

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 **Трутня Івана Валентиновича**

«Поляризаційні ефекти в утворенні важких кварків

при високих енергіях»,

подану на здобуття ступеня доктора філософії

в галузі знань 10 – «Природничі науки»

за спеціальністю 104 – «Фізика та астрономія»

1. Актуальність обраної теми дисертаційної роботи

Незважаючи на успіхи Стандартної Моделі (СМ) елементарних частинок, яка об'єднує їхні слабкі, електромагнітні та сильні взаємодії, деякі результати сучасних експериментів не вписуються в рамки її передбачень на рівні 3-5 стандартних відхилень. Серед них порушення $\mu - e$ універсальності, яке спостерігається у розпадах b -кварків з народженням пари легких лептонів, а також у частоті $2s-2p$ переходів мюонного водню, розбіжність між передбаченнями теорії та експерименту для аномального магнітного моменту мюона і маси W -бозона. Слід також мати на увазі дані астрофізичних спостережень, які свідчать про наявність темної матерії та темної енергії, які не передбачені у СМ.

За останні роки з'явилося багато теоретичних робіт, у яких розглядаються ефекти від нових частинок і нових взаємодій, які відсутні у СМ. Пошук сигналів нової фізики поза СМ є пріоритетним для більшості експериментальних досліджень на існуючих та запланованих прискорювачах.

t -кварки займають особливе місце як у СМ, так і в дослідженнях поза нею. Завдяки дуже малому часу життя, вони на кварковому рівні розпадаються за основним каналом з утворенням b -кварків та калібрувальних заряджених векторних бозонів, які, в свою чергу, вже перетворюються у струмені спостережуваних частинок (адронів і лептонів). Ця особливість відкриває можливість досліджувати властивості та взаємодії безпосередньо t -кварка в рамках

СМ та поза нею за допомогою вимірювання різних спостережуваних продуктів його розпаду.

У дисертаційній роботі Трутня Івана Валентиновича «Поляризаційні ефекти в утворенні важких кварків при високих енергіях» виконані дослідження можливого прояву нової фізики, використовуючи формалізм так званої «ефективної СМ», у якій вводяться нові взаємодії t -кварка з фотоном і Z -бозоном, які порушують СР-, а відтак і Т-інваріантність. Основна увага зосереджена на аналізі тих спостережуваних, які пов'язані з поляризаційними станами t -кварків.

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

2. Структура дисертаційної роботи

Дисертація має зрозумілий стиль викладення і складається з 125 сторінок, містить 25 рисунків та 6 таблиць у тексті. 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 дано короткий огляд СМ, розглянуто модифікацію лагранжіана за межами СМ (ЗСМ), наведено сучасні експериментальні обмеження на інтенсивність взаємодії поза СМ, а також характеристики електрон-позитронного компактного лінійного колайдера, який будується для вивчення властивостей t -кварка і бозона Хіггса та пошуку сигналів нової фізики.

У **другому** розділі в рамках ЗСМ з дійсними аномальними константами (аномальний магнітний та слабкий аномальний магнітний моменти), що не порушує СР-інваріантність, досліджено диференціальний переріз та поляризації t -кварків у процесі $e^+e^- \rightarrow t\bar{t}$ при повній енергії у системі центру мас (сцм) 380 Гев в залежності від кута утворення t -кварка. Отримано компоненти поляризації t -кварка у площині реакції і компоненту, перпендикулярну їй, яка виникає завдяки уявній частині амплітуди з проміжним Z -бозоном. Проаналізовано залежність усереднених за кутом компонент поляризації від значень аномальних констант у широкому діапазоні.

У **третьому** розділі наведено теоретичний формалізм для опису утворення поляризованого t -кварка з послідовним його розпадом на b -кварк і W^+ -бозон,

придатний, якщо t -кварк поблизу масової поверхні і його ширина розпаду значно менша за масу. З урахуванням поляризаційного стану проміжного t -кварка в рамках ЗСМ без порушення CP -інваріантності отримано кутовий і енергетичний розподіли b -кварка в процесі $e^+e^- \rightarrow b W^+ \bar{t}$, енергетичну та кутову (вперед-назад) асиметрії цих розподілів. Чисельні результати для різних значень аномальних констант представлені аж до повної енергії у ссм 3000 GeV.

У **четвертому** розділі підхід, застосований у третьому розділі, розширено на випадок розпаду обох, $\bar{t}$ і t -кварків. Розглянуто ЗСМ з аномальними константами, які мають також уявні частини, що дозволяє зосередитися на дослідженні порушення CP -симетрії. За відсутності експериментальних обмежень на ці уявні частини, їх значення отримано за рахунок петльової поправки з віртуальним бозоном Хігса h з додаванням взаємодії $h\bar{t}\gamma_5 t$ з уявною константою. Визначено енергетичну асиметрію кореляції між b - та $\bar{b}$ -кварками (на рівні 10^{-3}) та різницю їх середніх енергій (декілька десятків MeV) у діапазоні повної енергії у ссм до 1200 GeV, які вказують на порушення CP -симетрії.

Основні результати описані у **Висновках**.

3. Наукова новизна одержаних результатів

Вагомі нові результати дисертаційної роботи можна сформулювати наступним чином:

1. В рамках ЗСМ з урахуванням аномальних констант зв'язку обчислено усі компоненти поляризації t -кварка в процесі електрон-позитронної анігіляції у пару кварків t і $\bar{t}$. Доведено, що у площині реакції вони порядку одиниці і є чутливими до можливих сигналів «нової фізики» за межами СМ.

2. Знайдено аналітичні вирази для диференціальних перерізів процесів з участю t -кварків, один з яких розпадається на b -кварк та W -бозон, включаючи енергетичний та кутовий розподіли.

3. Отримано залежності експериментально вимірюваних енергетичної та кутової (вперед-назад) асиметрій, від дійсних аномальних констант зв'язку, що зберігають CP -симетрію, у широкому діапазоні енергій.

4. Отримано залежності енергетичної кореляційної асиметрії b - і $\bar{b}$ -кварків та різниці їх середніх енергій у процесі $e^+e^- \rightarrow b W^+ \bar{b} W^-$, які виникають

внаслідок порушення CP -симетрії, від інваріантної енергії електрон-позитронної пари.

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

Аналіз поляризаційних явищ у процесах народження пари тяжких кварків $\bar{t}$ і t та їх послідовного розпаду $t \rightarrow b W^+$, $\bar{t} \rightarrow \bar{b} W^-$ при зіткненнях електронів та позитронів високої енергії проведено на основі відомого теоретичного формалізму, у якому сучасна СМ розглядається як низко енергетична границя ЗСМ. В рамках квантової теорії поля розраховано деякі перерізи та поляризаційні спостережувані, наведено детальні математичні перетворення. Обґрунтовано вибір наближень та додаткових фізичних припущень, що забезпечують оптимальні обмеження на аномальні константи зв'язків у ЗСМ між t -кварками і носіями взаємодії. Отримані результати відповідають загально відомим фізичним закономірностям, властивим фізиці високих енергій.

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 повністю відображені в трьох наукових статтях, опублікованих у журналах, що індексуються в Scopus і належать до квантилів Q1 та Q2. Основні положення дослідження також були представлені на міжнародних та вітчизняних конференціях.

6. Теоретичне та практичне значення одержаних результатів

Наукові результати отримані як частину досліджень Інституту теоретичної фізики ім. О.І. Ахієзера, спрямованих на пошук сигналів нової фізики за межами СМ, що є пріоритетним для більшості експериментальних програм на діючих та запланованих прискорювачах і колайдерах. Використання теоретичного апарата ЗСМ в рамках квантової теорії поля дозволило глибше вивчити деякі ефекти, пов'язані з фізикою t -кварків, зокрема можливе порушення CP -симетрії. Отримані результати не тільки узгоджуються з відомими фізичними законами, але й пропонують конкретні фізичні параметри ЗСМ, які можна перевірити експериментально, що робить їх (результати) корисними для майбутніх досліджень у фізиці високих енергій.

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. Чи не варто почати обговорення ЗСМ з лагранжіану, адже вершина взаємодії (1.2) є елементом діаграмної техніки, яку саме й генерує лагранжіан (1.3)?

2. На стор. 24 згадується процес Дрелла-Яна. Чи можливо додати коротке пояснення цього процесу? Також, на стор. 27, де йдеться про розмірність операторів, варто уточнити, що йдеться про розмірність в імпульсному просторі.

3. Деякі речення виглядають незрозумілими (наприклад, стор. 62, «Для встановлення прямого», стор. 62 «Комплексно спряжені ...»). Також у тексті є деякі помилки.

4. У формулі на стор. 61 для F бракує квадратного кореня, а в рівнянні (3.18) – на стор. 65 – множника $dLips(i)$.

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

9. Загальні висновки

У дисертаційній роботі

- послідовно розглянуто процес анігіляції електрон-позитронної пари з утворенням t -кварків і досліджено чутливість його перерізу та поляризації t -кварків до можливих відхилень від Стандартної Моделі;

- знайдено аналітичні вирази для диференціальних перерізів каскадних процесів із поляризованими t -кварками, які розпадаються на b -кварк та W -бозон, зокрема для випадків з аномальними константами зв'язку;

- проаналізовано залежності експериментально вимірних енергетичних кореляційних асиметрій, що виникають через порушення CP -симетрії, від інваріантної енергії електрон-позитронної пари;

- представлено графічні залежності отриманих перерізів та асиметрій, які можуть бути використані для планування та розробки експериментальних програм на майбутніх колайдерах високих енергій.

Наукові результати повною мірою висвітлені в статтях і матеріалах конференцій. У дисертаційній роботі результати описані послідовно та добре аргументовані. Дисертація Трутня І.В. є завершеною науково-дослідною роботою, виконаною на високому науковому рівні, не містить плагіату. Робота присвячена актуальній темі. Наукові результати є новими, уточнюють існуючі знання про пошуки можливих відхилень від Стандартної Моделі фізики елементарних частинок у процесі електрон-позитронної анігіляції та можуть бути корисними для майбутніх експериментальних досліджень. Отже, вважаю, що результати дисертації 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 **Трутен Іван Валентинович** заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в 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

ПРОТОКОЛ
створення та перевірки кваліфікованого та удосконаленого електронного підпису

Дата та час: 23:21:50 10.11.2024

Назва файлу з підписом: Рецерзія.Меренков-Трутенъ.pdf.asice
Розмір файлу з підписом: 235.7 КБ

Перевірені файли:

Назва файлу без підпису: Рецерзія.Меренков-Трутенъ.pdf
Розмір файлу без підпису: 237.9 КБ

Результат перевірки підпису: Підпис створено та перевірено успішно. Цілісність даних підтверджено

Підписувач: Merenkov Mykola

П.І.Б.: Merenkov Mykola

Країна: Україна

РНОКПП: 1635107559

Час підпису (підтверджено кваліфікованою позначкою часу для підпису від Надавача): 23:22:12 10.11.2024

Сертифікат виданий: "DIIA". Qualified Trust Services Provider

Серійний номер: 6669243D2B04331D040000004E693001F89EEA02

Алгоритм підпису: ECDSA

Тип підпису: Кваліфікований

Тип контейнера: Підпис та дані в архіві (розширений) (ASiC-E)

Формат підпису: З повними даними ЦСК для перевірки (CAdES-X Long)

Сертифікат: Кваліфікований

Версія від: 2024.10.24 15:00