

Відгук

офіційного опонента на дисертаційну роботу Гнатенко Христини Павлівни «Вплив квантованості простору на властивості класичних і квантових систем», подану на здобуття наукового ступеня доктора фізико-математичних наук зі спеціальності 01.04.02 – теоретична фізика

Уже із самої назви дисертації видно, що вона стосується фундаментальних основ саме тієї області сучасної фізики, що межує з новою фізикою, контури якої ледь вимальовуються серед множин можливих Всесвітів, чорних дір, квантованого простору та іншої «фізичної екзотики». Ідея квантованого простору тісно пов'язана з планківською довжиною, а для дослідження його структури застосовувалися різні деформовані алгебри (Снайдера, Кемпфа, Лі та інших). Хоча такі деформовані алгебри для операторів координат та імпульсів описують простори з мінімальною довжиною, однак вони наштовхуються на проблеми порушення закону збереження енергії та принципу еквівалентності.

У зв'язку з існуванням означених проблем виникає актуальне завдання розробки такої теорії квантованого простору, яка відповідає усім фундаментальним законам та принципам. Саме такі задачі успішно розв'язуються у дисертаційній роботі Гнатенко Х.П.

Актуальність досліджуваної в дисертації теми підтверджується і її зв'язками з одним міжнародним проектом, трьома проектами держбюджетних тем, двома проектами ДФФД та Грантом Президента України, у яких дисертантка була як виконавцем, так і науковим керівником.

Хоча актуальність досліджуваної теми приваблює до неї багатьох відомих вчених з провідних наукових центрів, дисертаційна робота Гнатенко Христини Павлівни **відзначається безперечною новизною, оригінальністю та послідовністю виконання.**

Аналізуючи основний зміст дисертаційної роботи, варто відзначити

таке. У перших двох розділах детально розглянуто й проаналізовано основні типи деформаційних комутаційних співвідношень (Снайдера, Кемпфа, Лі) та узагальнено алгебру Снайдера для координат та імпульсів різних частинок. На основі висловленої (і конкретно реалізованої) ідеї про залежність параметрів деформації від маси у згаданих алгебрах, показано, що фундаментальні закони й принципи фізики виконуються точно.

Цікаві дослідження алгебри з некомутативними координатами та імпульсами канонічного типу виконані у третьому розділі. Тут у шестивимірному фазовому просторі розраховано мінімальну довжину, а в чотиривимірному – досліджено рух системи вільних частинок і виявлено, що їх відносний рух впливає на рух центра мас. Остання проблема зникає, якщо параметри координатної та імпульсної некомутативностей, відповідно, обернено й прямо пропорційні масі частинки.

У цьому ж розділі запропоновано узагальнення некомутативної алгебри для різних частинок та показано, що в шестивимірному просторі виникають типові проблеми, які ліквідуються щойно згаданими умовами на координатні та імпульсні некомутативності.

Розвинена теорія дала можливість авторці дисертації виконати важливе дослідження впливу некомутативності координат та імпульсів на характеристики руху системи Сонце-Земля-Місяць, а також розрахувати верхні межі параметрів імпульсної некомутативності для електронів і нуклонів, які на десять порядків покращують відомі з літератури.

Четвертий розділ, у якому досліджувалася проблема порушення симетрії відносно інверсії часу, виявився не лише цікавим, а й інтригуючим, оскільки у некомутативній алгебрі канонічного типу перетворення для координат та імпульсів залежить від представлення. Наслідком стала нефізична ситуація, при якій періоди руху частинки по колу у гравітаційному полі залежать від напрямку цього руху. Однак, маючи значний досвід у «фізико-математичній боротьбі» з непокірністю некомутативних деформованих просторів, Гнатенко Х.П. винайшла

належний спосіб доозначити тензори координатної та імпульсної некомутативностей через додаткові імпульси (P_i^a , P_i^b) й отримала алгебру не лише інваріантну відносно інверсії часу, а й зі сферичною симетрією.

У **п'ятому розділі** наведено багато важливої інформації стосовно властивостей одно- та багаточастинкових систем у квантованому фазовому просторі зі збереженою сферичною симетрією. Спочатку показано, що поправки першого й другого порядків до енергетичних рівнів системи відсутні, якщо гамільтоніан системи замінюється його усередненням на хвильових функціях основного стану гармонічних осциляторів. На основі розробленого підходу проаналізовано вплив некомутативностей на енергетичні рівні атомів звичайного водню, мюонного водню та антипротонного гелію. Виявилось, що саме спектр мюонного атома водню з орбітальним числом $l > 1$ майже на сім порядків переважає координатні некомутативні поправки атома водню.

У **шостому розділі** виконано узагальнення некомутативної алгебри Лі типу для багатьох частинок.

Досліджено розраховані енергетичні рівні симетричної мережі N осциляторів у однорідному полі та ланцюжка N гармонічних осциляторів з періодичними умовами. У першій системі вплив некомутативності збільшується зі збільшенням числа частинок (N), а в другій – спектри систем у квантованому й неквантованому просторах з точністю до другого порядку за параметрами некомутативності збігаються між собою і лише частоти відрізняються.

У цьому ж розділі виконано узагальнення некомутативної алгебри у просторі з деформацією кручення для координат та імпульсів різних частинок. Встановлена умова на параметри алгебри, при якій зникає проблема кінематичних змінних, координати центра мас системи не залежать від імпульсів відносного руху та зберігається слабкий принцип еквівалентності.

Особливо варто виділити **сьомий розділ**, у якому не лише міститься

інформація про зв'язок нулів статсуми з нулями кореляційних функцій бозе-газу у просторі з мінімальними довжиною та імпульсом, а й відкривається перспектива експериментального спостереження нулів статсуми бозе- та спінових систем.

Вивчена лінійна за квадратами координат та імпульсів деформація комутаційного співвідношення, яка пов'язана з q -деформованою алгеброю бозонних операторів породження й знищення. Розглянута система N невзаємодіючих та взаємодіючих бозе-частинок та досліджено зв'язок нулів статсуми (Фішера та Лі-Янга, відповідно) з нулями кореляційних функцій як експериментально спостережуваними величинами.

У цьому ж розділі вивчено систему з гамільтоніаном типу Ізінга чи Гейзенберга, яка містить пробний спін у комплексному магнітному полі та його взаємодію з системою. Встановлено, що нулі кореляційної функції є нулями статсуми.

Результати наукових досліджень Гнатенко Х.П. викладені в дисертації хорошою українською мовою у логічній послідовності. Вони цілком обґрунтовані, базуються на адекватних моделях досліджуваних систем, до аналізу яких застосований необхідний математичний апарат. Висновки роботи обґрунтовані, переконливі й будуть корисними не лише для теоретиків, а й для експериментаторів, які виконують дослідження у відповідній області фізики.

Результати дисертаційної роботи опубліковані у двадцяти чотирьох журнальних статтях, більшість яких відзначаються високими імпаکت-факторами, у розділі монографії та дванадцятьох тезах доповідей на міжнародних та українських конференціях.

Дуже високий науковий рівень дисертації Гнатенко Х.П. не викликає жодного сумніву, однак у мене залишається три запитання й одне зауваження.

1. Розглядаючи проблему порушення симетрії відносно інверсії часу у просторі з некомутативністю координат та імпульсів канонічного типу,

виявлено, що перетворення координат та імпульсів залежить від представлення. Отже, у випадку руху частинки по колу у гравітаційному полі виявилось, що періоди руху по колу в різних напрямках відрізняються лише із-за різних знаків параметрів координатної та імпульсної некомутованостей. Однак за умови $\eta = -\frac{km}{R_0^3}\Theta$ різниця зникає й

$$\text{отримується єдиний період } T = 4\pi / \sqrt{\frac{4k}{mR_0^3} \left(1 + \sigma^2 + \frac{km}{R_0^3} \Theta^2 \right)}.$$

Отже, виникає запитання: чи наведена умова також достатня, щоб зняти проблему порушення симетрії відносно інверсії часу?

2. При дослідженні оператора Гамільтона в некомутованому фазовому просторі канонічного типу зі сферичною симетрією застосовано цікавий і конструктивний математичний прийом виділення з повного гамільтоніана (H) його усередненого виразу (H_0) на хвильових функціях гармонічних осциляторів в основних станах. У зв'язку з цим виникають питання:

а) чи будуть достатньо коректними поправки до високих енергетичних рівнів, а особливо тих, які відповідають непарним станам;

б) чи не варто виконувати усереднення H на лінійній комбінації парних та непарних функцій гармонічних осциляторів з подальшою мінімізацією за уведеними параметрами, вважаючи їх варіаційними.

3. Чи відомі роботи, в яких вивчається вплив квантованості простору на властивості систем у релятивістській квантовій механіці. Чи Ви робили спроби таких узагальнень і, якщо так, то які причини виникаючих утруднень на цьому шляху?

4. Хоча дисертаційна робота й автореферат написані доброю українською мовою, однак вони не позбавлені дрібних описок, як правило зумовлених комп'ютерним набором тексту. Наприклад, в авторефераті на сторінці 17 замість l_p^2 повинно бути l_p , на сторінці 20 замість «вплив некомутованості координат та енергетичні рівні» повинно бути «вплив некомутованості координат на енергетичні рівні», на сторінках 23 й 24

порядок операторів a, a^+ повинен бути оберненим.

Однак висловлені зауваження не знижують твердої впевненості у високопрофесійному виконанні дослідницької роботи Гнатенко Христини Павлівни. Сама робота та зроблені в ній висновки відповідають змісту опублікованих наукових праць та цілком повно викладені в опублікованих роботах. Основні висновки й наукові твердження дисертантки цілком обґрунтовані й не викликають жодного сумніву, а сама робота справляє дуже позитивне враження.

Зміст автореферату адекватно відповідає змісту дисертаційної роботи й відображає її основні положення.

Підсумовуючи можна стверджувати, що за кількістю та вагомістю отриманих результатів дисертаційна робота «Вплив квантованості простору на властивості класичних і квантових систем» Гнатенко Христини Павлівни є завершеною працею, в якій отримано нові науково обґрунтовані теоретичні результати, що в сукупності вирішують важливу наукову проблему в побудові теорії впливу квантованості простору на властивості класичних і квантових систем.

Вважаю, що дисертаційна робота «Вплив квантованості простору на властивості класичних і квантових систем» відповідає усім вимогам до такого типу робіт, а Христина Павлівна Гнатенко безумовно заслуговує присудження їй наукового ступеня доктора фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.02 – теоретична фізика.

*Завідувач кафедри теоретичної фізики
та комп'ютерного моделювання
Чернівецького національного університету
імені Юрія Федьковича,
доктор фізико-математичних наук, професор*

21.02.2020 р.

М.В. Ткач

"Підпис М.В. Ткача засвідчую"
Вчений секретар
Чернівецького національного університету
імені Юрія Федьковича

21.02.2020 р.

Н.О. Якубовська