

«ЗАТВЕРДЖУЮ»



Проректор з наукової роботи
Київського національного
університету імені Тараса Шевченка
Ганна ТОЛСТАНОВА

20 жовтня 2023 р.

ВИСНОВОК

**Київського національного університету імені Тараса Шевченка
про наукову новизну, теоретичне та практичне значення
результатів дисертації Горкавенка Володимира Миколайовича на тему:
«Пошук проявів частинок та топологічних струноподібних об'єктів за
межами Стандартної моделі»,
поданої на здобуття наукового ступеня доктора фізико-математичних наук
за спеціальністю 01.04.02 – теоретична фізика**

Дисертація Горкавенка Володимира Миколайовича на тему: «Пошук проявів частинок та топологічних струноподібних об'єктів за межами Стандартної моделі», подана на здобуття наукового ступеня доктора фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.02 – теоретична фізика, є цілісною, завершеною науковою працею.

1. Актуальність теми дослідження.

Стандартна модель фізики елементарних частинок (СМ) — це теоретична модель, яка з високою точністю описує процеси електромагнітної, слабкої та сильної взаємодії за участю елементарних частинок. Вона є самоузгодженою до великого енергетичного масштабу (можливо, до масштабу Планка) і перевірена в численних експериментах на прискорювачах до енергії ~ 15 ТеВ. Однак СМ не може пояснити деякі явища, такі як масивність нейтрино, темну матерію, баріонну асиметрію Всесвіту тощо. Тому СМ вважається неповною теорією і потребує розширення. Існує багато можливостей, як саме це зробити. Багато з наведених проблем СМ можна пояснити розширенням СМ за допомогою введення нових частинок та нових взаємодій.

Значення мас частинок за межами СМ можуть бути в дуже широкому діапазоні значень. Особливий інтерес представляють пошуки саме легких нових частинок, що дуже слабо взаємодіють з частинками СМ. Пошук таких частинок можна проводити на сучасних прискорювачах. Дисертаційна робота присвячена дослідженню проявів легких частинок за межами СМ (з масами порядку декількох ГеВ), а саме: скалярного, ферміонного та зі взаємодією Черна-Саймонса розширень СМ.

Оскільки експерименти на прискорювачах мають обмеження по енергії частинок, що зіштовхуються, то для пошуку проявів фізики за межами СМ

великий інтерес представляють також високоенергетичні процеси (при енергіях, недосяжних для сучасних прискорювачів), що могли активно відбуватися у ранньому Всесвіті. Сліди або релікти цих процесів можуть спостерігатися і в наш час, даючи інформацію про події в далекому минулому. Згідно із Стандартною космологічною моделлю, після Великого Вибуху Всесвіт розширювався та охолоджувався. В процесі свого охолодження Всесвіт проходив через ряд фазових переходів. Якщо певний фазовий перехід незалежно відбувався в різних ділянках простору-часу, то на границі цих ділянок могли утворитися топологічні об'єкти різних типів. В дисертаційній роботі досліджуються одновимірні топологічні дефекти, що отримали назву космічних струн. Їх пошук в даних спостережень є актуальною задачею сучасної фізики, а їх можливе відкриття дасть багато інформації про фізику раннього Всесвіту.

Якщо космічні струни утворилися в результаті спонтанного порушення симетрії групи $U_X(1)$ певного розширення СМ, то вони і в сучасну епоху можуть містити в собі аналог магнітного поля, що відповідає калібрувальному полю даної групи. В роботі досліджуються ефекти, що може викликати космічна струна з "магнітним" полем калібрувальної групи $U_X(1)$ (поле раннього Всесвіту) на вакуум сучасних полів матерії.

2. Зв'язок з науковими програмами, планами, темами, грантами.

Дисертаційна робота виконувалася в рамках бюджетних тем кафедри квантової теорії поля та космофізики фізичного факультету Київського національного університету імені Тараса Шевченка: тема №16БФ051-05 "Дослідження фундаментальних проблем фізики ядра, елементарних частинок та космофізики"; тема №19БФ051-06 "Топологічні властивості кіральної матерії та бозе-айнштайнівських конденсатів у магнітному полі"; тема №22БФ051-06 "Фундаментальні закони фізики в космології раннього Всесвіту". Робота також виконувалася в рамках проекту ДФФД №Ф54.1/019 "Ефекти неевклідової геометрії і топології в мікро- та макросистемах у зовнішніх полях" та гранту Швейцарського національного наукового фонду SCOPE IZ 7370-152581. Згідно з договором між Київським національним університетом та Європейської організації з ядерних досліджень (ЦЕРН), Горкавенко В.М. є членом міжнародної колаборації SHiP (Search for hidden particles), що займається пошуком частинок нової фізики.

Наукова новизна дослідження: Наукова новизна результатів, наведених в дисертаційній роботі, міститься в дослідженнях пошуку проявів частинок нової фізики скалярного, нейтринного та векторного розширень СМ, а також дослідженнях квантових ефектів, що індукуються у вакуумі скалярного та ферміонного полів матерії топологічним об'єктом дефектом у вигляді космічної струни з "магнітним" полем калібрувальної групи $U_X(1)$, що моделюється непроникливою для полів матерії трубкою скінченного радіуса з "магнітним" полем. Дана модель дозволила розглянути квантові ефекти у вакуумі полів матерії в самому загальному випадку, незалежно від конкретної природи утворення космічної струни, припускаючи, що поля матерії заряджені відносно калібрувальної групи $U_X(1)$.

Вперше зроблено повний і самоузгоджений опис всіх каналів розпаду масивних скалярів з масою в декілька ГеВ в скалярному розширенні СМ. Послідовно розглянуто всі канали народження масивного скаляру з розпадів К

та V мезонів. Проаналізовано прямі канали народження масивного скаляру в протон-нуклонних зіткненнях в залежності від енергії частинок, що зіштовхуються. Знайдено домінуючі канали народження та розпаду масивних скалярів для умов експериментів DUNE, SHiP та експериментів на LHC.

Вперше послідовно розглянуто всі канали народження масивного векторного бозону (в розширенні SM зі взаємодією типу Черна-Саймонса) з розпадів K та V мезонів, включаючи народження векторних бозонів у розпадах V мезонів у різні збуджені стани каонів.

Отримано оригінальні розв'язки та виражено елементи юкавівської матриці в нейтринному розширенні SM з параметрами масової матриці активних нейтрино.

Вперше проаналізовано коректність використання матричних елементів середовища RUTNIA для опису народження правокіральных масивних нейтрино в тричастинкових розпадах мезонів в умовах експерименту SHiP. Запропоновано вибір спрощених матричних елементів середовища RUTNIA, що дають найменше відхилення від коректних розрахунків.

Вперше отримано аналітичні вирази та за допомогою чисельних методів побудовано графічні залежності індукованої густини енергії у вакуумі скалярного поля матерії за різних значень сталої зв'язку скалярного поля з кривизною простору-часу для випадку граничної умови на поверхні трубки типу Діріхле.

Вперше показано, що у випадку граничної умови на поверхні трубки типу Діріхле повна індукована енергія не залежить від сталої зв'язку скалярного поля з кривизною простору-часу.

Вперше показано, що ефект поляризації вакууму квантованого зарядженого скалярного поля матерії в присутності "магнітної" космічної струни у випадку граничної умови на поверхні трубки типу Неймана є суттєво більшим в порівнянні з випадком граничної умови типу Діріхле.

Вперше показано, що "магнітна" космічна струна, що була сформована на масштабах теорії Великого об'єднання, буде поляризувати вакуум сучасних полів матерії, але не зможе впливати на вакуум полів з масою порядку масштабу теорії Великого об'єднання.

Вперше досліджено поведінку індукованого магнітного потоку у вакуумі квантованого масивного зарядженого скалярного поля в присутності "магнітної" космічної струни у кінчному просторі довільної розмірності від значень параметра граничної умови типу Робена на всьому проміжку можливих значень цього параметра $-\pi/2 \leq \theta < \pi/2$.

Вперше показано, що за недодатних значень параметра $-\pi/2 \leq \theta < 0$ індукований магнітний потік у вакуумі квантованого масивного зарядженого скалярного поля в присутності "магнітної" космічної струни є найбільшим для випадку $\theta = -\pi/2$ (гранична умова типу Неймана), а найменшим він є для випадку $\theta = 0$ (гранична умова типу Діріхле).

Вперше показано, що за додатніх значень параметра $0 < \theta < \pi/2$ існують розв'язки, що відповідають зв'язаним станам. Індукований магнітний потік може бути більшим та не занулятися при значно більших товщинах космічної струни

в порівнянні з потоком, що індукується за граничної умови типу Робена з недодатним значенням параметра θ .

Вперше отримано загальний вигляд граничної умови на ферміонне поле матерії на поверхні трубки скінченного радіуса, виходячи з умови самоспряженого розширення оператора діраковського гамільтоніана в присутності "магнітної" космічної струни у кінчному просторі-часі розмірності $2+1$.

Вперше отримано аналітичні вирази та за допомогою чисельних методів в просторі-часі розмірності $2+1$ досліджено поведінку індукованого магнітного потоку у вакуумі квантованого масивного зарядженого ферміонного поля в присутності "магнітної" космічної струни від значень параметра самоспряженого розширення. Знайдені значення параметра самоспряженого розширення, за яких повний індукований потік є скінченим.

Вперше показано, що умова скінченності значення індукованого потоку у вакуумі квантованого масивного зарядженого ферміонного поля в присутності "магнітної" космічної струни є недостатньою для визначення фізичних значень параметра самоспряженого розширення. Додатковою умовою є вимога спадання величини квантових ефектів при збільшенні товщини космічної струни.

4. Теоретичне та практичне значення роботи. Результати, представлені в дисертації, є важливими для експериментального пошуку легких частинок нової фізики (скалярних, ферміонних та векторних) на прискорювачах в сучасних експериментах типу SHiP (SPS CERN), DUNE (Fermilab) та експериментів на LHC. Отримані результати можуть бути застосовані в астрофізиці для опису та прояву ефектів, викликаних топологічними дефектами утвореними у ранньому Всесвіті, а саме космічними струнами з "магнітним" полем калібрувальної групи $U_X(1)$. Результати, представлені в дисертації, також мають фундаментальне значення, розкриваючи теоретико-польовий прояв ефекту Казимира-Ааронова-Бома.

5. Особистий внесок здобувача. Дисертація є самостійною науковою працею, в якій висвітлені власні ідеї і розробки автора, що дозволили вирішити поставлені завдання. У виконаних із співавторами роботах, здобувачеві належить:

- постановка задачі; запис аналітичних виразів для перенормованої індукованої густини енергії; розробка методу чисельного розрахунку поляризації вакууму масивного зарядженого поля матерії в присутності космічної струни, що моделюється непроникливою для полів матерії трубкою скінченного радіуса з "магнітним" полем; проведення чисельного розрахунку поляризації вакууму [3].
- постановка задачі; розв'язок рівняння, що пов'язує елементи юкавівської матриці з параметрами активних нейтрино; проведення чисельних розрахунків; підготовка рукопису статті [4].
- проведення чисельного розрахунку індукованої густини енергії та повної енергії вакууму масивного зарядженого поля матерії в присутності космічної струни, що моделюється непроникливою для полів матерії трубкою скінченного радіуса з "магнітним" полем в $(2+1)$ -вимірному просторі-часі; доведення незалежності повної індукованої енергії вакууму

скалярного поля від сталої зв'язку скалярного поля з кривизною простору-часу [5].

- проведення чисельного розрахунку індукованої густини енергії та повної енергії вакууму масивного зарядженого поля матерії в присутності космічної струни, що моделюється непроникливою для полів матерії трубкою скінченного радіуса з "магнітним" полем в $(d+1)$ -вимірному просторі-часі; отримання аналітичних виразів для величини, аналога сили Казимира, що намагається збільшити радіус непроникливої трубки з "магнітним" полем; чисельний розрахунок величини, аналога сили Казимира [6].
- постановка задачі; проведення чисельного розрахунку індукованого струму, магнітного поля та магнітного потоку у вакуумі скалярного поля у випадку простору-часу розмірності $2+1$ та $3+1$ [7].
- проведення чисельного розрахунку індукованого струму та магнітного потоку у вакуумі ферміонного поля; знаходження значень параметра самоспряженого розширення діраковського гамільтоніана, при яких індукований магнітний потік є скінченим; доведення, що умова скінченності значення індукованого потоку є недостатньою для визначення фізичних значень параметра самоспряженого розширення; знаходження значення параметра самоспряженого розширення при якому індукований потік є скінченим, а квантові ефекти зростають при збільшенні товщини космічної струни, що є нефізичним [8].
- проведення розрахунків утворення скалярів в розпадах B та D мезонів; проведення розрахунків утворення скалярів в результаті фотонної взаємодії при розсіянні протонів на ядрах мішені [9].
- проведення аналітичних розрахунків; перевірка коректності проведення чисельних розрахунків; аналіз та інтерпретація результатів; підготовка рукопису статті [10].
- розрахунок петльової діаграми, що визначає взаємодію векторного бозона (розширення SM зі взаємодією типу Черна-Саймонса) з кварками різних ароматів; запис в спрощеному вигляді ефективного лагранжіану взаємодії векторного бозона з кварками різних ароматів; розрахунок ймовірності народження векторних бозонів з розпадів нейтральних каонів; підготовка рукопису статті [11].
- проведення чисельних розрахунків індукованого магнітного потоку; доведення необхідності врахування внеску зв'язаних станів; знаходження значень енергії зв'язаних станів та їх внеску в індукований магнітний потік; трактовка поведінки індукованого магнітного потоку за наявності зв'язаних станів в системі [12].
- постановка задачі; проведення чисельних розрахунків густини індукованого вакуумного струму у випадку простору-часу розмірності $2+1$ та $3+1$; підготовка рукопису статті [1].
- постановка задачі; запис аналітичних виразів для перенормованої індукованої густини енергії; перевірка коректності проведення чисельних розрахунків індукованої густини енергії; підготовка рукопису статті [2].

Всі одержані результати узагальнено та проаналізовано автором особисто.

6. Апробація результатів дослідження. Результати дисертаційної роботи апробовано на українських та міжнародних наукових конференціях: Міжнародна конференція молодих вчених та аспірантів “ІЕФ, 2011” (Ужгород, Україна, 2011), III Young Scientists Conference Modern Problems of Theoretical Physics (Kyiv, Ukraine, 2011), 20-th Open Young Scientists’ Conference on Astronomy and Space Physics (Kyiv, Ukraine, 2013), International Conference on p-Adic Mathematical Physics and its Applications (Belgrade, Serbia, 2015), 3-rd Walter THIRRING International School "Fundamentals of Astroparticle and Quantum Physics" (Kyiv, Ukraine, 2017), The International Conference “CERN-Ukraine Cooperation: Current State and Prospects” (Kharkiv, Ukraine, 2018), New trends in high-energy physics, 21-th International conference (Odessa, Ukraine, 2019), XI Bolyai-Gauss-Lobachevsky Conference: Non-Euclidean, Non-Commutative Geometry and Quantum Physics (Kyiv, Ukraine, 2019), X Young Scientists Conference Modern Problems of Theoretical Physics (Kyiv, Ukraine, 2019), XI Young Scientists Conference Modern Problems of Theoretical Physics (Kyiv, Ukraine, 2019).

7. Публікації. Дослідження представленні за сукупністю 10 статей (Q1-Q2), двох статей (Q3), 12 публікацій, що додатково відображають наукові результати дисертації.

Список опублікованих праць за темою дисертації

Статті у наукових фахових виданнях України:

1. **V.M. Gorkavenko**, T.V. Gorkavenko, Yu.A. Sitenko, M.S. Tsarenkova, Induced vacuum current and magnetic flux in quantum scalar matter in the background of a vortex defect with the Neumann boundary condition, *Ukr. J. Phys.* 67(1), 3-10 (2022). doi: 10.15407/ujpe67.1.3 (**Scopus**, **Q3**)
2. **V.M. Gorkavenko**, T.V. Gorkavenko, Yu.A. Sitenko, M.S. Tsarenkova, Induced vacuum energy density of quantum charged scalar matter in the background of an impenetrable magnetic tube with the Neumann boundary condition, *Ukr. J. Phys.* 67(10), 715-721 (2022). doi: 10.15407/ujpe67.10.715 (**Scopus**, **Q3**)

Публікації в іноземних виданнях:

3. **V.M. Gorkavenko**, Yu.A. Sitenko, O.B. Stepanov, Polarization of the vacuum of a quantized scalar field by an impenetrable magnetic vortex of finite thickness, *J. Phys. A: Math. Theor.* 43(17), 175401 (12 pages) (2010). doi: 10.1088/1751-8113/43/17/175401 (**Scopus**, **Q1**)
4. **V.M. Gorkavenko**, S.I. Vilchynskiy, Some constraints on the Yukawa parameters in the neutrino modification of the Standard Model (ν MSM) and CP-violation, *Eur. Phys. J. C* 70(4), 1091-1098 (2010). doi: 10.1140/epjc/s10052-010-1488-y (**Scopus**, **Q1**)
5. **V.M. Gorkavenko**, Yu.A. Sitenko, O.B. Stepanov, Vacuum energy induced by an impenetrable flux tube of finite radius, *Intern. J. Mod. Phys. A* 26(22), 3889-3899 (2011). doi: 10.1142/S0217751X11054346 (**Scopus**, **Q2**)
6. **V.M. Gorkavenko**, Yu.A. Sitenko, O.B. Stepanov, Casimir energy and force induced by an impenetrable flux tube of finite radius, *Intern. J. Mod.*

- Phys. A* 28(31), 1350161 (17 pages) (2013). doi: 10.1142/S0217751X13501613 (*Scopus, Q2*)
7. **V.M. Gorkavenko**, I.V. Ivanchenko, Yu.A. Sitenko, Induced vacuum current and magnetic field in the background of a vortex, *Intern. J. Mod. Phys. A* 31(06), 1650017 (11 pages) (2016). doi: 10.1142/S0217751X16500172 (*Scopus, Q1*)
 8. Yu.A. Sitenko, V.M. Gorkavenko, Induced vacuum magnetic flux in quantum spinor matter in the background of a topological defect in two-dimensional space, *Phys. Rev. D* 100(8), 085011 (36 pages) (2019). doi:10.1103/PhysRevD.100.085011 (*Scopus, Q1*)
 9. I. Boiarska, K. Bondarenko, A. Boyarsky, **V. Gorkavenko**, M. Ovchynnikov, A. Sokolenko, Phenomenology of GeV-scale scalar portal, *J. High Energ. Phys.* 2019(11), 1-45 (2019). doi: 10.1007/JHEP11(2019)162 (*Scopus, Q2*)
 10. **V.M. Gorkavenko**, Y.R. Borysenkova, M.S. Tsarenkova, Production of GeV-scale heavy neutral leptons in three-body decays. Comparison with the PYTHIA approach, *J. Phys. G: Nucl. Part. Phys.* 48(10), 105001 (25 pages) (2021). doi: 10.1088/1361-6471/ac1394 (*Scopus, Q1*)
 11. Yu. Borysenkova, P. Kashko, M. Tsarenkova, K. Bondarenko, **V. Gorkavenko**, Production of Chern-Simons bosons in decays of mesons, *J. Phys. G: Nucl. Part. Phys.* 49(8), 085003 (29 pages) (2022). doi: 10.1088/1361-6471/ac77a7 (*Scopus, Q1*)
 12. Yu.A. Sitenko, **V.M. Gorkavenko**, M.S. Tsarenkova, Magnetic flux in the vacuum of quantum bosonic matter in the cosmic string background, *Phys. Rev. D* 106(10), 105010 (20 pages) (2022). doi: 10.1103/PhysRevD.106.105010 (*Scopus, Q1*)

Наукові праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:

1. **V.M. Горкавенко**, Ю.О. Сітенко, О. Б. Степанов, Густина вакуумної енергії, індукована непрониклим магнітним вихором скінченого поперечного розміру. Міжнародна конференція молодих вчених та аспірантів "ІЕФ, 2011". 24-27 травня, 2011, Інститут Електронної Фізики НАН України, Ужгород (Україна). Науковий вісник Ужгородського університету, серія Фізика, випуск 30, с. 234-239 (2011).
2. S.I. Vilchinskii, **V.M. Gorkavenko**, I.V Rudenok, The influence of the non-zero value of θ_{13} mixing angle on the parameters of the neutrino modification of the Standard Model (ν MSM). III Young Scientists Conference Modern Problems of Theoretical Physics. December 21-23, 2011, Bogolyubov Institute for Theoretical Physics of the NAS of Ukraine, Kyiv (Ukraine). Book of abstracts, 13 (2011).
3. **V.M. Gorkavenko**, Yu.A. Sitenko, O.B. Stepanov, Casimir force induced by impenetrable flux tube of finite radius. III Young Scientists Conference Modern Problems of Theoretical Physics. December 21-23, 2011,

- Bogolyubov Institute for Theoretical Physics of the NAS of Ukraine, Kyiv (Ukraine). Book of abstracts, 55 (2011).
4. I. Ivanchenko, **V.M. Gorkavenko**, Yu. A. Sitenko, Induced vacuum current and magnetic field in the background of a cosmic string modeled by impenetrable magnetic-flux-carrying tube. 20-th Open Young Scientists' Conference on Astronomy and Space Physics. April 22-27, 2013, Kyiv (Ukraine). Abstracts.– K.: ТОВ “КОМПАНІЯ ВАІТЕ”, 30 (2013).
 5. Yu.A. Sitenko, **V.M. Gorkavenko**, Self-adjointness, confinement and the Casimir effect. International Conference on p-Adic Mathematical Physics and its Applications. September 7-12, 2015, Belgrade (Serbia). Conference proceedings: Facta Universitatis, Series Physics, Chemistry and Technology **14** (3), 319-335 (2016).
 6. **V. Gorkavenko**, K. Bondarenko, O. Seleznov, S. Vilchynskiy, Search for light Higgs-like particles in proton collisions with a target at the SHiP experiment. 3-rd Walter THIRRING International School "Fundamentals of Astroparticle and Quantum Physics". September 17-23, 2017, Bogolyubov Institute for Theoretical Physics of the NAS of Ukraine, Kyiv (Ukraine). List of invited speakers <http://quark.itp.tuwien.ac.at/~diefaust/2017/>
 7. **V. Gorkavenko**, Search for light Higgs-like particles in proton collisions with a target at the SHiP experiment. The International Conference “CERN-Ukraine Cooperation: Current State and Prospects”. May 15-17, 2018, Institute for Scintillation Materials NAS of Ukraine, Kharkiv (Ukraine). Conference Programme https://kipt.kharkov.ua/conferences/itp/2018/Programme_CERN-Ukraine.pdf
 8. **V.M. Gorkavenko**, Search for Hidden Particles in Intensity Frontier Experiment SHiP. New trends in high-energy physics, 21-th International conference organized by the Bogolyubov Institute for Theoretical Physics, National Academy of Sciences of Ukraine. May 12–18, 2019, Odessa (Ukraine). Proceeding of the conference, 147-152 https://indico.bitp.kiev.ua/event/1/attachments/3/163/Book_conf.pdf
 9. **V.M. Gorkavenko** and Yu.A. Sitenko, Polarization of the vacuum of quantized spinor field by a topological defect in two-dimensional space. XI Bolyai-Gauss-Lobachevsky Conference: Non-Euclidean, Non-Commutative Geometry and Quantum Physics. May 19-24, 2019, Bogolyubov Institute for Theoretical Physics, Kyiv (Ukraine). Book of abstracts, 14 (2019).
 10. **V. Gorkavenko**, P. Kashko, K. Bondarenko, Chern-Simons portal. X Young Scientists Conference Modern Problems of Theoretical Physics. December 23-24, 2019, Bogolyubov Institute for Theoretical Physics of the NAS of Ukraine, Kyiv (Ukraine). Book of abstracts, 55 (2019).
 11. Y. Borysenkova, K. Bondarenko, **V. Gorkavenko**, A. Svetlichnyi, M. Tsarenkova, Production of HNL in 3-body decays of mesons. Comparison

with PYTHIA approach. XI Young Scientists Conference Modern Problems of Theoretical Physics. December 21-23, 2020, Bogolyubov Institute for Theoretical Physics of the NAS of Ukraine, Kyiv (Ukraine). Book of abstracts, 7-9 (2021).

12. М. Tsarenkova, К. Bondarenko, Y. Borysenkova, **V. Gorkavenko**, P. Kashko, Phenomenology of GeV-scale Chern-Simons boson. XI Young Scientists Conference Modern Problems of Theoretical Physics. December 21-23, 2020, Bogolyubov Institute for Theoretical Physics of the NAS of Ukraine, Kyiv (Ukraine). Book of abstracts, 10-13 (2021).

8. Оцінка мови та стилю дисертації. Дисертація виконана фаховою українською мовою, текстове подання матеріалу відповідає стилю науково-дослідної літератури.

9. Відповідність принципам академічної доброчесності. Дисертаційна робота на тему «Пошук проявів частинок та топологічних струноподібних об'єктів за межами Стандартної моделі» відповідає принципам академічної доброчесності. Використані в докторській дисертації, наукових публікаціях, в яких висвітлені основні наукові результати дисертації, наукові тексти, ідеї, розробки, наукові результати й матеріали інших авторів супроводжуються посиланням на авторів та/або на джерело опублікування.

10. Відповідність змісту дисертації спеціальності, з якої вона подається до захисту. Дисертаційне дослідження на тему «Пошук проявів частинок та топологічних струноподібних об'єктів за межами Стандартної моделі» відповідає паспорту спеціальності 01.04.02 – теоретична фізика.

ВИСНОВОК

Дисертація, виконана Горкавенком Володимиром Миколайовичем на тему «Пошук проявів частинок та топологічних струноподібних об'єктів за межами Стандартної моделі», є завершеним науково-дослідним дослідженням. Отримані результати є нові і оригінальні та мають науково-теоретичну і практичну цінність. Зміст дисертації відповідає визначеній меті, поставлені здобувачем наукові завдання вирішені повністю, мети дослідження досягнуто. Основні положення дисертації, задекларовані здобувачем, містять наукову новизну. Структура й обсяг роботи відповідають встановленим вимогам. Наукові положення, висновки та підходи повністю обґрунтовані та аргументовані, містять наукову новизну та отримали необхідну апробацію на наукових конференціях. У публікаціях здобувача відображені всі положення дисертації. Викладене дозволяє зробити висновок про те, що дисертаційне дослідження Горкавенка Володимира Миколайовича на тему «Пошук проявів частинок та топологічних струноподібних об'єктів за межами Стандартної моделі» відповідає всім вимогам п. 7, 8, 9 «Порядку присудження та позбавлення наукового ступеня доктора наук», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 17.11.2021 року №1197, які висуваються до докторських дисертацій, і рекомендується до захисту на здобуття наукового ступеня доктора фізико-

математичних наук зі спеціальності 01.04.02 – теоретична фізика.

Результати дисертаційного дослідження Горкавенка Володимира Миколайовича на тему: «Пошук проявів частинок та топологічних струноподібних об'єктів за межами Стандартної моделі» та представлених публікацій обговорено і схвалено на засіданні кафедри квантової теорії поля та космофізики фізичного факультету Київського національного університету імені Тараса Шевченка (протокол №3 від 25 вересня 2023 р.).

Головуючий на засіданні –

доктор фізико-математичних наук, професор,
завідувач кафедри квантової теорії поля та
космомікрофізики
фізичного факультету

Станіслав ВІЛЬЧИНСЬКИЙ

Рецензент -

доктор фізико-математичних наук, професор,
провідний науковий співробітник Астрономічної
обсерваторії Київського національного
університету імені Тараса Шевченка

Богдан ГНАТИК

Рецензент -

доктор фізико-математичних наук, професор,
провідний науковий співробітник Астрономічної
обсерваторії Київського національного
університету імені Тараса Шевченка

Валерій ЖДАНОВ

Рецензент -

доктор фізико-математичних наук, доцент,
кафедри квантової теорії поля та
космомікрофізики фізичного факультету

Олександр ЯКИМЕНКО

Секретар кафедри
кандидат фізико-математичних наук,
асистент

Олена ТЕСЛИК