

Рецензія

доктора фізико-математичних наук, провідного наукового співробітника відділу
квантово-електродинамічних явищ та електродинаміки адронів Інституту
теоретичної фізики імені О.І. Ахієзера Національного наукового центру
«Харківський фізико-технічний інститут»

Меренкова Миколи Петровича

на дисертаційну роботу **Костиленко Яна Олександровича**

**«Теоретико-польовий опис властивостей дейтрона та позитронію у
зображенні одягнених частинок»,**

подану на здобуття ступеня доктора філософії

в галузі знань 10 – «Природничі науки»

за спеціальністю 104 – «Фізика та астрономія»

1. Актуальність обраної теми дисертаційної роботи

Серед сучасних фізичних досліджень фізика ядра, елементарних частинок та високих енергій займає особливе становище. Чисельні відкриття в цій галузі та результати прецизійних вимірів адекватно описуються Стандартною Моделлю (СМ), яка об'єднує слабкі, електромагнітні та сильні взаємодії елементарних частинок. СМ базується на квантовій теорії поля з використанням Лагранжевого формалізму та матриці розсіювання, в якому для опису процесів в межах теорії збурень генерується діаграмна техніка. Деякі петльові діаграми призводять до ультрафіолетових розбіжностей, тому було розроблено також теорію перенормування. Хоча вона й дозволяє отримувати кінцеві результати для усіх спостережуваних, її процедуру та застосування ніяк не відображено у вихідних рівняннях та положеннях, на яких засновано саму СМ. Тому будь-який внутрішньо не суперечливий підхід, який забезпечує отримання кінцевих результатів в межах релятивістської квантової теорії, має право розглядатись як альтернативний Лагранжевому формалізму, та викликає певний інтерес.

У дисертаційній роботі Костиленка Яна Олександровича «Теоретико-польовий опис властивостей дейтрона та позитронію у зображенні одягнених частинок» виконані дослідження, які базуються на Гамільтоновому формалізмі та методі унітарних одягаючих перетворень. Цей метод розвивається з часів класичних праць Грінберга та Швебера і знайшов нове застосування в межах дослідження мезонних обмінних струмів та електромагнітних взаємодій ядер.

Вважаю, що вибрана тема дослідження відповідає напрямку сучасних досліджень у галузі фізики елементарних частинок і є **актуальною**.

2. Структура дисертаційної роботи

Дисертація має зрозумілий стиль викладення і складається з 192 сторінок, 24 рисунків та 2 таблиць. Структура роботи є наступною.

У **Вступі** сформульовано мету та завдання дослідження, вказано методи дослідження, підкреслена наукова новизна отриманих результатів, їх практичне значення, апробація та персональний внесок автора.

У **першому** розділі в історичному плані викладається концепція одягнених частинок, вказано фізичні умови, які накладаються на оператори народження та знищення та їх відповідні перетворення. Також отримано всі двочастинкові оператори, котрі описують взаємодію одягнених нуклонів за рахунок обміну векторною частинкою з квантовими числами ρ -мезона.

У **другому** розділі обговорюється проблема перенормування маси у зображенні одягнених частинок. Досліджено моделі взаємодії нуклона з ρ -мезоном та електрона з фотоном у другому порядку теорії збурень. Показано, що розбіжність, пов'язана з перенормуванням маси, скорочується безпосередньо у Гамільтоніані.

У **третьому** розділі, використовуючи метод унітарних одягаючих перетворень, побудовано нове сімейство мезонних обмінних струмів з квантовими числами π , ρ , ω , η , δ , σ мезонів які взаємодіють з одягненими нуклонами.

У **четвертому** розділі обчислено магнітний формфактор дейтрона, який розглядається як зв'язаний стан одягнених протона та нейтрона. Враховано внески діаграм з одночастинковою взаємодією та мезонними обмінними струмами.

У **п'ятому** розділі метод унітарних одягаючих перетворень застосовано для обчислення операторів взаємодії електромагнітного та електрон-позитронного полів у другому порядку теорії збурень, за допомогою яких отримано відомі диференціальні перерізи процесів квантової електродинаміки.

У **шостому** розділі обчислено енергетичний спектр та квантові стани парапозитронію, використовуючи оператори релятивістської взаємодії одягнених електрона та позитрона.

Основні результати описані у **Висновках**.

3. Наукова новизна одержаних результатів

Вагомі нові результати дисертаційної роботи можна сформулювати наступним чином:

1. Використовуючи метод унітарних одягнених перетворень, побудовано сімейство мезонних обмінних струмів, що дозволяє враховувати ефекти, які зумовлені обміном мезонами з різними квантовими числами в малонуклонних зв'язаних системах при їх взаємодії з електромагнітним полем.

2. Формалізм мезонних обмінних струмів застосовано для розрахунку магнітного формфактора дейтрона з урахуванням релятивістських ефектів в широкому діапазоні квадрата переданого імпульсу.

3. Побудовано гамільтоніан електрон-позитронного і електромагнітного полів у зображенні одягнених частинок, отримано оператори взаємодії між одягненими електронами, позитронами та фотонами, які відтворюють відомі результати у першому борнівському наближенні.

4. Обчислено енергетичний спектр парепозитронію, котрий розглядається як зв'язаний стан одягнених електрона і позитрона. Отримано першу поправку до енергії основного стану та швидкість його розпаду на два фотони.

5. На прикладі взаємодіючих полів зі спинами половина (нуклон) та одиниця (векторний мезон) показано, як поправка до маси нуклона, яка виникає за рахунок взаємодії, може бути обчислена в межах зображення одягнених частинок і як за рахунок унітарних одягаючих перетворень можна уникнути масових контрчленів на рівні Гамільтоніану.

4. Достовірність і обґрунтованість наукових положень, сформульованих у дисертаційній роботі

Теоретико-польовий метод унітарних одягаючих перетворень і зображення одягнених частинок були розроблені для опису процесів в межах гамільтонового формалізму і мають більш ніж піввікову історію. В межах цього формалізму віртуальні ефекти включені до властивостей одягнених частинок та їх взаємодій, що робить його зручним для дослідження малонуклонних систем. В дисертаційній

роботі зображення одягнених частинок поширено на розрахунки магнітного формфактора дейтрона, енергетичного спектра парапозитронію та перерізів процесів квантової електродинаміки в борнівському наближенні. Всі розрахунки виконані з контролем калібрувальної та релятивістської інваріантностей.

Отже, можна вважати представлені в дисертаційній роботі результати **достовірними та обґрунтованими.**

5. Повнота викладення наукових положень, висновків і результатів в опублікованих працях, апробація результатів роботи

Результати дисертації **повною мірою** висвітлено у шістьох статтях у вітчизняних та міжнародних наукових журналах, індексованих у Scopus, одній монографії, а також були представлені на міжнародних конференціях у Японії, Великій Британії та Німеччині.

6. Теоретичне та практичне значення одержаних результатів

Дисертаційна робота виконана в межах тематичного плану наукових досліджень Інституту теоретичної фізики ім. О.І. Ахієзера ННЦ ХФТІ. Отримані результати доповнюють та розширюють наявні уявлення про опис взаємодії ядер та елементарних частинок в межах квантової теорії поля. Нові оператори мезонних струмів є корисними для розрахунків широкого кола спостережуваних величин в електродинаміці адронів. Знайдена залежність магнітного формфактора дейтрона від квадрата переданого імпульсу стимулює його вимірювання в пружному електрон-дейтронному розсіюванні, а результати стосовно атомів позитронію потребують подальшого експериментального дослідження їх тонкої та надтонкої структури. Частка результатів має певне методологічне значення.

7. Відповідність вимогам академічної доброчесності

Дисертація містить результати власного дослідження, не містить запозичених матеріалів без належного посилання на них. Вважаю, що робота виконана з дотриманням академічної доброчесності.

8. Дискусійні положення та зауваження до дисертаційної роботи

До розглянутої дисертаційної роботи можна запропонувати такі дискусійні положення та зауваження:

1. Отримуючи нові мезонні обмінні струми, автор вважає мезони за точкові елементарні частинки, нехтуючи їх внутрішніми структурами та ширинами розпадів. У цьому зв'язку було б цікаво оцінити точність результатів, отриманих в межах методу унітарних одягаючих перетворень, та границі їх застосувань.

2. У деяких формулах, що містять велику кількість скалярних і векторних величин, важко зрозуміти, які вектори перемножуються, а які ні. Наприклад, у формулах (1.28), (1.29), (2.54), (3.53), (5.28) та інших, варто використовувати крапку на позначення скалярного множення векторів.

3. У четвертому розділі отримано магнітний формфактор дейтрона, але не вказано, чи є можливість розрахувати також електричний та квадрупольний формфактори, щоб мати вираз для структурної функції $A(q^2)$.

4. У п'ятому розділі пояснюється, як можна виконати розрахунки у вищих порядках теорії збурень для процесів квантової електродинаміки. А чи очікується відхилення від відомих результатів (якого немає для борнівського наближення).

5. До розрахунків енергетичного спектра парaposитронію, на мій погляд, не вистачає порівнянь з відовими експериментальними даними.

Зроблені зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку роботи, не зменшують вагомості та цінності отриманих при її виконанні результатів.

9. Загальні висновки

У дисертаційній роботі

- в межах методу унітарних одягаючих перетворень послідовно досліджені деякі властивості дейтрона та позитронію, а також найпростіші процеси квантової електродинаміки,

- побудовано нові мезонні обмінні струми, обчислено магнітний формфактор дейтрона, енергетичний спектр парaposитронію та перерізи процесів квантової електродинаміки в борнівському наближенні.

- отримані результати аргументовані, описані послідовно, добре оформлені та широко проілюстровані графічним матеріалом.

Наукові результати повною мірою висвітлені в статтях, і матеріалах конференцій. Дисертація Костиленко Я.О. є завершеною науково-дослідною роботою, виконаною на високому науковому рівні, не містить плагіату. Робота присвячена актуальній темі. Наукові результати є новими, уточнюють наявні знання про властивості дейтрона та позитронію і мають наукову цінність.

Дисертація задовольняє вимогам «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії» (постанова Кабінету Міністрів України від 12.01.2022 р. №44) та наказу Міністерства освіти і науки України від 12.01.2017 р. №40 «Про затвердження Вимог до оформлення дисертації».

Вважаю, що **Костиленко Ян Олександрович** заслуговує на присудження **йому ступеня доктора філософії** у галузі знань 10 – «Природничі науки» за спеціальністю 104 – «Фізика та астрономія».

Офіційний рецензент,
доктор фізико-математичних наук,
провідний науковий співробітник відділу
квантово-електродинамічних явищ та
електродинаміки адронів Інституту
теоретичної фізики імені О.І. Ахієзера
ІНЦ ХФТІ

Микола МЕРЕНКОВ