

ВІДГУК
офіційного опонента на дисертаційну роботу
Назаренка Андрія Володимировича
“Статистичні властивості систем із сильною взаємодією
та ефекти гравітації”,
подану на здобуття наукового ступеня
доктора фізико-математичних наук
за спеціальністю 01.04.02 – теоретична фізика

Апарат статистичної фізики є потужним засобом для виявлення і опису макроскопічних станів систем багатьох частинок, визначення напряму еволюції систем зі зміною температури і густини, а також знаходження критичних параметрів, за яких відбуваються фазові переходи. Хоча його використання вимагає певних спрощень, з аналітичної точки зору, він має перевагу над мікроскопічним і обчислювальним підходами.

Важливою складовою дослідження стану речовини є побудова її фазової діаграми у просторі термодинамічних параметрів, яка окреслює різні фази і визначає умови фазових переходів першого чи другого роду. Однак зміна властивостей речовини, характерна для фазових переходів, не завжди обумовлюється температурою, тиском, густиною і впливом зовнішніх полів. Відомо чимало систем, в яких фазові переходи відбуваються за зміни констант взаємодії, а деколи за зміни нетривіальних фізичних характеристик, виявлення яких потребує глибокого розуміння внутрішніх процесів. Тому виявлення чи встановлення нових аспектів механізмів якісного перетворення речовини слід оцінювати як вагомий науковий внесок.

Таку особливість фазових переходів слід враховувати у спільному статистичному описі мікроскопічних і макроскопічних систем із сильною і гравітаційною взаємодіями, відповідальними за існування як атомних ядер, так і космічних об'єктів (зір, галактик тощо). З цієї точки зору важливість дослідження властивостей ядерної матерії, а також мало вивченої темної матерії у Всесвіті є безсумнівною.

Геометричний характер теорії тяжіння Айнштейна вимагає застосування і розвитку математичних методів під час дослідження фізичних систем, у яких істотною є гравітаційна взаємодія. Так, зокрема, запровадження додаткових вимірів у просторі-часі, потребує звернення до топології і диференціальної геометрії вкладених многовидів, зокрема, двовимірних ріманових поверхонь. Незважаючи на існування загальних рецептів опису таких конструкцій, кожна реалізація ріманової поверхні в описі фізичної динаміки становить самостійний інтерес і вимагає окремого дослідження. Сучасний геометричний підхід, який використовується в задачах дисертації, ґрунтується на введенні простору Тейхмюлера з його координатами (модулями, параметрами Фенхеля–Нільсена) і метрикою Вейля–Петерсона.

Феноменологічний опис частинок видимого сектора за планківських енергій і частинок темної матерії можливий за допомогою деформованих алгебр, зв'язок яких з різними розділами фізики і математики, а також узагальненнями спеціальних функцій інтенсивно вивчався впродовж останніх десятиліть. Нові задачі і результати з використанням деформованих алгебраїчних структур, отримані в дисертації, проливають світло на їх особливості та наслідки застосування.

Подібні аргументи можна навести щодо нових типів квантової статистики, які відрізняються від загальноприйнятих статистик Бозе–Айнштейна і Фермі–Дірака. Хоча кількість таких невпинно збільшується завдяки евристичним задачам, фізична мотивація вибору може бути вирішальною. Таким прикладом слугує статистична задача про ансамбль екстремальних чорних дір, яка розглядається в дисертації Назаренка А.В.

Таким чином, можна стверджувати, що тема дисертаційної роботи Назаренка А.В. “Статистичні властивості систем із сильною взаємодією та ефекти гравітації” є важливою і актуальною з точки зору теоретичної і математичної фізики.

Дисертаційна робота Назаренка А.В. складається з анотації (українською і англійською мовами), списку публікацій за темою дисертації, вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел, що містить 393 найменування, і викладена на 336 сторінках.

У вступі дисертації обґрунтовано вибір теми досліджень, зв'язок з науковими темами, викладено мету і завдання дослідження, описано наукову новизну отриманих у дисертації результатів та їх практичне значення, вказано особистий внесок здобувача і подано перелік наукових конференцій і семінарів, на яких доповідалися результати дисертації.

Перший розділ дисертації присвячений побудові моделей систем із сильною взаємодією: ядерної матерії з рівним числом протонів і нейтронів, нейтронної матерії і системи, що складається з електрично заряджених пі-мезонів (піонів). Зокрема, ядерна матерія описується за допомогою двох моделей: у просторі-часі Мінковського в рамках теорії прямої взаємодії і в конформно-пласкому просторі в рамках квантово-польової теорії. Після обчислення термодинамічних функцій, показана наявність рідино- і газоподібної фаз в ядерній матерії і системі піонів та знайдені критичні параметри фазового переходу першого роду “рідина-газ”. Для надплинної нейтронної матерії з прямою взаємодією отримано залежність енергетичної щільності від густини нейтронів в наближенні Бардіна–Купера–Шріфера.

Другий розділ присвячений процесам і явищам за високих енергій ядронних зіткнень, а також термодинамічним властивостям газу фотонів за планківських температур. Виявлена вагома роль обчислених потоків партонів на ранньому етапі ядерних зіткнень для опису спостережуваних даних. Із застосуванням концепції Аркані-Хамеда–Дімопулоса–Двалі показано, що

рівноважна кварк-глюонна речовина стає джерелом збурень гравітаційних мод у трьох звичайних і компактних додаткових просторових вимірах. За допомогою часткових розв'язків рівняння Вілера–ДеВіта для хвильової функції системи оцінено ймовірність прояву додаткових вимірів. Окрім того, на основі модифікованого закону додавання 4-імпульсу, який накладає обмеження на максимальну енергію, обчислено термодинамічні функції газу фотонів за надвисоких температур в наближенні середнього поля. Показана відмінність одержаної густини енергії випромінювання від такої, що описується відомим законом Стефана–Больцмана.

Третій розділ присвячений дослідженню класичних і квантових аспектів компактних двовимірних просторів в моделях $(2+1)$ -вимірної теорії гравітації. В рамках гравітації Черна–Саймонса з додатковою взаємодією описана часова еволюція геометрії тора (ріманової поверхні роду один) і отримані квантові спектри просторово- і часоподібного інтервалів, площі. Виявлено ефект розщеплення вироджених квантових рівнів власного часу. Окрім того, побудована двопараметрична версія ріманових поверхонь роду два (кренделя) і описана її часова еволюція за космологічним сценарієм “великого відскоку”. На основі знайденої метрики Вейля–Петерсона отримано квантовий спектр фазового простору моделі. Із застосуванням мультифрактального аналізу і теорії ланцюгів Маркова описано спектр довжин двовимірних графів, породжених групою Фукса симетрій двопараметричної поверхні роду два.

Четвертий розділ присвячений опису статистичних властивостей систем електрично заряджених тіл з гравітаційною взаємодією. Спершу, виходячи з теорії тяжіння Айнштейна, за допомогою гамільтонової механіки Дірака з в'язями отримано Пуанкаре-інваріантний опис системи точкових частинок з прямою взаємодією у першому порядку наближення за гравітаційною сталою. Поєднуючи отримані результати з відомими виразами для прямої електромагнітної взаємодії, одержано гамільтоніани системи точкових заряджених частинок з гравітаційною взаємодією. На їх основі обчислено термодинамічні функції слабконеідеального газу в наближенні Дебая–Хюкеля з точним врахуванням релятивізму. Окрім того, виходячи з точного розв'язку рівнянь Айнштейна–Максвела для екстремальних чорних дір (за умови рівності констант гравітаційної і електромагнітної взаємодії), обчислено величину гравітаційної затримки часу із застосуванням різних статистик: Бозе–Айнштейна, інфінітної, Фермі–Дірака і класичної.

П'ятий розділ присвячений опису властивостей темної матерії гало карликових галактик і галактичних ядер з використанням моделей конденсату Бозе–Айнштейна з дво- і тричастинковою розсіювальними взаємодіями на основі рівняння Гросса–Пітаєвського. Після деформації комутаційних співвідношень для конденсатної хвильової функції у моделі з гравітаційною і парною взаємодіями показано, що врахування деформації, обумовленої композитністю частинок темної матерії, відтворює відомий ефект суцільного обертання у виразах для функції розподілу і спостережуваних ротаційних

кривих. Окрім того, на основі чисельно отриманих розв'язків польових рівнянь показано, що модель з тричастинковою взаємодією передбачає наявність “рідкої” і “газоподібної” термодинамічних фаз темної матерії галактичного ядра, а також фазового переходу першого роду між ними.

До основних результатів дисертації можна віднести такі:

- Отримано рівняння стану і критичні параметри фазового переходу “рідина-газ” в ядерній матерії з рівним числом протонів і нейтронів у просторі-часі Мінковського і конформно-пласкому просторі-часі, тобто за різних значень масштабного фактору.
- На основі обчислених термодинамічних функцій системи піонів із сильною взаємодією передбачено існування “рідкої” і “газоподібної” фаз в різних режимах: конденсатному і високотемпературному.
- Показано, що врахування потоків партонів на ранньому етапі ядерних зіткнень покращує опис спостережуваних величини.
- Виявлено прояв і оцінено число додаткових компактних вимірів за наявності кварк-глюонної речовини в зіткненнях ядер за умов концепції Аркані-Хамеда, Дімопулоса і Двалі.
- Виявлено розщеплення рівнів власного часу в $(2+1)$ -вимірній гравітації Черна–Саймонса з додатковою взаємодією у просторі з топологією тора.
- Показано, що модифікація закону додавання 4-імпульса, яка враховує обмеження на енергію, в моделі випромінювання абсолютно чорного тіла приводить до густини енергії випромінювання, яка за планківських температур описується законом, відмінним від закону Стефана–Больцмана.
- В ансамблі екстремальних чорних дір одержано різні значення середньої затримки часу у статистиках Бозе–Айнштейна, Фермі–Дірака та інфінітній.
- Виявлено “рідку” і “газоподібну” фази в моделі бозе-конденсатної темної матерії галактичного ядра.

Основні результати дисертації Назаренка А.В. є новими і обґрунтованими; вони опубліковані в 24 наукових працях у наукових фахових виданнях, серед яких 13 статей – без співавторів.

Автореферат правильно і повно відображає зміст дисертації.

Разом з тим, щодо дисертаційної роботи Назаренка А.В. “Статистичні властивості систем із сильною взаємодією та ефекти гравітації” можна висловити деякі зауваження та побажання, а саме:

1. У вступі до розділу 1.2 обговорюється роль кривини простору, у той час як в задачі вона дорівнює нулеві. Це означає, що схематичний Рис. 1.5 демонструє не ефект кривини, а збільшення/зменшення відстані між частинками.

2. У розділі 3.2.1 варто було підкреслити, що включення взаємодії, яка усуває виродження спектру площі, фіксує саме форму кручення, коли індукована метрика залишається симетричною за побудовою.
3. У розділі 3.2.2 дисертації варто було навести означення параметрів Фенхеля–Нільсена l_k , τ_k , значення яких записано з посиланням на літературу.
4. У розділі 4.3.2 функції, що характеризують затримку часу в ансамблі екстремальних чорних дір у різних статистиках, можна подати у вигляді єдиного виразу з використанням гіпергеометричної функції Гауса. Кожна статистика лише конкретизує її параметри.
5. У формулах (35), (36) автореферату під знаками інтегралів бракує ξ^2 , що впливає з міри інтегрування.

Висловлені зауваження не впливають суттєвим чином на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи Назаренка А.В. “Статистичні властивості систем із сильною взаємодією та ефекти гравітації”, яка є завершеним науковим дослідженням.

Дисертаційна робота Назаренка А.В. виконана на високому науковому рівні, стосується актуальних проблем теоретичної і математичної фізики. Дисертант продемонстрував досконале володіння методами теоретичної і математичної фізики. Конкретні її результати можуть бути використані в різних областях теоретичної фізики таких як ядерна фізика, астрофізика, квантова теорія гравітації тощо.

Дисертаційна робота Назаренка А.В. “Статистичні властивості систем із сильною взаємодією та ефекти гравітації” задовольняє всі вимоги “Порядку присудження наукових ступенів”, затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України № 567 (зі змінами) від 24 липня 2013 року щодо дисертаційних робіт на здобуття наукового ступеня доктора наук, а її автор – Назаренко Андрій Володимирович – заслуговує на присудження йому наукового ступеня доктора фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.02 – теоретична фізика.

Офіційний опонент
завідувач відділу
диференціальних рівнянь і теорії функцій
Інституту прикладних проблем механіки
і математики ім. Я.С. Підстригача НАН України
доктор фізико-математичних наук,
старший науковий співробітник



В.О. Пелих

Підпис В.О.Пелиха засвідчую
вчений секретар ІППММ ім. Я.С.Підстригача
НАН України



О.З.Кравчишин