

ВІДГУК

офіційного опонента Анчишкіна Дмитра Владленовича, доктора фізико-математичних наук, старшого наукового співробітника, провідного наукового співробітника відділу теорії ядра і квантової теорії поля Інституту теоретичної фізики ім. М.М. Боголюбова

НАН України на дисертаційну роботу Дмитрієва Микити Сергійовича

“Опис сигналів широких важких резонансів методами ефективних лагранжіанів”,

поданої на здобуття науково-освітнього ступеня доктора філософії

10 Природничі науки (104 Фізика та астрономія)

Це дисертаційне дослідження зосереджене на пошуку сигналів нових масивних елементарних частинок, що не належать до Стандартної моделі (СМ), та їх опису за допомогою методів ефективної теорії поля. У дослідженні продемонстровано, що існують сценарії моделей нової фізики, де сучасні методи прямого пошуку нових резонансів не можуть бути застосовані. Ці сценарії детально розглянуті в роботі та проаналізовані їхні характеристики. Зокрема, на прикладі узагальненої моделі Юкави показано, що коли маса нової частинки значно перевищує масу полів СМ, її резонанс може бути надто широким для виявлення через прямий пошук. Такий сценарій є одним із провідних у сучасній фізиці високих енергій. Далі у роботі розглядається застосовність опису сигналів масивних частинок за межами СМ за допомогою ефективних лагранжіанів (ЕЛ) у контексті непрямих методів пошуку цих сигналів. На прикладі тієї ж узагальненої моделі Юкави доведено, що ЕЛ не можуть бути використані для наближеного опису впливу масивних полів на низькоенергетичну динаміку легких частинок, якщо константи взаємодії останніх значні. Автор стверджує що у таких умовах внески радіаційних поправок від взаємодій з легкими полями є суттєвими порівняно з внесками ефективних вершин ЕЛ. Нарешті, у дисертації обчислено частину низькоенергетичного ЕЛ однієї з найвідоміших моделей нової фізики — моделі з двома хіггсівськими дублетами (2HDM). Показано, що навіть за умови відділення важких скалярних полів, передбачених 2HDM, нову фізику можна виявити в сучасних експериментах на прискорювачах. Стверджується, що для цього при енергіях порядку мас станів СМ необхідно виміряти параметри потенціалу та ширину розпаду у CP-непарні стани скалярного поля h масою 125 Гев, виявленого у 2012 р. на LHC. Обґрунтовано, що обмеження на параметри 2HDM можна з високою точністю визначити з величини перерізу народження пар частинок h в експериментах на LHC.

Дисертація написана на тему, актуальну в контексті сучасної фізики високих енергій. Відомо, що СМ не може пояснити деякі природні явища, такі як спостережувана асиметрія між речовиною та антиречовиною, походження мас нейтрино, а також властивості

та склад темної матерії. Для розв'язання цих питань було запропоновано розширити СМ за рахунок додаткових полів. Пошук нових частинок за межами СМ є частиною наукових програм багатьох колаборацій та дослідницьких установ, і виявлення такої частинки дало б змогу отримати нові знання про природу речовини у Всесвіті та взаємодії в ній.

У своїй роботі автор застосував загальноприйняті методи квантової теорії поля, які є актуальними та використовуються в багатьох сучасних дослідженнях в контексті пошуку нової фізики. Варто також відзначити використання сучасних математичних пакетів та їх розширень, які спеціально розроблені для обчислень у фізиці високих енергій.

Дисертація складається з анотації, вступу, чотирьох розділів та висновків, списку літератури зі 102 джерел, 30 рисунків та 9 таблиць. Кожен розділ дисертації містить вступ, висновки та обговорення отриманих у розділі результатів.

У Розділі 1 розповідається про поля та взаємодії Стандартної моделі. В цій частині дисертації наводиться сучасне пояснення походження маси ферміонів та частинок-переносників слабкої взаємодії. Також коротко обговорюються властивості сектору сильної взаємодії.

У Розділі 2 автор дисертації розглядає сценарії нової фізики з використанням узагальненої моделі Юкави. У цих сценаріях методи прямого пошуку нових частинок виявляються неефективними. Причиною цього є те, що ширина резонансу нової частинки може бути великою або внесок інтерференції в перерізі реакції перевищує внесок резонансу цієї нової частинки. Важливим результатом цього розділу є інтервали значень параметрів розширеної моделі, у яких методи прямого пошуку незастосовні. Автор показав, що для таких сценаріїв характерний малий кут змішування між полями відомих і нових частинок, що узгоджується з сучасними експериментальними даними. У цьому контексті робиться висновок, що сигнал нової частинки не може бути виявлений методами on-resonance пошуку, і тому необхідно використовувати непрямі методи, такі як методи ефективної теорії поля. Автор пропонує описувати низькоенергетичні сигнали нових важких частинок за допомогою ефективних лагранжіанів.

В Розділі 3 розглядається застосування ефективної теорії поля для опису низькоенергетичної динаміки полів при відщепленні важкої частинки в узагальненій моделі Юкави. Автор показує, що використання ЕЛ є можливим лише за умови, що радіаційні поправки від легкого сектору розширеної моделі є малими. Зокрема, поправка до маси важкої частинки та однопетльове змішування цієї частинки з легкими полями мають бути малими порівняно із внеском ефективних вершин ЕЛ. В іншому разі радіаційні поправки необхідно враховувати разом із ефективними вершинами. Це, однак, не передбачено в ефективній теорії

з низькоенергетичним ЕЛ. Це важливий новий результат автора. У цьому розділі також наводяться умови, за яких петльові поправки є малими, що дозволяє застосовувати ЕЛ для побудови спостережуваних величин в експериментах.

У Розділі 4 розглядається низькоенергетична ефективна теорія поля для моделі з двома гігсівськими дублетами (2HDM) зі слабким порушенням CP-парності. Ця модель передбачає існування п'яти масивних скалярних бозонів, з яких чотири відщеплюються при низьких енергіях, а п'ятий бозон h має масу 125 GeV і відповідає частинці, виявленій на Великому гадронному колайдері у 2012 році. У дисертації були отримані явні вирази для вершин ефективної взаємодії між ферміонами SM і полем h , та досліджено феноменологічні наслідки цих взаємодій. Цей результат важливий для задачі пошуку важких скалярних бозонів та є новим. Автор пропонує методи перевірки застосовності одnodублетної SM, зокрема, шляхом вимірювання параметрів потенціалу скалярного поля h , ширини розпаду h у CP-непарні стани, та перерізу народження двох h в експериментах на LHC. Хоча деякі з цих висновків вже наводяться в літературі іншими авторами, у дисертації вони впливають безпосередньо з ЕЛ моделі. Також обговорюється застосовність отриманого ЕЛ для 2HDM з врахуванням обмежень, описаних у попередньому розділі.

Проаналізуємо отримані в дисертації результати.

Ступінь обґрунтованості наукових положень і висновків, сформульованих у дисертації.

Отримані автором результати базуються на фізично обґрунтованих наближеннях та наукових фактах, підтверджених експериментальними даними. Методи, використані у дослідженні, широко вживані в науковій літературі та є невід'ємною частиною сучасної квантової теорії поля та фізики елементарних частинок. У процесі свого дослідження автор критично оцінює ефективність деяких методів, таких як метод прямого пошуку резонансів, наближення вузького резонансу та метод низькоенергетичного ефективного лагранжіану. Автор також визначає сценарії нової фізики, де ці методи непридатні для опису сигналів нових частинок. Це становить наукову новизну та значущість даного дисертаційного дослідження.

Новизна.

Дисертація містить вагомі нові наукові результати. По-перше, автор вперше чітко визначив сценарії нової фізики, в яких методи прямого пошуку нових частинок неефективні. Крім того, було встановлено важливі та раніше невідомі обмеження на застосування одного з непрямих методів пошуку — опису сигналу нової частинки за допомогою ефективного лагранжіану. Новим є те, що автор порівнює внески ефективних вершин та петльових

поправок від взаємодій з легкими полями розширеної моделі. Автор також обчислив деякі вершини ЕЛ для 2HDM — цей результат є актуальним та важливим, що підтверджується цитуванням відповідної статті автора в іншому новому дослідженні [Two-Higgs-doublet model matched to nonlinear effective theory. Physical Review D 110(1), 2024]. У науковій літературі існують роботи, які розглядають ЕЛ для 2HDM, але автор вперше отримав його для більш загального випадку порушення CP-парності в 2HDM. Сигнали важких скалярних бозонів, які передбачає модель з цим ЕЛ, слід шукати за допомогою непрямих методів пошуку.

Опубліковані праці.

Дисертація включає в себе матеріали трьох статей у вітчизняних фахових рецензованих наукових журналах, серед яких є видання індексоване Scopus, а саме Ukrainian journal of physics. Результати цієї дисертації також усно доповідалися на багатьох фахових міжнародних та всеукраїнських конференціях, тому є апробованими.

Повнота викладу результатів дисертації в опублікованих працях.

Усі головні результати дисертації та їх стислі обґрунтування наведено в статтях, опублікованих автором. Додатково у тексті дисертації наведено детальні обчислення, за допомогою яких ці результати можна відтворити.

Недоліки.

У результатах цієї дисертації або методах їх отримання складно знайти недоліки. Було би добре попрацювати над стилем тексту — видно що автор хотів досягти точності викладу, але через це текст вийшов сухий. В майбутньому рекомендую автору попрацювати над синонімами та зв'язністю в тексті.

Також, на мій погляд, текст дисертації був би зрозуміліший, якби автор використовував інші терміни замість “темний бозон” або “темна частинка” для позначення полів, які грають роль нової фізики у другому розділі дисертації. Через це виникає враження, ніби у зазначеному розділі автор обговорює модель темної матерії, хоча це не так. Це може заплутати читача. Попри це, головні результати роботи автора зрозумілі та цікаві. Вони важливі для сучасної фізики високих енергій та варті того, щоб продовжувати їх розвивати у майбутніх дослідженнях.

Дисертація являє собою цілісне та взаємоузгоджене дослідження, що демонструє рівень наукової роботи який належний для доктора філософії. Праця повністю відповідає вимогам спеціальності та є самостійним науковим доробком. Отримані результати дають змогу визначити оптимальні умови для експериментального виявлення нових масивних частинок, максимізуючи інтенсивність їхніх сигналів. Примітно, що запропоновані експерименти не обов'язково потребують генерації важких резонансів, що робить їх досяжними на існуючих прискорювачах. Підсумовуючи, вважаю, що дисертаційна робота

Дмитрієва Микити Сергійовича «Опис сигналів широких важких резонансів методами ефективних лагранжіанів» задовольняє всім нормативним вимогам, передбаченим “Порядком присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії”, затвердженим постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44, зі змінами внесеними згідно з постановою КМУ від 21 березня 2022 р. № 341 та “Положенням про порядок присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради про присудження ступеня доктора філософії у Дніпровському національному університеті імені Олеся Гончара (нова редакція)”, затвердженим наказом ректора університету від 20 травня 2022 р. № 147. Микита Сергійович Дмитрієв заслуговує на присудження йому ступеня доктора філософії за спеціальністю 104 Фізика та астрономія.

“6” 08 2024 року

Офіційний опонент:

доктор фізико-математичних наук,
старший науковий співробітник,
провідний науковий співробітник
відділу теорії ядра і квантової теорії поля
Інституту теоретичної фізики ім. М.М. Боголюбова
НАН України

Дмитро АНЧИШКІН

Підпис провідного наукового співробітника

Дмитра АНЧИШКІНА

засвідчую

т.в.о. вченого секретаря Інституту теоретичної фізики
ім. М.М. Боголюбова НАН України
кандидат фіз.-мат. наук



Борис ГРИНЮК