

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертацію Гулова Олексія Володимировича «Сигнали Z' бозона в сучасних та майбутніх експериментах з фізики високих енергій» на здобуття наукового ступеня доктора фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.02 – теоретична фізика

Актуальність теми дисертації. На початку роботи Великого гадронного колайдера (LHC) у Європейській організації ядерних досліджень (CERN), перший запуск якого відбувся наприкінці 2009 р., у фізиці високих енергій панували великі очікування й оптимізм стосовно відкриття нових горизонтів у знаннях про елементарні частинки. Окрім експериментального відкриття бозона Хігса, яке вважалося практично вирішеним питанням та відбулося в 2012 р., а також досліджень властивостей сильних взаємодій (кварк-глюонна плазма, нові гадрони, фізика кварків третього покоління), вважалося, що експерименти на LHC достатньо швидко зможуть обрати один із шляхів узагальнення стандартної моделі елементарних частинок на масштабах енергій вище декількох тераелектронвольт (TeV). Зокрема, протягом десятиріч до старту прискорювача були розроблені детальні програми пошуків суперсиметрії, W' та Z' бозонів, додаткових розмірностей простору тощо. Однак, пройшло вже вісім років роботи LHC, а жодних частинок поза стандартною моделлю так і не знайдено. Можливо, на масштабах у декілька TeV немає ніякої феноменології поза стандартною моделлю, але може статися й так, що сигнали є занадто слабкими, а методи пошуку та обробки даних є недостатньо ефективними. Оскільки LHC вже досяг запланованої енергії зіткнень протонів у 13 TeV і буде працювати при теперішніх параметрах ще не один рік, актуальним є питання про розширення методів пошуку фізики поза стандартною моделлю, розробку нових спостережуваних для обробки даних, а також шляхи посилення сигналів від нових важких частинок. Дисертація О.В. Гулова «Сигнали Z' бозона в сучасних та майбутніх експериментах з фізики високих енергій» як

раз присвячена цьому питанню і концентрується навколо опису та виділення сигналів гіпотетичного важкого нейтрального векторного бозона (Z' бозона) у зіткненнях елементарних частинок при високих енергіях. Слід відмітити, що Z' бозон розглядається як один із декількох магістральних напрямків стосовно експериментального пошуку фізики поза стандартною моделлю, тому дисертація безумовно є цікавою з точки зору сучасної літератури.

Іншою окремою задачею, що розв'язується в дисертації, є залежність спонтанного порушення симетрії в моделі скалярного поля від величини константи взаємодії. Ця проблема є актуальною у зв'язку з механізмом генерації мас частинок, космологічних фазових переходів та ін. Дослідження фазового переходу в моделях скалярного поля мають довгу історію в декілька десятиріч. Не зважаючи на те, що основні властивості моделі вважаються добре вивченими, лишаються й «білі плями»: насамперед це дискусія, що точиться в літературі стосовно питання про род фазового переходу та навколо суперечливих результатів при застосуванні різних методів обчислень. У дисертації дається можлива відповідь на це питання, а саме: род фазового переходу може змінюватися при послабленні взаємодії.

Обґрунтованість і достовірність наукових положень і висновків дисертації. Достовірність результатів, отриманих в дисертації, впливає з коректного використання методів аналітичних та чисельних розрахунків. Зокрема, використано відоме та практично перевірене комп'ютерне програмне забезпечення в галузі фізики високих енергій – пакети для аналітичних обчислень FeynArts і FormCalc, пакети чисельних розрахунків LoopTools і ZFITTER, генератори Монте-Карло FEWZ, бібліотеки функцій розподілу партонів MSTW. У роботі аналізуються систематичні похибки обчислень, досліджується стійкість отриманих результатів відносно них. При використанні партонної моделі гадронів проводилося загальноприйняте варіювання енергетичних масштабів факторизації та ренормування. Результати обробки різних процесів розсіювання різними статистичними методами добре узгоджуються між собою, що також є аргументом на користь

достовірності результатів. У комп'ютерних симуляціях Монте-Карло на решітці належним чином застосовувалися стандартні технічні прийоми: термалізація, запобігання автокореляції при вимірюваннях, досліджувалася незалежність результатів від скінченного об'єму.

Новизна результатів дисертації. Визначення найбільш ефективної з точки зору детектування сигналу міри для інтегрування диференціального перерізу розсіювання є новим і оригінальним підходом, який не має аналогів у літературі. Це дозволило вперше знайти найбільш ефективні з точки зору статистичної обробки даних спостережувані для пошуку Z' бозона. Новим результатом є комплексна обробка даних різних експериментів з метою виміряти константи взаємодії Z' бозона зі струмами лептонів та кварків.

Новою для літератури задачею є дослідження фазового переходу в моделі скалярного поля з потенціалом четвертого степеня в надзвичайно широкому інтервалі значень константи взаємодії (п'ять порядків). Екстремально малі константи взаємодії в цій популярній моделі досі системно не досліджувалися методом Монте-Карло на решітці. У дисертації вперше надається новий і цікавий розв'язок давньої дискусії про род фазового переходу у моделі.

Практичне значення результатів, отриманих у дисертації. Значення максимальної правдоподібності та інтервали довіри для констант взаємодії Z' бозона з ферміонними струмами, отримані в дисертаційній роботі з сукупності даних минулих експериментів на Великому електрон-позитронному колайдері та прискорювачі Теватрон, а також на сучасному колайдері LHC, можна рекомендувати використовувати разом із поточними результатами експериментальних колаборацій ATLAS і CMS при дослідженні ефектів від існування Z' бозона в широкому колі задач сучасної фізики елементарних частинок. Розроблені спостережувані для пошуку сигналів Z' бозона в процесах розсіювання лептонів можуть бути включені в експериментальні програми на майбутніх лептонних прискорювачах – Міжнародному лінійному колайдері та/або Компактному лінійному

колайдері. Результати щодо фазового переходу в моделі скалярного поля становлять інтерес для квантової теорії поля на решітці, космології ранішнього Всесвіту та для фізики конденсованого стану.

Повнота викладення результатів в опублікованих працях.
Результати досліджень, виконаних у дисертації, повною мірою викладено у відповідних публікаціях у періодичних виданнях та працях міжнародних конференцій, зокрема в 11 публікаціях, що індексуються в наукометричній базі даних SCOPUS. Автореферат дисертації відповідає змісту дисертації, основні результати та висновки вірно відображають сутність роботи. Дисертація та автореферат оформлені згідно з вимогами МОН України.

Дискусійні питання, зауваження та недоліки дисертаційної роботи.
Щодо дисертації можна висловити наступні дискусійні питання:

1. У розділі 2 в таблиці 2.3 зазначається, що для деяких енергій використовувалися «попередні» дані, а для інших – «остаточні» дані експериментів на Великому електрон-позитронному колайдері. У зв'язку з тим, що цей експеримент давно завершений, поняття «попередні» є незрозумілим. Чи означає це, що існують якісь інші дані, які мають кращу якість, але чомусь не враховувалися в результатах?

2. У розділі 3 на с. 132 окреслені систематичні похибки, що впливають на спостережувані для процесу розсіювання електрона та позитрона. Однак, подальшому аналізу систематичних похибок в цьому розділі не приділяється така ж увага, як у розділах 2 та 4, присвячених анігіляційним лептонним процесам або процесу Дрелла – Яна. Із чим це пов'язано, і які саме дослідження стосовно впливу систематичних похибок на результати розділу 3 проводилися?

3. У розділі 5 дисертації отримано дозволені інтервали для констант взаємодії Z' бозона з електронами та кварками, для чого використано результати експериментів на Великому гадронному колайдері при енергії зіткнень 8 TeV. Разом із тим існують дані цього експерименту при інших енергіях, які не враховувалися в цьому аналізі, а також дані експериментів

Теватрон, які згадуються лише в контексті порівняння модельно-залежного і модельно-незалежного підходів. Наскільки можлива комбінована обробка всіх даних Великого гадронного колайдера або Теватрон і що стало на заваді для такого аналізу?

4. У розділі 6 при дослідженні однокомпонентної моделі скалярного поля на решітці обрано певні значення безрозмірного параметру z (0,35 або 0,5). Чому обрано саме такі значення? Чи досліджувалися інші значення цього параметру?

До дисертації можна висловити наступні зауваження:

1. У формулі (2.41) у дисертації числа надано із зайвою кількістю знаків. Також це стосується сторінки 159 та декількох таблиць. Не всюди для результатів обробки експериментальних даних використовується стандартний запис зі степенем 10.

2. На сторінках 235-238 присутні значення констант взаємодії Z' бозона у вигляді чисел під квадратним коренем. Було б доцільно використовувати значення у вигляді звичайних чисел або записувати квадрати констант взаємодії, якщо автор вважає саме їх більш змістовними.

3. Деякі малюнки (наприклад, 2.7 і 2.9) містять невиправдано малий шрифт, який дуже важко прочитати в друкованому варіанті роботи.

4. Була б доцільна уніфікація типових позначень у 2, 3, 4 та 5 розділах, бо кожен розділ запроваджує дещо інший стиль позначень для перерізів розсіювання, спостережуваних, внесків від Z' бозона тощо.

Однак, наведені вище зауваження не впливають на загальний позитивний висновок щодо дисертаційної роботи, яку можна вважати актуальним і завершеним дослідженням з новими, достовірними та практично значущими науковими результатами. Дисертація Гулова Олексія Володимировича «Сигнали Z' бозона в сучасних та майбутніх експериментах з фізики високих енергій» відповідає вимогам «Порядку присудження

наукових ступенів», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України № 567 від 24 липня 2013 р. зі змінами, затвердженими Постановами Кабінету Міністрів України № 656 від 19 серпня 2015 р. та № 1159 від 30 грудня 2015 р., а її автор заслуговує присудження йому наукового ступеня доктора фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.02 – теоретична фізика.

Офіційний опонент:

доктор фізико-математичних наук,
професор,
завідувач кафедри квантової теорії поля
Київського національного університету
імені Тараса Шевченка



С.Й. Вільчинський

Підпис С.Й.Вільчинського засвідчую.

Вчений секретар Київського національного університету імені Тараса Шевченка,

«03» 10 2017 р.

ПІДПИС ЗАСВІДЧУЮ
ВЧЕНИЙ СЕКРЕТАР НДЧ
КАРАУЛЬНА Н.В.
03.10

