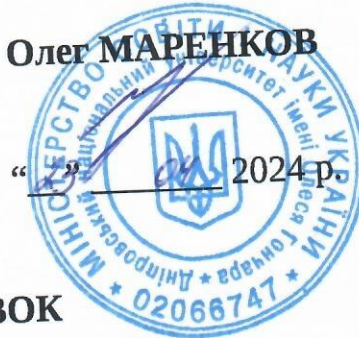


**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Проректор з наукової роботи  
Дніпровського національного  
університету імені Олеся Гончара

**Олег МАРЕНКОВ**



**ВИСНОВОК**

про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації Дмитрієва Микити Сергійовича “Опис сигналів широких важких резонансів методами ефективних лагранжіанів”, представленої на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 104 Фізика та астрономія.

Витяг

з протоколу №1 від 19 квітня 2024 року міжкафедрального семінару факультету фізики, електроніки та комп'ютерних систем Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара

Головуючий на засіданні міжкафедрального семінару факультету фізики, електроніки та комп'ютерних систем доктор фіз.-мат. наук, професор, завідувач кафедри прикладної радіофізики, електроніки та наноматеріалів О.В. Коваленко

Секретар міжкафедрального семінару факультету фізики, електроніки та комп'ютерних систем кандидат фіз.-мат. наук, доцент, доцент кафедри прикладної радіофізики, електроніки та наноматеріалів О.Ю. Ляшков

**ПРИСУТНІ** 11 з 11 членів міжкафедрального семінару: доктор фіз.-мат. наук, професор, завідувач кафедри прикладної радіофізики, електроніки та наноматеріалів Коваленко О.В., доктор фіз.-мат. наук, професор, професор кафедри теоретичної фізики Соколовський О.Й., кандидат фіз.-мат. наук, доцент, доцент кафедри прикладної радіофізики, електроніки та наноматеріалів Ляшков О.Ю., доктор фіз.-мат. наук, професор, професор кафедри прикладної радіофізики, електроніки та наноматеріалів Моїсеєнко В.М., доктор фіз.-мат. наук, професор, завідувач кафедри експериментальної фізики Рябцев С.І., доктор фіз.-мат. наук, професор, завідувач кафедри теоретичної фізики Скалозуб В.В., доктор фіз.-мат. наук, професор, професор кафедри прикладної радіофізики, електроніки та наноматеріалів Дробахін О.О., кандидат фіз.-мат. наук, доцент кафедри теоретичної фізики Турінов А.В., кандидат фіз.-мат. наук, доцент, доцент кафедри прикладної радіофізики, електроніки та наноматеріалів Гапонов О.В., кандидат фіз.-мат. наук, доцент, доцент кафедри прикладної радіофізики, електроніки та наноматеріалів Салтиков Д. Ю., кандидат фіз.-мат. наук, доцент кафедри електронних обчислювальних машин Скуратовський І.А.

**Порядок денний:** розгляд і обговорення дисертаційної роботи Дмитрієва Микити Сергійовича “Опис сигналів широких важких резонансів методами ефективних лагранжіанів”, представленої на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 104 Фізика та астрономія.

Дисертацію виконано на кафедрі теоретичної фізики факультету фізики, електроніки та комп'ютерних систем Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара. Тема дисертації затверджена вченою радою Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара, науковим керівником призначено доктора фізико-математичних наук, проф. В. В. Скалозуба (протокол № 4 від 19 листопада 2020 р.). Підготовка



здобувача третього рівня вищої освіти здійснюється за акредитованою освітньо-науковою програмою “Фізика та астрономія” зі спеціальності 104 Фізика та астрономія (Сертифікат про акредитацію освітньої програми 5910, дійсний до 26.09.2024).

### **СЛУХАЛИ:**

Обговорення дисертації Дмитрієва Микити Сергійовича “Опис сигналів широких важких резонансів методами ефективних лагранжіанів”, поданої на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 104 Фізика та астрономія.

За результатами перевірки дисертаційної роботи Дмитрієва Микити Сергійовича “Опис сигналів широких важких резонансів методами ефективних лагранжіанів” на плагіат програмою “StrikePlagiarism” виявлено, що унікальність тексту складала 95,95 %. Таким чином, на підставі перевірки зроблено висновок: робота Дмитрієва М. С. має високий рівень оригінальності і може бути допущена до захисту.

Перевірку на плагіат здійснювала комісія у складі: канд. ф.-м. наук, доцент, декан факультету фізики, електроніки та комп’ютерних систем І. В. Гомілко; доктор ф.-м. наук, професор, завідувач кафедри експериментальної фізики С. І. Рябцев; інженер I-ої категорії кафедри експериментальної фізики Ю. О. Соколовська.

Робота виконана на 5,5 авторських аркушах, робота структурована, є анотація, зміст, вступ, основна частина, висновки, перелік джерел і додатки.

**Доповідь** Дмитрієва Микити Сергійовича

Добрий день, шановні учасники міжкафедрального семінару. Я хотів би розповісти про головні наукові результати отримані в моїй дисертації “Опис сигналів широких важких резонансів методами ефективних лагранжіанів”. Ця робота складається з 4 основних розділів, які присвячені огляду Стандартної моделі (СМ) фізики елементарних частинок, сценаріям моделей нової фізики в яких прямий пошук нових частинок незастосовний та незастосовним є опис сигналів останніх за допомогою ефективних лагранжіанів, а також отриманню та аналізу феноменології низькоенергетичного ефективного наближення моделі з двома хіггсівськими дублетами.

В цій дисертаційній роботі на прикладі узагальненої моделі Юкави показується, що існують сценарії моделей нової фізики, в яких методи прямого пошуку нових станів матерії незастосовні, оскільки резонанси цих станів широкі. Було виявлено, що широкі резонанси виникають якщо частинки нової фізики важкі або сильно взаємодіють з іншими полями деякої розширеної моделі. Для опису сигналів деяких широких резонансів є незастосовним наближення вузького піку (NWA). Таким чином, оцінка ширини шуканого резонансу є необхідною в експериментальних пошуках сигналу останнього. Для широких резонансів слід застосовувати методи непрямого пошуку.

Згідно експериментальних спостережень, резонанси нових частинок не впливають суттєво на властивості частинок СМ. В розглянутій нами моделі Юкави таким сценарієм відповідає умова, за якою кут однопетльового змішування  $\theta_{\text{mix}}$  відомих та нових частинок малий. В цьому дослідженні було виявлено, що при  $|\theta_{\text{mix}}| \leq 10^{-5}$  нові частинки також утворюють широкі резонанси. Це обмеження якісно подібне до такого на відповідні кути змішування у реалістичних моделях нової фізики, таких як моделі важкого векторного бозону  $Z'$ .



В розглянутій у цій роботі моделі Юкави існують сценарії, в яких внесок інтерференції між резонансами відомого та нового полів значний порівняно із внеском резонансу останнього у перерізі процесу розсіювання. У таких сценаріях метод прямого пошуку нових частинок теж незастосовний. У запропонованій моделі інтерференційний член суттєвий порівняно із резонансним якщо взаємодія між новою та відомою частинками слабка, або повна енергія початкових частинок у процесі розсіювання набагато менша ніж маса нового резонансу.

Таким чином, якщо резонанс частинки нової фізики є широким, тоді для її пошуку слід застосовувати непрямі методи. Зокрема, якщо нова частинка важка, тоді її сигнал у границі низьких енергій можна описати за допомогою низькоенергетичного ефективного лагранжіану. Таким чином, присутність додаткових полів та взаємодій за межами СМ можна виявити, не спостерігаючи безпосередньо резонансу нової частинки. Опис сигналів важких частинок за допомогою ефективних лагранжіанів зараз використовується різними колабораціями та науковими групами в світі.

Враховуючи ці висновки та актуальність методу ефективних лагранжіанів у сучасній фізиці, нами було досліджено застосовність низькоенергетичного ЕЛ на прикладі узагальненої моделі Юкави, що складається з легкого та важкого скалярного полів і дублету легких ферміонів. Було виявлено, що низькоенергетичний ЕЛ є хорошим наближенням для опису процесів розсіювання у границі відщеплення важкої частинки, якщо радіаційні поправки до маси цієї частинки та однопетльове змішування її з полями легкого сектору малі при низьких енергіях. Це справедливо, якщо константи взаємодії у легкому секторі та важкого поля із легкими ферміонами малі.

Якщо взаємодія між легкими ферміонами та важким скалярним полем достатньо сильна, тоді існують значні петльові поправки від

юкавівської взаємодії до маси важкого скаляру. Якщо ж взаємодія між легкими скаляром та ферміонами досить сильна при низьких енергіях, тоді внесок однопетльового зміщування між легким та важким скалярними полями у перерізах розсіювання легких ферміонів є подібним за величиною до внесків ефективних вершин. Підсумовуючи, низькоенергетичний ЕЛ є незастосовним для опису процесів розсіювання в таких сценаріях.

Таким чином, в розглянутій тут моделі низькоенергетичний ЕЛ є хорошим наближенням для побудови спостережуваних величин процесів розсіювання ферміонів, якщо радіаційні поправки до параметрів важкого скалярного бозону малі або однопетльовим зміщуванням останнього з легкими скалярами можна знехтувати. Отже, при оцінці параметрів ЕЛ в аналізі результатів експериментів з розсіювання слід також визначати величину внесків радіаційних поправок від петель з легкими частинками.

Враховуючи ці результати, було досліджено сценарій відщеплення важких частинок у реалістичній моделі нової фізики, а саме в моделі з двома хіггсівськими дублетами (2HDM). Було отримано вираз для низькоенергетичного ЕЛ для варіанту 2HDM, де можливе невелике порушення збереження CP-парності. Так, ця модель передбачає існування п'яти скалярних резонансів, один із яких може відповідати скалярній частинці  $h$  масою 125 GeV, що вперше спостерігалася у 2012 році в експериментах на LHC. Інші ж резонанси в розглянутому нами сценарії набагато важчі ніж 125 GeV, тому поки що не були зафіксовані в експериментах на прискорювачах. Обчислений нами ефективний лагранжیان відповідає такому сценарію у границі відщеплення важких скалярних станів.

Було виявлено, що потенціал легкого скалярного поля  $h$  в отриманому лагранжіані відрізняється від такого в СМ з одним



хіггсівським дублетом. Таким чином, вимірюючи параметри потенціалу скалярного поля  $h$ , можна визначити, до якої моделі належить ця частинка — до одно- чи дводублетної.

Розглянутий варіант 2HDM також припускає мале порушення збереження CP-парності. Внаслідок цього скалярний стан  $h$  не має визначеної CP-парності у границі відщеплення важких скалярів 2HDM. В той же час, в одnodублетній SM ця частинка CP-парна. Існування порушення збереження CP-парності у скалярному секторі моделі можна перевірити, вимірюючи ширину розпаду  $h$  у CP-непарні стани. З величини цієї ширини можна визначити параметри, що регулюють ступінь цього порушення у 2HDM, та перевірити застосовність одnodублетної SM.

В отриманому ЕЛ для 2HDM також містяться ефективні вершини, що дають внески у процес народження двох бозонів  $h$ . Згідно із передбаченнями SM, цей процес є відносно рідкісним, а величина його перерізу чутлива до коефіцієнтів відповідних вершин ЕЛ. Отже, з її експериментально виміряного значення можна отримати обмеження на коефіцієнти ЕЛ і відповідні параметри розширеної моделі.

Враховуючи результати, наведені вище, для оцінки області застосовності низькоенергетичного ЕЛ для 2HDM слід оцінити величини радіаційних поправок від взаємодій із полями SM до мас важких скалярів та величину однопетльового змішування останніх з полем  $h$ . Використовуючи цей результат, можна отримати обмеження на властивості сигналів важких скалярних бозонів 2HDM при низьких енергіях. Такий аналіз є актуальним для визначення оптимального сценарію експерименту із пошуку важких полів 2HDM у сучасних експериментах на прискорювачах.

Виявлення нових частинок за межами Стандартної моделі суттєво розширило б наше розуміння властивостей матерії та еволюції Всесвіту, тому результати цієї дисертації є актуальними та важливими.

**Актуальність теми.** СМ є на сьогодні найкращою моделлю, що описує взаємодії між елементарними частинками речовини у видимому Всесвіті. Водночас існують фізичні явища, які ця модель не пояснює. Зокрема, СМ неправильно передбачає спостережувану різницю в кількості речовини та антиречовини, не пояснює походження мас нейтрино та не описує темну матерію. Для пояснення цих явищ було запропоновано велику кількість моделей що розширюють СМ новими станами речовини. Однак до сьогодні жодних частинок за межами СМ не було виявлено в експериментах. Існує багато можливих причин цього. Одна з них полягає в тому, що нові частинки є дуже важкими, тому їх внески у спостережуваних величинах експериментів дуже малі. Опису сигналів таких частинок присвячено мою дисертацію. Виявлення нових взаємодій та частинок за межами СМ суттєво розширило б наше розуміння природи, тому тема дисертації є актуальною.

**Об'єктом** нашого дослідження є пошук резонансів важких полів за межами Стандартної моделі елементарних частинок.

**Предметом** вивчення в нашій роботі є опис сигналів таких станів методами ефективних лагранжіанів у випадку, коли методи їх прямого пошуку незастосовні.

**Метою** нашого дослідження є опис сигналів важких резонансів за межами СМ за допомогою ефективних низькоенергетичних лагранжіанів та визначення обмежень застосування цього методу.

### **Завдання роботи**

Визначити обмеження застосування методу прямого пошуку резонансів нових частинок.



Визначити умови застосовності методу низькоенергетичних ЕЛ для параметризації сигналів важких частинок. Проаналізувати вплив радіаційних поправок на застосовність ЕЛ.

Обчислити низькоенергетичний ЕЛ моделі з двома хіггсівськими дублетами. Визначити прояви взаємодій з важкими частинками в цій моделі у границі, коли останні відщеплюються.

### **Наукова новизна**

- В моїй роботі було вперше показано, що метод прямого пошуку резонансів нових частинок є незастосовним, якщо ці частинки важчі ніж частинки СМ або сильно взаємодіють із сектором СМ чи іншими полями розширеної моделі

- Вперше було виявлено, що ЕЛ не слід застосовувати для опису сигналів нових важких частинок при низьких енергіях, якщо взаємодія у секторі СМ не є слабкою або існує сильна взаємодія між частинками СМ та новими станами матерії

- Було вперше отримано явний вираз для вершин ефективного лагранжіану моделі з двома хіггсівськими дублетами та слабким порушенням СР-парності. Ці вершини описують взаємодії ферміонів та скалярного бозону Стандартної моделі. Було визначено можливі прояви взаємодій з новими важкими скалярними частинками з-поза меж СМ, існування яких передбачає модель з двома хіггсівськими дублетами

### **Вступ**

#### **Розділ 1. Стандартна модель елементарних частинок**

##### **1.1 Модель електрослабкої взаємодії Вайнберга-Салама**

###### **1.1.1 Поля моделі**

###### **1.1.2 Механізм генерації мас частинок**

###### **1.1.3 Юкавівська взаємодія бозону Хіггса та ферміонів**

##### **1.2 Модель сильних взаємодій**

Розділ 2. Прямий пошук сигналів нової фізики на прикладі узагальненої моделі Юкави

2.1 Метод прямого пошуку нових частинок

2.2 Модель

2.3 Кут змішування скалярних полів

2.4 Застосовність методу прямого пошуку для виявлення нових частинок

2.5 Внесок інтерференції між резонансами  $\phi$  та  $\chi$  у переріз процесу розсіювання

2.6 Обговорення та висновки

Розділ 3. Опис сигналів нової фізики за допомогою ефективних лагранжіанів

3.1 Ефективний лагранжіан узагальненої моделі Юкави

3.2 s-канальний процес розсіювання

3.3 t-канальний процес розсіювання

3.4 Обговорення та висновки

Розділ 4. Опис процесів розсіювання у моделі з двома хіггсівськими дублетами за допомогою низькоенергетичного ефективного лагранжіану

4.1 Потенціал скалярних полів у моделі 2HDM

4.2 Низькоенергетичний ефективний лагранжіан 2HDM

4.3 Обговорення та висновки

Висновки

## **ЗАПИТАННЯ ТА ВІДПОВІДІ**

**Питання 1. Доктор фіз.-мат. наук, професор, завідувач кафедри прикладної радіофізики, електроніки та наноматеріалів Коваленко О. В.**



**Скажіть, будь ласка, які публікації було підготовано за матеріалами Вашої дисертації?**

**Дякую за питання.** За результатами досліджень, виконаних в моїй дисертації, було підготовано та опубліковано дві статті у рецензованих фахових наукових журналах категорії “Б” та одну статтю у фаховому журналі, що індексується в базі Scopus. Ось вихідні дані цих статей:

1. M. S. Dmytriiev, V. V. Skalozub. Ukr. J. Phys., vol. 66(11), p. 936, 2021.

2. M. S. Dmytriiev, V. V. Skalozub. Journal of physics and electronics, vol. 29(2), p. 8, 2021

3. M. S. Dmytriiev, V. V. Skalozub. Journal of physics and electronics, vol. 31(2), p. 3, 2023

Також результати мого дисертаційного дослідження опубліковані у вигляді тез конференцій

**Питання 2. Доктор фіз.-мат. наук, професор, професор кафедри теоретичної фізики Соколовський О.Й.**

**У вашій роботі ви використовуєте термін “ефективний лагранжیان”. Скажіть, будь ласка, що це таке? Чим він відрізняється від звичайного лагранжіану?**

**Дякую за питання.** Правильно вважати лагранжіани усіх моделей фізики елементарних частинок ефективними. В таких лагранжіанах враховуються внески станів із масами до деякої скінченної границі, наприклад,  $\Lambda$ . Тому їх завжди можна розширити новими полями, маси яких набагато більші ніж  $\Lambda$ . Ці поля відщеплюються при енергіях частинок

порядку  $\Lambda$ , і їх внески у спостережуваних величинах можуть бути як завгодно малими, якщо їх маси дуже великі. В будь-якому експерименті доступний для дослідження лише скінченний інтервал енергій частинок, тому відсутність спостереження важких станів не виключає їх існування. Натомість, можна визначити нижню границю мас таких станів, яка узгоджувалася б із результатами експериментів.

**Питання 3. Кандидат фіз.-мат. наук, доцент кафедри теоретичної фізики Турінов А.В.**

**Чи існують якісь обмеження на властивості ефективних лагранжіанів?**

Дякую за питання. Так, такі обмеження існують та зумовлені результатами експериментальних спостережень. Зокрема, досі не спостерігалось явищ порушення збереження баріонного числа та зміни аромату кварків у взаємодіях із нейтральними бозонами. Це означає, що внески деяких контактних вершин у ефективному лагранжіані що розширює СМ є дуже малими або нульовими.

**Питання 4. Доктор фіз.-мат. наук, професор, завідувач кафедри експериментальної фізики Рябцев С.І.**

**Ви плануєте продовжувати тему дослідження, обрану для вашої дисертації, після захисту?**

Дякую за питання. Так, в нас є кілька дослідницьких задач, які ми хотіли б розв'язати у наступних роботах. Зокрема, в моїй дисертації вивчаються внески петльових поправок у спостережуваних величинах у границі відщеплення важких станів на прикладі узагальненої моделі



Юкави. Ця модель іграшкова, тобто вона не описує динаміку реальних частинок. Натомість, вона демонструє лише важливі для розв'язуваної задачі властивості. У наступному дослідженні можна було би оцінити внески петльових поправок у спостережуваних, наприклад, в СМ із двома хігсівськими дублетами в границі коли важкі скалярні поля відщеплюються. Така модель є реалістичною та має значно багатшу феноменологію. Ця задача є актуальною для сучасних експериментальних пошуків нових скалярних станів поза Стандартною моделлю.

## **ВИСТУП НАУКОВОГО КЕРІВНИКА**

**Доктор фіз.-мат. наук, професор, завідувач кафедри теоретичної фізики Скалозуб В.В.:**

Шановний головуєчий, шановні учасники міжкафедрального семінару! Як відомо, структура речовини у нашому всесвіті і взаємодії в ній сьогодні описуються за допомогою Стандартної моделі (СМ) елементарних частинок. СМ є поки найкращою експериментально підтвердженою моделлю спостережуваної матерії. Разом із тим, існують явища природи, які СМ не описує. Наприклад, СМ не пояснює спостережуваної асиметрії речовини та антиречовини у всесвіті, тому що в ній не виконуються необхідні для цього умови Сахарова. СМ також не пропонує механізмів, за допомогою яких можна пояснити спостережувані маси нейтрино або описати темну матерію. Існує думка, що розширення СМ новими частинками дозволить описати, зокрема, перераховані явища. Було запропоновано багато моделей-розширень СМ, але поки що жодна із них не була підтверджена експериментально. Тому пошук нових станів речовини за межами СМ є важливою задачею сучасної фізики високих енергій. Над цією задачею, зокрема, працюють колаборації на Великому

гадронному колайдері, нейтринній обсерваторії IceCube або лабораторії Гран Сассо. Серед гіпотез, що пояснюють відсутність підтверджених сигналів нової фізики, є велика маса екзотичних частинок або їх значна ширина. У таких сценаріях метод прямого пошуку нових частинок незастосовний, оскільки інтервал мас нової фізики є недосяжним для сучасних прискорювачів або сигнал нової частинки не може бути описаний за допомогою наближень, використовуваних при аналізі експериментальних даних. За таких умов є актуальними методи непрямого пошуку, зокрема, методи ефективної теорії поля.

В дисертаційній роботі аспіранта Дмитрієва М. С. на прикладі узагальненої моделі Юкави досліджено обмеження на моделі нової фізики, за яких метод пошуку екзотичної частинки шляхом спостереження її резонансу є незастосовним. Слід відзначити, що ця модель у поточний період широко використовується для опису темної матерії різного виду. У роботі виявлено, що незастосовність має місце, якщо маса нової частинки є великою або її резонанс має значну ширину порівняно із її масою. При цьому адекватний опис сигналу екзотичного стану матерії потребує врахування внесків від інтерференції сигналів нової фізики та СМ у перерізі деякого процесу розсіювання. Отримано обмеження на значення кута змішування між станами СМ та нової фізики, за яких це справедливо. На прикладі узагальненої моделі Юкави визначено умови, за яких сигнал нової важкої частинки при низькій енергії можна описати за допомогою ефективного лагранжіану (ЕЛ). Показано, що ЕЛ не може бути застосований, якщо внески петель легких частинок є значними. Зокрема, це має місце, коли однопетльове змішування екзотичного стану та частинки СМ є суттєвим порівняно із внесками ефективних вершин ЕЛ у перерізі розсіювання деякої спостережуваної реакції. Отримано низькоенергетичний ЕЛ моделі хігсівського поля із двома дублетами (two-



Higgs doublet model, 2HDM), що допускає порушення CP-парності. Ця модель є одним із найпопулярніших та найпростіших розширень SM екзотичними важкими частинками. Феноменологія 2HDM багата та включає явища, що не описуються у SM, такі як спостережувана асиметрія речовини і антиречовини та генерування мас нейтрино.

Розв'язані у цьому дисертаційному дослідженні задачі потребують глибокого знання квантової теорії поля, фізики елементарних частинок та феноменології SM і деяких моделей-розширень останньої. При розв'язанні цих задач автором також застосовувався сучасний програмний пакет для обчислень Wolfram Mathematica із деякими розширеннями.

Дисертаційну роботу Дмитрієва М. С. можна умовно поділити на дві частини. В першій на прикладі узагальненої моделі Юкави визначаються сценарії моделей нової фізики, в яких прямі пошуки нових частинок незастосовні. Виходячи із результатів сучасних експериментів, обґрунтовується гіпотеза про велику масу нових станів матерії. Досліджується придатність методів ефективної теорії поля для опису сигналів нових важких частинок. В другій частині роботи обчислюється низькоенергетичний ефективний лагранжیان однієї із моделей-розширень SM, та визначаються припущення, за яких цей ЕЛ є придатним для опису експериментальних даних.

Із описаними складними задачами Дмитрієв М.С. успішно впорався, виявивши максимальну самостійність та творчу ініціативу при проведенні досліджень та освоєнні сучасної фізики елементарних частинок. Зокрема, під час роботи над дисертацією Микита самостійно вивчив теорію електрослабких взаємодій та деякі додаткові розділи квантової електродинаміки та хромодинаміки. В ході дослідження було освоєно методи роботи із сучасними пакетами симуляції процесів розсіювання елементарних частинок Pythia 8 та MadGraph aMC@NLO. Крім того, було

освоєно методи машинного навчання та програмування мовою Python. Перераховані навички та знання є необхідними сучасному фізику-теоретику для інтерпретації та аналізу результатів експериментів із пошуку нових частинок. Автором отримані оригінальні результати щодо методів пошуку екзотичних станів матерії та опису їх сигналів. Визначено сценарії моделей нової фізики, в яких сучасні методи пошуку нових частинок є незастосовні. Отримано низькоенергетичне наближення однієї із сучасних моделей нової фізики, та визначено умови його застосовності. Отримані Микитою результати є актуальними, оригінальними та вагомими. Вони є основою для майбутніх перспективних досліджень.

Індивідуальний план виконання освітньо-наукової програми підготовки доктора філософії Дмитрієвим М. С. виконано в повному обсязі, кількість опублікованих наукових статей достатня для захисту дисертаційної роботи, дисертація підготовлена до захисту.

На підставі сказаного вважаю, що робота Дмитрієва М. С. є закінченим науковим дослідженням і може бути рекомендована до захисту на разовій спеціалізованій раді.

**В ОБГОВОРЕННІ ДИСЕРТАЦІЇ ДМИТРІЄВА М. С. ВЗЯЛИ  
УЧАСТЬ:**

**Доктор фіз.-мат. наук, професор Соколовський О.Й., професор  
кафедри теоретичної фізики Дніпровського національного  
університету імені Олеся Гончара:**

Шановні колеги!

Я прочитав дисертацію Микити Дмитрієва, яка представлена ним з метою присудження ступеня доктора філософії. Підтверджую виконання



необхідних умов для подання дисертації до розгляду на міжкафедральному семінарі з подальшою рекомендацією її до захисту.

Дисертація Микити оформлена згідно до вимог, викладених у наказі МОН України. Робота логічно структурована. Наукові результати роботи подані у вигляді математичних виразів, тексту і графіків. Різні способи подання результатів органічно доповнюють один одного.

Результати дисертаційного дослідження Микити опубліковано у формі статей у трьох наукових виданнях, а саме дві статті у фаховому журналі категорії “Б”, а ще одна — в журналі, що індексується в базі Scopus. Автор дослідження виступав також на дев’яти конференціях та семінарах, що свідчить про достатню наукову апробацію отриманих результатів.

Згідно із результатами перевірки роботи Дмитрієва М. С. на плагіат, дисертація має дуже високий відсоток унікальності. Це означає, що отримані результати є новими.

Виступ дисертанта та його відповіді на запитання були докладними та зрозумілими — видно, що Микита має ґрунтовну підготовку зі спеціальності 104 Фізика та астрономія. Вважаю, що є достатньо підстав підтримати роботу Микити Дмитрієва та рекомендувати її до захисту у разовій спеціалізованій вченій раді.

**Кандидат фіз.-мат. наук, доцент Турінов А. В., доцент кафедри теоретичної фізики Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара:**

Запропонована до розгляду дисертаційна робота є оригінальним науковим дослідженням, присвяченим актуальній задачі пошуку нових станів матерії. Вважаю, що вона має бути рекомендована до захисту. Хотілося б побачити розвиток теми цього дослідження.

**Кандидат фіз.-мат. наук, доцент Салтиков Д. Ю., доцент кафедри прикладної радіофізики, електроніки та наноматеріалів Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара:**

Я підтримую свого колегу — вважаю що робота Дмитрієва М. С. може бути початком перспективного та важливого наукового дослідження. Разом із тим, вона сама є завершеним науковим доробком, та містить розв'язки деяких актуальних задач сучасної фізики елементарних частинок. Пропоную рекомендувати цю дисертаційну роботу до захисту.

## **ВИСНОВОК**

### **Актуальність теми дисертації**

Тема дисертації відповідає актуальній науковій задачі, над розв'язанням якої працює велика кількість дослідників та колаборацій по всьому світу. Зокрема, пошуками нових важких частинок займаються такі організації, як CERN, лабораторія IceCube та дослідницький центр Гран-Сассо. Виявлення нових важких частинок за межами Стандартної моделі суттєво розширить наше розуміння складу матерії та взаємодій у ній.

**Затвердження теми та плану дисертації.** Тема дисертації затверджена на засіданні Вченої ради Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара, протокол № 4 від 19 листопада 2020 р. Науковим керівником призначено доктора фіз.-мат. наук, професора, завідувача кафедри теоретичної фізики Скалозуба В.В.

**Особистий внесок автора.** Дисертація є особистою науковою працею, яку виконав автор протягом 2020 — 2024 рр. Всі дослідні процедури та наукові публікації виконано автором самостійно, під керівництвом наукового керівника дисертації.



**Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, які сформульовані в дисертації.** Сформульовані у дисертації наукові положення, висновки та рекомендації відповідають загальноприйнятим стандартам наукового методу. Достовірність результатів дисертаційної роботи підтверджена їх апробацією на наукових конференціях та семінарах, а також їх публікацією у рецензованих фахових наукових журналах.

#### **Наукова новизна отриманих результатів**

- Було вперше виявлено обмеження застосовності методу прямого пошуку резонансів нових частинок для важких або сильновзаємодіючих полів

- Вперше було з'ясовано обмеження застосовності низькоенергетичного ЕЛ для опису сигналів нових важких частинок для сильновзаємодіючих полів

- Було вперше отримано явний вираз для вершин ефективного лагранжіану моделі з двома хіггсівськими дублетами та слабким порушенням СР-парності та визначено прояви взаємодій із важкими скалярами при низьких енергіях

**Повнота викладення матеріалів дисертації в опублікованих працях та особистий внесок у них автора.**

Результати досліджень відображено у 11 наукових публікаціях: 3 статті (1 стаття що індексується в наукометричній базі Scopus, 2 статті у вітчизняному фаховому виданні категорії Б), 8 матеріалів міжнародних та вітчизняних конференцій.

Публікації Дмитрієва М. С. відповідають вимогам пп. 8, 9 "Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про

присудження ступеня доктора філософії”, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44 (зі змінами).

**Список робіт, опублікованих за темою дисертації та конкретний внесок здобувача:**

**Список публікацій, у яких опубліковано основні наукові результати дисертації:**

1. M. Dmytriiev, V. Skalozub. Journal of Physics and Electronics 31 (2), р. 3, 2023, URL: <https://doi.org/10.15421/332314>, <https://jphe.dnu.dp.ua/index.php/jphenew/article/view/14/14dnu.dp.ua>

*(особистий внесок: проведення розрахунків та аналіз отриманих результатів, аналіз літературних джерел). (Фахова, категорії Б)*

2. V. Skalozub, M. Dmytriiev. Ukrainian Journal of Physics, 66 (11), р. 936, 2021, URL: <https://doi.org/10.15407/ujpe66.11.936> *(особистий внесок: проведення розрахунків та аналіз отриманих результатів, аналіз літературних джерел). (Scopus)*

3. M. Dmytriiev, V. Skalozub. Journal of Physics and Electronics 29 (2), р. 8, 2021, URL: <https://doi.org/10.15421/332118> *(особистий внесок: проведення розрахунків та аналіз отриманих результатів, аналіз літературних джерел). (Фахова, категорії Б)*

**Список публікацій, які засвідчують апробації матеріалів дисертації:**

1. V All-Ukrainian scientific and practical conference "ПЕРСПЕКТИВНІ НАПРЯМКИ СУЧАСНОЇ ЕЛЕКТРОНІКИ, ІНФОРМАЦІЙНИХ І КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ" MEICS-2020, November 25-27, 2020, Dnipro, Ukraine. Форма участі: очна. *(особистий внесок: проведення розрахунків та аналіз отриманих результатів)*



2. XI Conference of Young Scientists "Problems of Theoretical Physics", December 21-23, 2020, Kyiv, Ukraine. Форма участі: очна. *(особистий внесок: проведення розрахунків та аналіз отриманих результатів)*

3. XXIII International youth scientific and practical conference "Human and space", April 14-16, 2021, Dnipro, Ukraine. Форма участі: очна. *(особистий внесок: проведення розрахунків та аналіз отриманих результатів)*

4. VI All-Ukrainian scientific and practical conference "ПЕРСПЕКТИВНІ НАПРЯМКИ СУЧАСНОЇ ЕЛЕКТРОНІКИ, ІНФОРМАЦІЙНИХ І КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ" MEICS-2021, November 24-26, 2021, Dnipro, Ukraine. Форма участі: очна. *(особистий внесок: проведення розрахунків та аналіз отриманих результатів)*

5. XXIV International youth scientific and practical conference "Human and space", May 25-27, 2022, Dnipro, Ukraine. Форма участі: очна. *(особистий внесок: проведення розрахунків та аналіз отриманих результатів)*

6. XXV International youth scientific and practical conference "Human and space", April 12-14, 2023, Dnipro, Ukraine. Форма участі: очна. *(особистий внесок: проведення розрахунків та аналіз отриманих результатів)*

7. VIII All-Ukrainian scientific and practical conference "ПЕРСПЕКТИВНІ НАПРЯМКИ СУЧАСНОЇ ЕЛЕКТРОНІКИ, ІНФОРМАЦІЙНИХ І КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ" MEICS-2023, November 22-24, 2023, Dnipro, Ukraine. Форма участі: очна. *(особистий внесок: проведення розрахунків та аналіз отриманих результатів)*

8. XIV Conference of young scientists "Problems of theoretical physics", January 16-18, 2024, Kyiv, Ukraine. Форма участі: очна. *(особистий внесок: проведення розрахунків та аналіз отриманих результатів)*

На підставі заслуховування та обговорення доповіді Дмитрієва Микити Сергійовича про основні положення дисертаційної роботи, питань та відповідей на них

**УХВАЛИЛИ:**

1. Вважати, що за актуальністю, ступенем новизно, обґрунтованості, наукової та практичної цінності здобутих результатів дисертація Дмитрієва Микити Сергійовича на тему “Опис сигналів широких важких резонансів методами ефективних лагранжіанів”, подана на здобуття ступеня доктора філософії зі спеціальності 104 Фізика та астрономія, відповідає 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 (зі змінами)).

2. Рекомендувати дисертацію Дмитрієва Микити Сергійовича на тему “Опис сигналів широких важких резонансів методами ефективних лагранжіанів” до захисту в спеціалізованій вченій раді для разового захисту дисертації на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 104 Фізика та астрономія.

3. Клопотати перед вченою радою університету щодо розгляду питання про створення спеціалізованої вченої ради для разового захисту дисертації на здобуття ступеня доктора філософії зі спеціальності 104 Фізика та астрономія Дмитрієва Микити Сергійовича у складі:

№	Прізвище, ім'я, по-батькові	Місце основної роботи, підпорядкування, посада	Науковий ступінь, шифр, назва спеціальності, за якою захищена дисертація, рік присудження	Вчене звання (за спеціальністю, кафедрою), рік присвоєння	Наукові публікації, опубліковані за останні п'ять років, за науковим напрямом, за яким підготовлено дисертацію здобувача
---	-----------------------------	--	---	---	--



1	Соколовський Олександр Йосипович (голова)	Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Міністерство освіти і науки України, професор кафедри теоретичної фізики	Доктор фізико- математичних наук, 01.04.02 — теоретична фізика, 2001 р.	професор кафедри квантової макрофізики, 2005 р.	<p>1. Sokolovsky A. I., Lyagushyn S. F. Order parameters in Dicke model // "Journal of physics and electronics" - Дніпро, 2022 р., - 30(2), - С. 15-22. - ISSN 2616-8685 (print), 2664-3626 (online). <a href="https://doi.org/10.15421/332213">https://doi.org/10.15421/332213</a> (стаття фахова, категорія Б)</p> <p>2. Sokolovsky A. I., Lyagushyn S. F. Dispersion equation for electromagnetic waves in a Dicke system // "Journal of physics and electronics" - Дніпро, 2022 р., - 30(1), - С. 31-38. - ISSN 2616-8685 (print), 2664-3626 (online). <a href="https://doi.org/10.15421/332204">https://doi.org/10.15421/332204</a> (стаття фахова, категорія Б)</p> <p>3. Sokolovsky A. I., Lyagushyn S. F. Taking into account the influence of correlations on the system dynamics in the reduced description method // "Journal of physics and electronics" - Дніпро, 2023 р., - 31(1), - С. 31-38. - ISSN 2616-8685 (print), 2664-3626 (online). <a href="https://doi.org/10.15421/332302">https://doi.org/10.15421/332302</a> (стаття фахова, категорія Б)</p>
2	Гладуш Валентин Данилович (рецензент)	Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Міністерство освіти і науки України, професор кафедри теоретичної фізики	Доктор фізико- математичних наук, 01.04.02 — теоретична фізика, 2008 р.	професор кафедри теоретичної фізики, 2014 р.	<p>1. Gladush V. D. Spherically symmetric T-solution of the equations of 5-dimensional Kaluza-Klein theory // "Journal of physics and electronics" - Дніпро, 2020 р., - 28(2), - С. 51-56. - ISSN 2616-8685 (print), 2664-3626 (online). <a href="https://doi.org/10.15421/332020">https://doi.org/10.15421/332020</a> (стаття фахова, категорія Б)</p> <p>2. Gladush V. D. On the quantum model of a charged black hole // "Journal of physics and electronics" - Дніпро, 2021 р., - 29(2), - С. 21-28. — ISSN 2616-8685 (print), 2664-3626 (online). <a href="https://doi.org/10.15421/332119">https://doi.org/10.15421/332119</a> (стаття фахова, категорія Б)</p> <p>3. Gladush V. D. On the structure of the configuration space of charged black holes // "Odessa Astronomical Publications" - Одеса, 2021 р., - 34, - С. 11-17. - ISSN 1810-4215 (print), 2786-5215 (online). <a href="https://doi.org/10.18524/1810-4215.2021.34.244245">https://doi.org/10.18524/1810-4215.2021.34.244245</a> (стаття фахова, категорія Б)</p>
3	Лягушин Сергій Федорович (рецензент)	Дніпровський національний університет імені	Кандидат фізико- математичних	доцент кафедри квантової макрофізики,	1. Sokolovsky A. I., Lyagushyn S. F. Order parameters in Dicke model // "Journal of physics and electronics" -

		Олеся Гончара, Міністерство освіти і науки України, доцент кафедри теоретичної фізики	наук, 01.04.02 — теоретична і математична фізика, 1990 р.	2006 р.	Дніпро, 2022 р., - 30(2), - С. 15-22. - ISSN 2616-8685 (print), 2664-3626 (online). <a href="https://doi.org/10.15421/332213">https://doi.org/10.15421/332213</a> (стаття фахова, категорія Б) 2. Sokolovsky A. I., Lyagushyn S. F. Dispersion equation for electromagnetic waves in a Dicke system // "Journal of physics and electronics" - Дніпро, 2022 р., - 30(1), - С. 31-38. - ISSN 2616-8685 (print), 2664-3626 (online). <a href="https://doi.org/10.15421/332204">https://doi.org/10.15421/332204</a> (стаття фахова, категорія Б) 3. Sokolovsky A. I., Lyagushyn S. F. Taking into account the influence of correlations on the system dynamics in the reduced description method // "Journal of physics and electronics" - Дніпро, 2023 р., - 31(1), - С. 31-38. - ISSN 2616-8685 (print), 2664-3626 (online). <a href="https://doi.org/10.15421/332302">https://doi.org/10.15421/332302</a> (стаття фахова, категорія Б)
4	Нурмагамбетов Олексій Юрійович (опонент)	Інститут теоретичної фізики ім. О. І. Ахієзера ННЦ ХФТІ НАН України, НАН України, провідний науковий співробітник	доктор фізико- математичних наук, 01.04.02 — теоретична фізика, 2013 р.	старший науковий співробітник, 01.04.02 – теоретична фізика, 2006 р.	1. Nurmagambetov A. J., Arslanaliev A. M.. Kerr Black Holes within the Membrane Paradigm // LHEP - 2022 р., - 2022, - 328 — ISSN 2632-2714 (online) <a href="https://doi.org/10.31526/lhep.2022.328">https://doi.org/10.31526/lhep.2022.328</a> (стаття Scopus) 2. Nurmagambetov A. J., Park I. Y.. Quantum-gravitational trans- Planckian energy of a time-dependent black hole // Symmetry - 2019 р., - 11(10), - 1303 - ISSN 2073-8994 <a href="https://doi.org/10.3390/sym11101303">https://doi.org/10.3390/sym11101303</a> (стаття Scopus) 3. Berezovoj V. P., Konchatnij M. I., Nurmagambetov A. J.. Hallmarks of tunneling dynamics with broken reflective symmetry // Nuclear Physics B - 2021 р., - 969, - 115483 — ISSN 1873-1562 (online), 0550- 3213 (print) <a href="https://doi.org/10.1016/j.nuclphysb.2021.115483">https://doi.org/10.1016/j.nuclphysb.2021.115483</a> (стаття Scopus)
5	Анчишкін Дмитро Владленович (опонент)	Інститут теоретичної фізики ім. М.М. Боголюбова НАН України, провідний науковий	Доктор фізико- математичних наук, 01.04.02 — теоретична фізика, 2010 р.	старший науковий співробітник, 2004 р.	1. Zhuravel D., Anchishkin D. V., Hayn R., Lombardo P., Schäfer S.. Non-equilibrium electronic transport through a quantum dot with strong Coulomb repulsion in the presence of a magnetic field // "Journal of Physics: Condensed Matter" - 2020 р., - 32, - 165601 — ISSN



		співробітник відділу теорії ядра і квантової теорії поля			<p>1361-648X  <a href="https://doi.org/10.1088/1361-648X/a5ce7">https://doi.org/10.1088/1361-648X/a5ce7</a> (стаття Scopus)  2. Anchishkin D. V., Gnatovsky V., Zhuravel D., Karpenko V.. Relativistic selfinteracting particle-antiparticle system of bosons // "Journal of physics and electronics" - Дніпро, 2020 р., - 28(2), - С. 3-18. - ISSN 2616-8685 (print), 2664-3626 (online).  <a href="https://doi.org/10.15421/332016">https://doi.org/10.15421/332016</a> (стаття фахова, категорія Б)  3. Anchishkin D. V., Gnatovsky V., Zhuravel D., Karpenko V.. Phase diagram of the selfinteracting particle-antiparticle boson system // "Journal of physics and electronics" - Дніпро, 2021 р., - 29(1), - С. 3-18. - ISSN 2616-8685 (print), 2664-3626 (online).  <a href="https://doi.org/10.15421/332101">https://doi.org/10.15421/332101</a> (стаття фахова, категорія Б)</p>
--	--	---	--	--	---

Усі кандидатури членів ради відповідають вимогам пп. 14, 15 "Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії", затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44 (зі змінами).

**Результати голосування:**

«за» – 11

«проти» - 0

«утримались» - 0

**Головуючий**

**Секретар**



Олександр КОВАЛЕНКО

Олександр ЛЯШКОВ