

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

Властивості взаємодій між частинками визначають можливі стани макроскопічних систем, вивченню яких присвячена дисертаційна робота Назаренка А.В. У ній використовуються сильна і гравітаційна взаємодії, теорії яких, зазвичай, спираються на концепцію поля.

За умови відсутності вільного випромінювання існує можливість опису систем без полів взаємодії, тобто в термінах прямої взаємодії між частинками з використанням ефективних потенціалів. Один з підходів до побудови таких моделей полягає у виключенні поля за допомогою підстановки розв'язку польових рівнянь із збереженням симетрій вихідної системи.

Обидві альтернативи сприяють виявленню значимих механізмів взаємодії, а, отже, глибшому і різнобічному дослідженню систем частинок. Тому, важливою рисою дисертації є їх спільне застосування під час вивчення ефектів сильної і гравітаційної взаємодій, які обумовлюють існування зв'язаних станів у елементарних частинок і макрооб'єктів у Всесвіті. Окрім того, наукову вагу має розвиток аналітичного опису систем багатьох частинок із вказаними взаємодіями в рамках статистичного підходу.

Побудова теоретичного опису ядерної і темної матерії, відомості про властивості яких одержуються експериментально, є важливою задачею фізики, а їх спільний розгляд завдячує застосуванню статистичної фізики і виявленню подібних термодинамічних станів і фазових переходів між ними.

Часто нові ефекти в системах багатьох частинок є наслідком залучення нових членів самовзаємодії, зокрема тричастинкової. За відносно великих густин, такий тип взаємодії враховується в системі піонів і в моделі темної матерії. Подібні модифікації потребують окремого дослідження, а результати впливають на подальший розвиток всієї теорії.

Разом з тим, розмаїття фізичних явищ пов'язане з участю й інших взаємодій як електромагнітна і розсіювальна. Так, врахування відштовхувальних взаємодій іншої природи дозволяє уникнути колапсу через конкуренцію із притягальною сильною і гравітаційною взаємодіями і розглянути низку фізично цікавих і нових термодинамічних станів і переходів. Це потребує розширення кола задач, що відображено в дисертації.

Окрім того, додаткові взаємодії повинні також проявлятися у квантових спектрах систем зі скінченним числом ступенів вільності.

Прикладом служить модель топологічної квантової гравітації у малому числі вимірів, пов'язана з проявом додаткових компактних вимірів простору. Вона природно доповнює картину досліджень і поглиблює розуміння процесів основних задач дисертації.

Завдяки інтенсивному математичному вивченню деформованих алгебр за останні десятиліття, з'явилася нова перспектива включення додаткових взаємодій у фізичні моделі для опису як нових міжчастинкових взаємодій так і складеної структури розглядуваних частинок. Незважаючи на феноменологічний і пошуковий характер деформацій, результати їх врахування створюють можливість для експериментальної перевірки. Така техніка в дисертаційній роботі застосована до задач про випромінювання абсолютно чорного тіла і в моделі темної матерії з парною взаємодією, що дозволяє одержати, безперечно, низку нових і цікавих результатів.

Таким чином, можна стверджувати, що тема дисертаційної роботи Назаренка "Статистичні властивості систем із сильною взаємодією та ефекти гравітації" є актуальною і важливою для теоретичної і математичної фізики.

Дисертація складається з анотації (двома 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 обгрунтовано 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, на яких доповідалися результати дисертації.

Перший розділ охоплює моделі ядерної і нейтронної матерії, а також модель системи заряджених піонів. Причому, ядерна матерія описується за допомогою як теоретико-польової моделі в конформно-плоскому просторі-часі так і в рамках теорії прямої взаємодії, вигляд якої формується з класичних розв'язків для мезонних полів в просторі Мінковського. З отриманих термодинамічних функцій впливає існування рідкої (зв'язаної) і газоподібної фаз ядерної матерії та системи піонів. Одержано критичні параметри фазового переходу першого роду типу рідина-газ. Виведена залежність енергетичного спектру від густини в надплинній нейтронній матерії з прямою взаємодією в наближенні Бардіна–Купера–Шріфера.

У **другому розділі**, на основі розв'язку кінетичного рівняння для невзаємодіючих частинок виявлено вплив поперечних потоків партонів на ранньому етапі ядро-ядерних зіткнень на спостережувані величини. Використовуючи розв'язки рівняння Вілера–Девіта для хвильової функції моделі, що описує гравітаційне поле у звичайних трьох і додаткових вимірах, збурення якого обумовлене кварк-глюонною речовиною, надано оцінки для

ймовірності прояву і можливого числа додаткових вимірів. Накладаючи обмеження на максимальну енергію частинок, введено новий закон додавання 4-імпульсів в рамках подвійної спеціальної теорії відносності. З його врахуванням обчислено термодинамічні функції випромінювання абсолютно чорного тіла в наближенні середнього поля і отримана модифікація закону Стефана–Больцмана за температури Планка.

У **третьому розділі**, за допомогою рівнянь $(2+1)$ -вимірної гравітації Черна–Саймонса, а також геометричних інваріантів ріманової поверхні описана часова еволюція геометрії компактних просторів з топологією тора (роду один) і кренделя (роду два). Після квантування моделей, обчислено квантові спектри геометричних характеристик: просторово і часо-подібного інтервалів, площі. У тороїдальному просторі виявлено ефект розщеплення вироджених квантових рівнів власного часу, зумовлений додатковою взаємодією. Керуючись результатами мультифрактального аналізу, в наближенні ланцюгів Маркова описано спектр довжин двовимірних графів, згенерованих групою Фукса для версії поверхонь роду два.

У **четвертому розділі**, за допомогою відомої процедури редукції польових ступенів вільності в системі точкових частинок з польовою гравітаційною взаємодією отримано десять генераторів групи Пуанкаре з прямою міжчастинковою взаємодією у першому порядку наближення за гравітаційною сталою. Після поєднання отриманих результатів з прямою електромагнітною взаємодією отримано гамільтоніани слабо неідеальної системи точкових зарядів з гравітаційною взаємодією в калібруваннях Кулона і Лоренца. У запропонованій схемі обчислень, незалежній від калібрування, одержано термодинамічні функції в наближенні Дебая–Хюкеля для опису ефекта екранування в релятивістському випадку. Окрім того, виходячи з точного розв'язку Маджумдара–Папапетру рівнянь Ейнштейна–Максвела для екстремальних чорних дір надано оцінку для середнього значення гравітаційної затримки часу в статистиці Бозе–Ейнштейна, інфінітній, класичній і Фермі–Дірака.

П'ятий розділ дисертації присвячений дослідженню властивостей темної матерії як конденсату Бозе–Ейнштейна з парною і тричастинковою взаємодіями. Застосовуючи модель з парною взаємодією для опису темної матерії гало карликових галактик, показано, що деформація комутаційного співвідношення для хвильової функції, зумовлена припущенням про складеність частинок темної матерії, відтворює ефект суцільного обертання у відомих виразах для функції розподілу і ротаційних кривих. З іншого боку, на основі чисельно отриманих розв'язків польових рівнянь типу Гросса–Пітаєвського–Пуасона моделі з тричастинковою взаємодією, а також обчислених термодинамічних функцій продемонстрована можливість існування рідино- і газоподібної фаз в темній матерії ядра галактики.

До основних результатів дисертації можна віднести такі:

- На основі запропонованої польової моделі ядерної матерії у конформно-плоскому просторі-часі і побудованої моделі з прямою взаємодією між нуклонами у просторі-часі Мінковського виведено рівняння стану і знайдено критичні параметри фазового переходу рідина-газ в ядерній матерії за різних значень масштабного фактору.
- Для побудованої польової моделі системи піонів із сильною взаємодією обчислено термодинамічні функції за різних умов, за допомогою яких виявлено густі (рідкі) і газоподібні фази речовини.
- На основі розв'язку кінетичного рівняння для невзаємодіючих партонів обчислено їх поперечні потоки і показано, що врахування потоків в картині ядро-ядерних зіткнень приводить до кращого узгодження теоретичних передбачень з експериментальними даними.
- За допомогою розвиненої квантової моделі в просторі з додатковими компактними вимірами та її аналітичних розв'язків надано ймовірнісне обмеження на число додаткових вимірів за наявності кварк-глюонної речовини в зіткненнях ядер.
- Описано розщеплення вироджених рівнів власного часу в моделі $(2+1)$ -вимірної гравітації в теорії Черна–Саймонса з додатковою взаємодією у просторі з топологією тора.
- На основі обчислених термодинамічних функцій і модифікованого закону Стефана–Больцмана виявлено обмеження на густину енергії випромінювання і наявність порогової температури в моделі випромінювання абсолютно чорного тіла із запропонованим законом додавання 4-імпульсів, який обмежує максимальну енергію квантів.
- Знайдено різні середні значення гравітаційної затримки часу в ансамблі екстремальних чорних дір, ймовірність конфігурацій яких задається статистикою Бозе–Ейнштейна, інфінітною, Фермі–Дірака і класичною.
- На основі чисельних розв'язків рівнянь типу Гросса–Пітаєвського–Пуасона виявлено рідино- і газоподібну фази в моделі бозе-конденсатної темної матерії з тричастинковою взаємодією.

Результати є новими і обґрунтованими, опубліковані у провідних фахових виданнях. Автореферат у повній мірі відображає зміст дисертації.

Проте є деякі зауваження і побажання:

1. У розділі 1.1, при виведенні гамільтоніану системи нуклонів бракує оцінок (умов), на підставі яких нехтується внеском античастинок і залежністю матричного елемента взаємодії від імпульса передачі.
2. У розділі 1.1 відсутнє означення згаданої миттєвої форми релятивістської динаміки.

3. У розділі 2.1, кінетичне рівняння вільного розльоту партонів, яке розв'язується, слід було записати в окремому рядку з номером, а не в тексті. Відсутній вигляд його розв'язку, записаний як підстановка аргументів функції розподілу.
4. У розділі 3.2 бракує означення параметрів Фенхеля–Нільсена.
5. У розділі 4.2, через відсутність пояснень незрозумілою є мета перетворень (4.79)–(4.83) (запис взаємодії у вигляді білінійної форми).

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

Дисертаційна робота А.В. Назаренка виконана на високому науковому рівні, відображає актуальні проблеми теоретичної і математичної фізики. Дисертант продемонстрував володіння методами теоретичної і математичної фізики. Її результати можуть бути використані в різних областях теоретичної фізики таких як ядерна фізика і астрофізика.

Дисертаційна робота А.В. Назаренка “Статистичні властивості систем із сильною взаємодією та ефекти гравітації” задовольняє 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.

Головний науковий співробітник
відділу математичної фізики
Інституту математики НАН України,
доктор фізико-математичних наук,
професор



О.Л. Ребенко