. Крім того, доцільно було б порівняти між собою поведінку різних масштабуючих функцій, що дозволило б зробити висновок про швидкість розширення профілю розподілу положення польотів Леві в залежності від параметрів розподілів довжин стрибків процесу.

2) У розділі 4 побудовано загальну модель релаксаційних процесів у дворівневих системах. Проте отримуються релаксаційні залежності тільки для повільних степеневих та надповільних режимів. Виникає питання про можливість застосування даної моделі і для опису інших повільних недебаєвських режимів, таких як закон Кольрауша-Уіллямса-Уоттса або усічена степенева релаксація.

3) У підрозділі 5.5.1 знаходиться точний розв'язок рівняння для густини ймовірності різниці загального часу перебування дихотомічного процесу в «верхньому» та «нижньому» станах за умови, що часи очікування системи у дозволених станах мають експоненціальні розподіли. Цей точний випадок являє собою відомий узагальнений телеграфний процес і новим є лише метод отримання, про що сказано в тексті дисертації. Тому цікавим було б отримати й інші відповідні густини ймовірності, особливо їх асимптотичну у часі поведінку, та порівняти результати з типовими розподілами для телеграфних процесів.

4) У тексті роботи зустрічаються друкарські помилки та порушення правил синтаксису.

Однак вважаю, що висловлені зауваження не знижують високого наукового рівня дисертаційної роботи, не ставлять під сумнів отримані теоретичні

результати і більшою мірою мають характер побажань, що можуть бути враховані автором у його подальшій роботі.

На підставі вище викладеного вважаю, що дисертаційна робота Бистрика Ю.С. «Аномальні транспортні та релаксаційні процеси у стохастичних системах з надповільною еволюцією» є самостійною та завершеною науковою працею, яка розвиває теорію аномальних стохастичних процесів та методи їх опису.

За актуальністю теми, науковим рівнем, новизною, практичною значущістю та повнотою викладення в опублікованих працях дана дисертаційна робота задовольняє вимогам МОН України щодо дисертацій на здобуття ступеня кандидата наук, а саме, пп. 9, 11, 12, 13 «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 р. № 567 зі змінами (окрім. п. 3), що внесені до постанов Кабміну України, затвердженими його постановою від 12.09.2011 р. № 955, а її автор заслуговує на присудження наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.02 – теоретична фізика.

Офіційний опонент:

доктор фізико-математичних наук, професор,
завідувач відділу теорії конденсованого
стану речовини Інституту монокристалів
НАН України

В.В. Яновський

Підпис д.ф.-м.н., проф. В.В. Яновського засвідчую:

Вчений секретар
Інституту монокристалів НАН України,
кандидат фізико-математичних наук



К.М.Кулик