

ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА
Горкавенка Володимира Миколайовича
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

Дисертаційна робота Івана Валентиновича Трутня присвячена актуальній і перспективній темі фізики високих енергій, а саме — дослідженню поляризаційних ефектів, що виникають під час утворення та подальшого розпаду топ-кварків у процесах анігіляції електрона і позитрона при високих енергіях. Оскільки топ-кварки є найважчими відомими елементарними частинками і їх стала зв'язку з бозоном Хіггса є найбільшою, то властивості топ-кварків та їх поведінка відіграють ключову роль у розумінні фундаментальних аспектів Стандартної Моделі фізики елементарних частинок (СМ). Поляризаційні ефекти, що виникають під час утворення важких кварків, є важливими для визначення спінових характеристик утворених частинок і дозволяють досліджувати прояви окремих додаткових ефективних доданків лагранжіану СМ, а саме операторів вищих розмірностей, в рамках формалізму ефективної теорії поля. Такі доданки можуть індукуватися за рахунок петльових взаємодій в СМ, але в сталу зв'язку поблизу цих операторів можуть давати внесок і частинки за межами СМ. Відповідно, проведені дослідження в дисертаційній роботі поляризаційних ефектів можуть допомогти виявити ефекти фізики за межами СМ.

Актуальність теми обумовлена також перспективами майбутніх експериментів на лінійних електрон-позитронних колайдерах, таких як Compact Linear Collider (CLIC), International Linear Collider (ILC) та Future Circular Collider (FCC), де можна буде напряму дослідити процеси електрон-позитронної анігіляції з утворенням топ-кварків при більш великих енергіях оминаючи складнощі опису протон-протонних взаємодій в експериментах на Великому Адронному Колайдері. Такі експерименти забезпечать необхідну чутливість для вивчення поляризаційних характеристик і виявлення ефектів, що виходять за межі СМ.

Проблема пошуку та дослідження ефектів за межами Стандартної Моделі є надзвичайно актуальним питанням сучасної теоретичної та експериментальної фізики. Такі явища як осциляції активних нейтрино, баріонна асиметрія Всесвіту та відсутність кандидати на роль частинки темної матерії однозначно вказують на існування нової фізики за межами СМ. В цьому сенсі пошук проявів нової фізики в поляризаційних ефектах народжених частинок Стандартної Моделі є чудовим доповненням до прямого пошуку нових частинок в колайдерних експериментах таких як FACET, FASER, SHiP, NA62, DUNE та майбутніх експериментах на FCC.

Дисертаційна робота, яка планується до захисту, представлена вперше і має структуру, що складається зі вступу, чотирьох основних розділів, висновків, списку літератури та додатків.

У **Вступі** обґрунтована актуальність основних напрямків досліджень, показаний зв'язок роботи з науковими планами та темами, сформульовано мету та задачі дослідження, продемонстровано, в чому полягає новизна та практичне значення отриманих результатів, висвітлено особистий внесок здобувача при отриманні результатів та вказано, де були апробовані результати дисертаційної роботи.

Перший розділ дисертації містить короткий теоретичний огляд проблем СМ та обґрунтування актуальності досліджень в дисертаційній роботі. Автор знайомить з основними положеннями Стандартної Моделі. Особлива увага приділяється топ-кварку, його виділеним властивостям та ролі в дослідженнях нової фізики. Розглянуто ефективний лагранжіан для опису ефективної взаємодії γtt та Ztt , що є основою для подальших розрахунків у дисертаційній роботі. Наведено огляд перспективних експериментів на майбутньому компактному лінійному колайдері, які можуть виявити ефекти, передбачені різними розширеннями СМ.

Другий розділ присвячено теоретичному опису поляризаційних ефектів народження топ-кварків у процесах електрон-позитронної анігіляції. Автор досліджує залежність компонент поляризації топ-кварка від кута розсіювання, обчислює ефекти, що виникають внаслідок ефективної взаємодії γtt та Ztt , що описується операторами розмірності 6. Розрахунки показують, що зазначені ефективні взаємодії мають суттєвий вплив на поляризацію народжених топ-кварків, що є важливим для перевірки теорій за межами СМ. Результати цього розділу можуть бути використані для інтерпретації

майбутніх експериментальних даних і є основою для наступних розділів дисертаційної роботи.

Третій розділ присвячений аналізу енергетичних і кутових розподілів боттом-кварка, що утворюються при розпаді топ-кварка. Використання операторів ефективної теорії поля з розмірністю 6 дало змогу з високою точністю розрахувати зазначені розподіли, які можуть бути важливими для майбутніх експериментів. Отримані результати надають точні передбачення щодо поведінки кінцевих частинок, що є цінним для подальших досліджень народження частинок на електрон-позитронних колайдерах.

Четвертий розділ розглядає енергетичні кореляції між боттом-кварками, що утворюються у процесі розпаду топ-кварків, народжених в процесі електрон-позитронної анігіляції. Проведено розрахунок асиметрії та інших характеристик розподілу продуктів розпаду, які залежать від ефективних взаємодій. Результати цього розділу демонструють чутливість енергетичних кореляцій до параметрів CP -порушуючих і CP -зберігаючих складових ефективних взаємодій, що дозволяє використовувати ці кореляції для виявлення нових фізичних ефектів. Такі характеристики також можуть бути інформативними у майбутніх експериментальних дослідженнях на електрон-позитронних колайдерах наступного покоління.

Дисертаційна робота містить низку нових наукових результатів:

1. Проведено ґрунтовний аналіз залежності поляризаційних компонент топ-кварків народжених в результаті електрон-позитронної анігіляції від кута розсіювання. Показано, що ефективні взаємодії γtt та $Z tt$ у вигляді операторів розмірності 6 мають значний вплив на поляризацію народжених частинок. Показано, що дослідження поляризаційних ефектів є гарним інструментом для пошуку фізики за межами СМ.
2. Автор запропонував методи аналізу енергетичних і кутових розподілів боттом-кварка в реакціях $e + e^+ \rightarrow t\bar{t} \rightarrow bW^+\bar{t}$, а також $e + e^+ \rightarrow t\bar{t} \rightarrow bW^+\bar{b}W^-$, в яких можуть проявити себе оператори ефективної взаємодії вищих розмірностей та фізика за межами СМ.
3. Виявлено, що асиметрії у розподілах боттом-кварків мають високу чутливість до параметрів ефективної взаємодії у вигляді операторів вищих розмірностей, що відкриває нові можливості для виявлення таких ефектів у майбутніх високоенергетичних експериментах.

4. Проведено аналіз CP-порушуючих асиметрій в розподілах народжених боттом-кварків, як функції від енергії електрон-позитронної пари та параметрів ефективної взаємодії.

Висока оцінка якості та обсягу проведених досліджень підтверджується публікаціями у високореєтингових фахових журналах та не викликає сумнівів. Попри високу якість дисертації, є декілька зауважень, які не знижують її наукової цінності:

1. В першому розділі дисертаційної роботи в якості мотивації дослідження та пошуку ефектів за межами Стандартної Моделі наводиться проблема значення маси W -бозонів з посиланням на результати 2022 року колаборації Фермілаб. Але не зазначено, що за результатами досліджень 2024 року на Великому Адронному Колайдері ця проблема була вирішена більш точними вимірюваннями маси W -бозонів. Так само стан проблеми аномального магнітного моменту мюона наводиться лише за результатами роботи 2021 року, хоча відбувся значний прогрес в розумінні цієї проблеми в подальших дослідженнях. В цьому контексті дивно, чому автор не згадує в якості мотивації пошуку фізики за межами Стандартної Моделі такі очевидні проблеми СМ, як осциляції активних нейтрино, баріонну асиметрію Всесвіту та відсутність кандидата в СМ на роль частинки темної матерії. Ці явища є доведеним фактом і не можуть бути відкинуті в результаті більш точних вимірювань чи більш коректної процедури постановки експерименту.
2. В першому оглядову розділі дисертаційної роботи мені також хотілося б бачити обговорення того, яка саме може бути фізика за межами Стандартної Моделі. Дисертаційну роботу лише б покращило хоча б поверхневе обговорення можливих розширень СМ у вигляді додавання нових скалярних (темні скаляри), ферміонних (стерильні нейтрино), векторних (темні фотони, Z' бозони) чи псевдоскалярних (аксіоноподібних) частинок.
3. В дисертаційній роботі досліджено поляризаційні стани топ- та боттом-кварків, що народжуються в результаті електрон-позитронної анігіляції. Але детекторами експериментів фіксуються не стани вільних кварків, а продукти їх подальшого розпаду та/або адронізації. В цьому сенсі було б корисно отримати характеристики саме кінцевих

мезонних чи лептонних станів, що чутливі до операторів вищих розмірностей ефективної взаємодії.

Ці зауваження, однак, не стосуються достовірності результатів і не зменшують їх важливість.

Представлена до захисту робота виконана на високому теоретичному рівні. Достовірність і обґрунтованість досліджень визначається використанням надійних математичних методів та методів обчислень, і порівнянням отриманих теоретичних знань з експериментальними даними. Результати, наведені в дисертації, опубліковані в статтях у провідних реферованих наукових журналах, що входять до наукометричної бази SCOPUS. Наукові результати та їх апробація на наукових конференціях повністю відповідають умовам п.8 «Порядку присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою № 44 Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р.

Вважаю, що дисертація Трутня Івана Валентиновича «Поляризаційні ефекти в утворенні важких кварків при високих енергіях» повністю відповідає спеціальності «104 Фізика та астрономія» та вимогам «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціальної вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 року №44. Порушень академічної доброчесності в дисертації та в наукових працях, у яких було представлено результати дисертації, мною не виявлено. Надана робота безумовно заслуговує на позитивну оцінку, а її автор, Трутень Іван Валентинович, заслуговує на присудження ступеня доктора філософії за спеціальністю «104 Фізика та астрономія».

Офіційний опонент,
доктор фізико-математичних наук,
доцент кафедри квантової теорії поля
та космомікрофізики фізичного
факультету Київського національного
університету імені Тараса Шевченка

Володимир ГОРКАВЕНКО



ПРОТОКОЛ
створення та перевірки кваліфікованого та удосконаленого електронного підпису

Дата та час: 15:45:22 10.11.2024

Назва файлу з підписом: Відгук Горкавенко.pdf.asice
Розмір файлу з підписом: 361.4 КБ

Перевірені файли:

Назва файлу без підпису: Відгук Горкавенко.pdf
Розмір файлу без підпису: 364.7 КБ

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

Підписувач: ГОРКАВЕНКО ВОЛОДИМИР МИКОЛАЙОВИЧ

П.І.Б.: ГОРКАВЕНКО ВОЛОДИМИР МИКОЛАЙОВИЧ

Країна: Україна

РНОКПП: 2885619316

Організація (установа): ФІЗИЧНА ОСОБА

Час підпису (підтверджено кваліфікованою позначкою часу для підпису від Надавача): 15:45:22 10.11.2024

Сертифікат виданий: КНЕДП АЦСК АТ КБ "ПРИВАТБАНК"

Серійний номер: 5E984D526F82F38F0400000086DD2E017FD89D05

Алгоритм підпису: ДСТУ 4145

Тип підпису: Удосконалений

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

Формат підпису: З повними даними для перевірки (XAdES-B-LT)

Сертифікат: Кваліфікований

Версія від: 2024.10.24 15:00