

## Відзив

офіційного опонента на дисертацію **Федчун Юлії Юрїївни**  
"Еволюційні рівняння систем багатьох частинок та їх застосування  
до опису кінетичних процесів"  
представлену на здобуття наукового ступеня кандидата  
фізико-математичних наук  
за спеціальністю 01.01.03 – математична фізика

Однією з актуальних проблем сучасної статистичної механіки є проблема строгого опису нерівноважних властивостей систем багатьох частинок за допомогою нелінійних кінетичних рівнянь. Ця проблема обумовлена насамперед нелінійною природою кінетичних процесів у таких системах, а також пов'язана з тією обставиною, що еволюційні рівняння, якими вони описуються, сформульовані на основі евристичних міркувань. Послідовний метод виведення кінетичних рівнянь з динаміки систем багатьох частинок, як відомо, було сформульовано в працях академіка М.М. Боголюбова, і в них фактично було започатковано новий напрямок у розвитку теорії рівнянь у частинних похідних сучасної математичної фізики. З цим напрямком досліджень сучасної математичної фізики пов'язана тема дисертації Ю.Ю. Федчун, а саме, мета роботи полягає у подальшому розвитку методів дослідження ієрархій еволюційних рівнянь класичної статистичної фізики та їх застосування до математичного опису кінетичних процесів в активних м'яких конденсованих речовинах.

Дисертаційна робота складається із вступу, п'ятих розділів, висновків і переліку використаних джерел, який містить сто п'ять найменувань.

Перший розділ дисертації присвячено огляду сучасної літератури за темою досліджень, етапів розвитку і досягнень теорії кінетичних рівнянь. В цьому розділі також проаналізовано внесок у цю теорію результатів, які були отримано у дисертації.

У другому розділі дисертації викладено результати з дослідження динаміки класичних систем багатьох частинок за допомогою еволюційних рівнянь у функціональних похідних для твірних функціоналів послідовностей функцій, якими описуються спостережувані та стани нерівноважних систем статистичної механіки. Треба відзначити, що підхід до опису еволюції багаточастинкових систем на основі рівнянь у функціональних похідних для спостережуваних величин широко використовується у квантовій теорії поля, а до систем статистичної механіки такий підхід вперше розвинуто у дисертації.

До основних досягнень цього розділу мають бути віднесені наступні результати. За допомогою встановлених зв'язків між твірними функціоналами для послідовностей відповідних функцій побудовано непертурбативні розв'язки задачі Коші для дуальної ієрархії рівнянь ББГКІ для  $s$ -частинкових (в дисертації використано термін – маргінальних) спостережуваних та ієрархії рівнянь ББГКІ  $s$ -частинкових (маргінальних) функцій розподілу в термінах груп операторів рівняння Ліувілля скінченної кількості частинок. Розвинуто підхід до опису станів систем багатьох частинок за допомогою еволюційного рівняння у функціональних похідних для твірного функціоналу послідовності кореляційних функцій, які є розв'язком ієрархії рівнянь Ліувілля, що дало можливість у відповідних функціональних просторах побудувати непертурбативні розв'язки задач Коші для ієрархій рівнянь для маргінальних функцій розподілу і маргінальних кореляційних функцій в термінах груп нелінійних операторів ієрархії рівнянь Ліувілля для кореляційних функцій.

Наступні розділи дисертації присвячено дослідженню проблеми математичного опису кінетичної поведінки активних м'яких конденсованих речовин за допомогою розвинутого нового підходу до виведення кінетичних рівнянь на основі побудованого в попередньому розділі непертурбативного розв'язку дуальної ієрархії рівнянь ББГКІ для маргінальних спостережуваних. В дисертаційній роботі динаміка активних м'яких конденсованих речовин описується системою багатьох взаємодіючих стохастичних процесів марковського типу, яка є аналогом динамічної системи частинок із зіткненнями в теорії нелінійного кінетичного рівняння Больцмана. Зазначена модель дозволяє описувати характерні динамічні властивості активних м'яких речовин, якими вони відрізняються від статистичної поведінки звичайної речовини. В останні роки такий підхід широко використовується у математичній біології.

У третьому розділі роботи встановлено зв'язок між методом опису еволюції в термінах маргінальних спостережуваних та в термінах одночастинкової (маргінальної) функції розподілу, яка задовольняє кінетичне рівняння немарковського типу. Доведено, що кінетична еволюція станів системи багатьох взаємодіючих стохастичних стрибкоподібних процесів марковського типу описується не лише одночастинковою функцією розподілу, а також нескінченною послідовністю функціоналів залежних від одночастинкової функції розподілу (в дисертації використано термін – маргінальні функціонали стану). За допомогою таких функціоналів обчислюються середні значення спостережуваних неадитивного типу і з фізичної точки зору вони описують усі можливі кореляції, які виникають в процесі еволюції системи. У роботі встановлено явний вигляд маргінальних

функціоналів стану і досліджено низку їх характерних властивостей, наприклад, за допомогою узагальнення формул Дюамеля доведено, що почленно розклади в ряд маргінальних функціоналів стану співпадають з функціоналами, побудованими на основі методів теорії збурень М.М. Боголюбовим.

Окремим результатом цього розділу, який заслуговує бути відзначеним, є дослідження у наближенні середнього поля асимптотичної поведінки розв'язку задачі Коші побудованого кінетичного рівняння та послідовності маргінальних функціоналів стану.

Основний результат четвертого розділу дисертації полягає в описі кінетичної еволюції активних м'яких речовинах в термінах спостережуваних. З цією метою побудовано асимптотичну границю середнього поля задачі Коші для ієрархії еволюційних рівнянь для маргінальних спостережуваних взаємодіючих стохастичних марковських процесів.

Встановлено, що граничні маргінальні спостережувані задовольняють дуальну ієрархію рівнянь самоузгодженого поля. Для початкових станів, які задовольняють так звану умову хаосу, встановлено, що у випадку граничних спостережуваних адитивного типу метод опису еволюції системи взаємодіючих стохастичних марковських процесів за допомогою дуальної ієрархії рівнянь самоузгодженого поля є еквівалентним до методу опису еволюції станів системи в термінах одночастинкової функції розподілу, яка є розв'язком задачі Коші для кінетичного рівняння середнього самоузгодженого поля побудованого у попередньому розділі. У випадку граничних спостережуваних величин неадитивного типу зазначений метод опису еволюції є еквівалентним поширенню початкового хаосу у просторі станів.

У п'ятому розділі дисертації викладено результати з дослідження проблеми виведення кінетичних рівнянь для системи взаємодіючих стохастичних марковських процесів з початковими кореляціями, якими характеризується конденсований стан. Використовуючи розвинутий у попередніх розділах дисертації метод виведення кінетичних рівнянь для системи взаємодіючих стохастичних процесів у наближенні середнього поля встановлено кінетичне рівняння з початковими кореляціями та описано процес поширення початкових кореляцій.

У висновках до дисертації подано перелік основних нових наукових здобутків роботи. Список використаних джерел відображає основні сучасні публікації по темі дисертації і є достатньо повним.

Зауважу також, що дисертація не позбавлена і окремих технічних недоліків. До них треба віднести наприклад наступні. Сприйняття формул покращилося, якби використовувалися дужки у відповідності до розміру формул. Не завжди достатньо чітко викладено зміст використаних позначень. В окремих випадках виникає потреба у більш детальних роз'ясненнях та додаткових коментарях, бо за їх відсутності ускладнюється сприйняття змісту роботи. Доведення деяких тверджень виграли б, за умови їх більш

детального викладу. У той же час, зазначені недоліки не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи.

На мою думку дисертація Ю.Ю. Федчун є завершеною науковою працею, яка містить пріоритетні результати з актуального напрямку досліджень сучасної математичної фізики.

Всі отримані у дисертації результати є новими і строго обґрунтованими. Основні результати дисертації опубліковано у шестиох провідних фахових наукових виданнях з математики, частина з яких включена до міжнародних наукометричних баз. Результати дисертаційної роботи обговорювались на низці міжнародних конференцій та доповідались на відомих семінарах з математичної фізики.

Автореферат дисертації вірно і повно відображає зміст, структуру і отримані результати роботи.

Враховуючи зазначене вище, вважаю, що дисертація Ю.Ю. Федчун "Еволюційні рівняння систем багатьох частинок та їх застосування до опису кінетичних процесів" цілком відповідає всім вимогам МОН України щодо кандидатських дисертацій, які подаються на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.01.03 – математична фізика, зокрема, положенням пп.13,14 "Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника", а сама дисертантка, без сумніву, заслуговує на присудження вченого ступеня кандидата фізико-математичних наук.

Провідний науковий співробітник  
Відділу фізики високих густин енергії  
Інституту теоретичної фізики ім. М.М. Боголюбова  
доктор фізико-математичних наук

Д.В. Анчишкін

