

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

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



2025 р.

ВИСНОВОК

**Київського національного університету імені Тараса Шевченка
про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів
дисертації Соболя Олександра Олександровича на тему:
«Генерація калібрувальних полів на стадії космологічної інфляції»,
поданої на здобуття наукового ступеня доктора фізико-математичних наук
за спеціальністю 01.04.02 – теоретична фізика**

Дисертація (наукова доповідь) Соболя Олександра Олександровича на тему: «Генерація калібрувальних полів на стадії космологічної інфляції», 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.

Важливим спостережним фактом про Всесвіт є те, що він містить магнітні поля у різних об'єктах та структурах практично на всіх масштабах: від планет і зір до галактик, їх скупчень та філаментів. Більше того, існують непрямі докази наявності надзвичайно слабких магнітних полів у космічних войдах – порожнинах великомасштабної структури Всесвіту. Ця повсюдність, особливо присутність магнітних полів на космологічних масштабах, вказує на їхнє первинне, а не астрофізичне походження. З'ясування походження цих полів є однією з актуальних проблем сучасної космології.

Космологічна інфляція – стадія прискореного розширення Всесвіту, що передувала стадії домінування випромінювання, – є важливим компонентом найпоширеніших космологічних моделей Всесвіту. Під час цієї стадії генеруються первинні неоднорідності, які є основою для формування великомасштабної структури Всесвіту, анізотропії реліктового випромінювання та стохастичного фону гравітаційних хвиль. Тому досить природною виглядає генерація магнітних або, більш загально, калібрувальних полів у цю епоху.

Присутність додаткових ступенів вільності – калібрувального поля – під час інфляції призводить до низки нових і цікавих ефектів: народження частинок

за рахунок ефекту Швінгера, модифікації спектрів первинних скалярних та тензорних збурень, прискореного розігріву Всесвіту, що починається ще під час інфляції, формування первинних чорних дір. Поля, згенеровані під час інфляції, можуть породити в подальшому баріонну асиметрію Всесвіту або бути частиною темної матерії сьогодні. Широкий спектр явищ, пов'язаних з генерацією калібрувальних полів в інфляційних моделях, обумовлює актуальність теми дисертаційного дослідження.

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

Робота виконана у рамках досліджень, що проводяться на кафедрі квантової теорії поля та космомікрофізики фізичного факультету Київського національного університету імені Тараса Шевченка: тема №16БФ051-05 «Дослідження фундаментальних проблем фізики ядра, елементарних частинок та космомікрофізики» (науковий керівник – д. ф.-м. н., проф. Каденко Ігор Миколайович); тема №19БФ051-06 «Топологічні властивості кіральної матерії та бозе-айнштайнівських конденсатів у магнітному полі» (науковий керівник – д. ф.-м. н., проф. Горбар Едуард Володимирович); тема №22БФ051-06 «Фундаментальні закони фізики в космології раннього Всесвіту» (науковий керівник – д. ф.-м. н., проф. Горбар Едуард Володимирович).

Робота також виконувалася в рамках проєкту № 2020.02/0060 «Генерація і еволюція первинних магнітних полів», фінансованого Національним фондом досліджень України (науковий керівник – д. ф.-м. н., проф. Горбар Едуард Володимирович).

3. Наукова новизна дослідження.

Вперше запропоновано формалізм градієнтного розкладу – новітній метод для опису генерації калібрувальних полів під час інфляції, що дозволяє самоузгоджено врахувати зворотну реакцію згенерованих полів на інфляційну динаміку та швінгерівське народження заряджених частинок.

Вперше встановлено універсальні, модельно-незалежні закономірності режиму сильної зворотної реакції згенерованих калібрувальних полів на інфляційну динаміку. Вони включають коливну поведінку густини енергії калібрувальних полів та поля інфлатона, подовження інфляційної стадії, сповільнення скочування інфлатона, спектр згенерованих полів з ухилом в короткохвильову область.

Вперше оцінено параметри магнітних полів, що можуть бути згенеровані у моделі псевдоскалярної інфляції з аксіальним зв'язком калібрувального поля з інфлатоном, з урахуванням явища зворотного каскаду магнітної спіральності у постінфляційній еволюції магнітного поля. Показано, що в такій моделі можна згенерувати гелікальні магнітні поля з максимальною індукцією до 10^{-15} Гс і з кореляційною довжиною порядку 1 парсека.

Вперше отримано модельно-незалежні оцінки для величини гіпермагнітних полів, згенерованих під час аксіонної інфляції із застосуванням формалізму градієнтного розкладу.

Вперше доведено, що розв'язок Анбера-Сорбо в режимі сильної зворотної реакції під час аксіонної інфляції, в якому втрати енергії на генерацію калібрувального поля є основним джерелом тертя під час скочування інфлатона, не є стійким у жодній області простору параметрів.

Вперше отримано явні вирази для ефективних функцій кінетичного і аксіального зв'язку електромагнітного поля з інфлатоном в айнштайнівській системі відліку у моделі хіггсівської інфляції з немінимальним зв'язком електромагнітного поля з кривиною простору-часу. Встановлено, що ефективна генерація калібрувальних полів у цій моделі можлива лише у випадку чисто аксіального або аксіально-домінованого зв'язку. Оцінено сучасні значення магнітного поля та його кореляційної довжини, які можуть сягати в даній моделі 10^{-15} Гс та 10 пк, відповідно.

Вперше продемонстровано, що в інфляційній моделі Хігса-Старобінського з немінимальним зв'язком калібрувального поля з кривиною простору-часу можна отримати масштабно-інваріантний спектр калібрувальних полів чи навіть спектр з ухилом у довгохвильову область. Це дозволяє отримати більшу кореляційну довжину магнітного поля порівняно з магнітогенезом в інших моделях.

Вперше показано, що в модифікованій моделі Старобінського з немінимальним зв'язком калібрувального поля з кривиною простору-часу зворотна реакція сильно змінює поведінку спектру, надає йому ухилу в короткохвильову область і не дозволяє отримати достатньо велику довжину когерентності магнітного поля, що потрібна для пояснення спостережень магнітних полів у войдах.

Вперше застосовано кінетичний та гідродинамічний підходи до опису динаміки ефекту Швінгера під час інфляції та розігріву. Виявлено якісно нову поведінку електричного поля та струму заряджених частинок: вони не просто монотонно прямують до нуля, а здійснюють знакозмінні згасні коливання. З'ясовано також причину цих коливань – запізнення реакції індукованого струму на зміни електричного поля через інерційні властивості носіїв заряду.

Вперше отримано з перших принципів систему квантових кінетичних рівнянь, що описують швінгерівське народження заряджених скалярних частинок змінним у часі електричним полем у Всесвіті, що розширюється. Також отримано перенормовані вирази для фізичних спостережуваних (густини енергії, тиску та електричного струму) народжених скалярних частинок.

Вперше отримано вираз для швінгерівського струму в неколінеарних електричному та магнітному полях, а також проаналізовано залежність швінгерівського загасання мод калібрувального поля від їх частоти. Показано, що результуюче значення згенерованого поля може відрізнятися більш ніж на порядок порівняно з попередніми результатами, що не враховують зазначених особливостей.

Вперше показано, що генерація кіральної асиметрії і кірального заряду є ефективною під час аксіонної інфляції. Чисельно кіральний дисбаланс для характерних значень констант зв'язку становить близько 25–27 % від густини ферміонного числа.

Вперше з використанням формалізму лінійного відгуку розраховано темп перевероту кіральності за рахунок скінченної маси частинок у гарячій електронно-позитронній плазмі при температурах порядку 100 MeV у ранньому Всесвіті. Показано, що він є величиною першого порядку за константою тонкої структури і на 3 порядки перевищує наївну оцінку, яка використовувалася в літературі протягом десятиліть.

Вперше розраховано електропровідність гарячої абелевої плазми зі скалярними носіями заряду в лідируючому логарифмічному порядку по константі взаємодії. Встановлено, що її чисельне значення є меншим, ніж у ферміонному випадку. Отримано просту аналітичну формулу для провідності плазми з довільною кількістю скалярних та ферміонних типів частинок.

Вперше отримано рівняння, що описує еволюцію скалярного збурення кривини під час інфляції у присутності калібрувальних полів. Це рівняння враховує вплив калібрувального поля як на фонову динаміку, так і на еволюцію скалярних збурень через джерело, яке є квадратичним за операторами калібрувального поля і призводить до негаусовості збурень кривини. Отримано загальні вирази для спектрів дво- та триточкової кореляційних функцій скалярних збурень.

4. Теоретичне значення роботи.

Результати, представлені в дисертації, носять фундаментальний характер і є важливими для кількісного опису калібрувальних полів в інфляційних моделях та їх еволюції до теперішнього часу. Вони розкривають універсальні закономірності перебігу режиму сильної зворотної реакції згенерованих полів, описують складну динаміку швінгерівського народження заряджених частинок, демонструють вирази для кінетичних коефіцієнтів гарячої плазми з кіральною асиметрією. Результати є цікавими для космології раннього Всесвіту, квантової теорії поля у Всесвіті, що розширюється, теорії поля при скінченних температурах.

5. Практичне значення роботи.

Результати, отримані у дисертації, дозволяють провести зв'язок між теоретичними розрахунками калібрувальних полів під час інфляції і їх спостережними проявами: магнітними полями у войдах, скалярними збуреннями, вмістом темної матерії тощо. Запропонований у дисертації метод градієнтного розкладу є новим методом опису генерації калібрувальних полів під час інфляції, що враховує такі нелінійні явища, як зворотна реакція згенерованих полів та ефект Швінгера. Цей метод на сьогодні широко використовується у науковій спільноті і дає змогу отримати чисельні результати у ситуаціях, де інші методи (помодове розкладання у Фур'є-просторі чи ґраткові симуляції) не працюють. Кінетичний опис ефекту Швінгера, розроблений у дисертації, дозволяє врахувати нелокальність у часі процесу швінгерівського народження заряджених частинок. Запропонований формалізм для опису генерації первинних скалярних збурень – це на сьогодні єдиний підхід, що дозволяє

самоузгоджено врахувати присутність калібрувальних полів під час інфляції як на рівні однорідного фону, так і на рівні збурень.

6. Особистий внесок здобувача.

Дисертація (наукова доповідь) є самостійною науковою працею, в якій висвітлені власні ідеї і розробки автора, що дозволили вирішити поставлені завдання. Робота містить теоретичні та методичні положення і висновки, сформульовані дисертантом особисто. Використані в дисертації ідеї, положення чи гіпотези інших авторів мають відповідні посилання і використані лише для підкріплення ідей здобувача. У роботах, виконаних зі співавторами, здобувачеві належить:

- У роботі [1]: постановка задачі, виведення робочої системи рівнянь, отримання чисельних результатів у формалізмі градієнтного розкладу, визначення величини згенерованої кіральної асиметрії.
- У роботі [2]: виведення рівняння еволюції модової функції електромагнітного поля, чисельне розв'язування модового рівняння та визначення спектру згенерованих полів.
- У роботі [3]: аналіз режиму зворотної реакції та отримання універсальної форми спектру згенерованих полів у цьому режимі.
- У роботі [5]: ідея побудови системи рівнянь для квадратичних функцій калібрувального поля, яка в подальших роботах призвела до формалізму градієнтного розкладу, виведення рівнянь руху для калібрувальних полів, всі чисельні результати.
- У роботі [6]: виведення кінетичного рівняння Больцмана зі швінгерівським джерелом, отримання з нього рівнянь гідродинамічного підходу, аналіз чисельних результатів.
- У роботі [7]: виведення квантових кінетичних рівнянь, виділення ультрафіолетово розбіжних внесків у фізичні спостережувані величини та їх скорочення за допомогою контрчленів.
- У роботі [8]: постановка задачі, загальна концепція формалізму градієнтного розкладу, аналітичний вивід рівнянь формалізму градієнтного розкладу та граничних доданків.
- У роботі [9]: обчислення швидкості перевероту кіральності в формалізмі лінійного відгуку, аналітичне обчислення всіх відповідних діаграм Фейнмана, аналіз розбіжностей та їх регуляризація.
- У роботі [10]: обчислення швидкості врівноваження кіральної асиметрії за рахунок з процесів розсіяння $2 \text{ в } 2$ у рамках кінетичного підходу.
- У роботі [11]: отримання виразів для функцій кінетичного та аксіального зв'язку калібрувального поля з інфлатоном та полем Хіггса в айнштайнівській системі відліку, чисельний аналіз та обчислення спектрів згенерованих полів.
- У роботі [12]: загальна концепція формалізму градієнтного розкладу, аналітичний вивід рівнянь формалізму градієнтного розкладу та граничних доданків за наявності провідності, всі чисельні результати.

- У роботі [13]: чисельний аналіз методом градієнтного розкладу, сканування простору параметрів, побудова графіків.
- У роботі [14]: отримання виразів для функцій кінетичного та аксіального зв'язку калібрувального поля зі скаляроном та полем Хігса в айнштайнівській системі відліку, чисельний аналіз та обчислення спектрів згенерованих полів.
- У роботі [15]: постановка задачі, виведення рівнянь формалізму градієнтного розкладу для змішаної моделі з аксіальним та кінетичним зв'язками, отримання всіх чисельних результатів.
- У роботі [16]: виведення лінеаризованого формалізму градієнтного розкладу, виведення рівняння для власних значень в лінійній теорії збурень, чисельний аналіз з використанням повного та лінеаризованого формалізмів градієнтного розкладу, побудова графіків.
- У роботі [17]: постановка задачі, аналітичне отримання рівняння руху для скалярних збурень кривини, вирази для спектрів дво- і триточкової кореляційної функції скалярних збурень.
- У роботі [18]: виведення рівнянь формалізму градієнтного розкладу, виведення виразів для швінгерівського струму у системі відліку, де електричне та магнітне поля не колінеарні, отримання чисельних результатів у випадках відсутності частотної залежності та наближеної частотної залежності ефекту Швінгера.

Всі одержані результати узагальнено та проаналізовано автором особисто.

7. Апробація результатів дослідження.

Результати досліджень доповідалися на наукових семінарах кафедри квантової теорії поля та космофізики фізичного факультету Київського національного університету імені Тараса Шевченка, а також на наступних наукових семінарах і конференціях:

1. Семінар Астрономічної обсерваторії Київського національного університету імені Тараса Шевченка, 7 лютого 2018 року, Київ, Україна.
2. Семінар Лабораторії фізики елементарних частинок та космології Федеральної політехнічної школи м. Лозанна, 6 квітня 2020 року, Лозанна, Швейцарія.
3. Віртуальна конференція “Zooming in on Axions in the Early Universe”, 22–26 червня 2020 року, ЦЕРН, Швейцарія. <https://indico.cern.ch/event/923834/>
4. Семінар Інституту чорних дір кафедри астрономії та фізики космосу Київського національного університету імені Тараса Шевченка, 15 лютого 2022 року, Київ, Україна.
5. Online Workshop “Physics of the Early Universe”, 13–17 червня 2022 року, ЦЕРН, Швейцарія. <https://indico.cern.ch/event/1143551/overview>
6. The 1st Summer School for young researchers of the Norwegian Centre for CERN-related Research, 29 червня 2022 року, ЦЕРН, Швейцарія.
7. QFT Research Seminar, Інститут теоретичної фізики Вестфальського університету імені Вільгельма, 23 січня 2023 року, Мюнстер, Німеччина.

8. Семінар норвезької спільноти в ЦЕРНі “NorCC Online Seminar”, 16 травня 2023 року, ЦЕРН, Швейцарія.
9. The 25th International Conference From the Planck Scale to the Electroweak Scale (PLANCK 2023), 22–26 травня 2023 року, Варшава, Польща.
<http://indico.fuw.edu.pl/conferenceDisplay.py?confId=68>
10. The 2nd Biannual workshop “Bielefeld-Muenster Cosmo Connection”, 27–28 лютого 2024 року, Білефельд, Німеччина.
11. The 4th EuCAPT Annual Symposium, 14–16 травня 2024 року, ЦЕРН, Швейцарія. <https://indico.cern.ch/event/1335106/>
12. The 4th Biannual workshop “Bielefeld-Muenster Cosmo Connection”, 11–12 березня 2025 року, Білефельд, Німеччина.

8. Публікації.

За результатами дослідження опубліковано 21 наукова праця: 17 статей у закордонних фахових виданнях (Scopus, Q1-Q2), 1 стаття у фаховому виданні України (Scopus, Q3), 3 публікації, що додатково відображають наукові результати дисертації.

Список опублікованих праць за темою дисертації

Статті у наукових фахових виданнях України:

1. E.V. Gorbar, A.I. Momot, I.V. Rudenok, **O.O. Sobol**, S.I. Vilchinskii, and I.V. Oleinikova, Chirality production during axion inflation, *Ukr. J. Phys.* **68**, 717–729 (2023). DOI: 10.15407/ujpe68.11.717 (*Scopus*, *Q3*).

Публікації в іноземних виданнях:

2. S. Vilchinskii, **O. Sobol**, E. V. Gorbar, I. Rudenok, Magnetogenesis during inflation and preheating in the Starobinsky model, *Phys. Rev. D* **95**, 083509 (2017). DOI: 10.1103/PhysRevD.95.083509 (*Scopus*, *Q1*).
3. **O.O. Sobol**, E.V. Gorbar, M. Kamarpour, S.I. Vilchinskii, Influence of backreaction of electric fields and Schwinger effect on inflationary magnetogenesis, *Phys. Rev. D* **98**, 063534 (2018). DOI: 10.1103/PhysRevD.98.063534 (*Scopus*, *Q1*).
4. **O.O. Sobol**, Electrical conductivity of hot Abelian plasma with scalar charge carriers, *Phys. Rev. D* **100**, 056012 (2019). DOI: 10.1103/PhysRevD.100.056012 (*Scopus*, *Q1*).
5. **O.O. Sobol**, E.V. Gorbar, S.I. Vilchinskii, Backreaction of electromagnetic fields and the Schwinger effect in pseudoscalar inflation magnetogenesis, *Phys. Rev. D* **100**, 063523 (2019). DOI: 10.1103/PhysRevD.100.063523 (*Scopus*, *Q1*).
6. E.V. Gorbar, A.I. Momot, **O.O. Sobol**, S.I. Vilchinskii, Kinetic approach to the Schwinger effect during inflation, *Phys. Rev. D* **100**, 123502 (2019). DOI: 10.1103/PhysRevD.100.123502 (*Scopus*, *Q1*).
7. **O.O. Sobol**, E.V. Gorbar, A.I. Momot, S.I. Vilchinskii, Schwinger production of scalar particles during and after inflation from the first principles, *Phys. Rev. D* **102**, 023506 (2020). DOI: 10.1103/PhysRevD.102.023506 (*Scopus*, *Q1*).

8. **O.O. Sobol**, A.V. Lysenko, E.V. Gorbar, S.I. Vilchinskii, Gradient expansion formalism for magnetogenesis in the kinetic coupling model, *Phys. Rev. D* **102**, 123512 (2020). DOI: 10.1103/PhysRevD.102.123512 (*Scopus, Q1*).
9. A. Boyarsky, V. Cheianov, O. Ruchayskiy, and **O. Sobol**, Equilibration of the chiral asymmetry due to finite electron mass in electron-positron plasma, *Phys. Rev. D* **103**, 013003 (2021). DOI: 10.1103/PhysRevD.103.013003 (*Scopus, Q1*).
10. A. Boyarsky, V. Cheianov, O. Ruchayskiy, and **O. Sobol**, Evolution of the Primordial Axial Charge across Cosmic Times, *Phys. Rev. Lett.* **126**, 021801 (2021). DOI: 10.1103/PhysRevLett.126.021801 (*Scopus, Q1*).
11. **O.O. Sobol**, E.V. Gorbar, O.M. Teslyk, S.I. Vilchinskii, Generation of an electromagnetic field nonminimally coupled to gravity during Higgs inflation, *Phys. Rev. D* **104**, 043509 (2021). DOI: 10.1103/PhysRevD.104.043509 (*Scopus, Q1*).
12. E.V. Gorbar, K. Schmitz, **O.O. Sobol**, S.I. Vilchinskii, Gauge-field production during axion inflation in the gradient expansion formalism, *Phys. Rev. D* **104**, 123504 (2021). DOI: 10.1103/PhysRevD.104.123504 (*Scopus, Q1*).
13. E.V. Gorbar, K. Schmitz, **O.O. Sobol**, S.I. Vilchinskii, Hypermagnetogenesis from axion inflation: Model-independent estimates, *Phys. Rev. D* **105**, 043530 (2022). DOI: 10.1103/PhysRevD.105.043530 (*Scopus, Q1*).
14. R. Durrer, **O. Sobol**, and S. Vilchinskii, Magnetogenesis in Higgs-Starobinsky inflation, *Phys. Rev. D* **106**, 123520 (2022). DOI: 10.1103/PhysRevD.106.123520 (*Scopus, Q1*).
15. R. Durrer, **O. Sobol**, and S. Vilchinskii, Backreaction from gauge fields produced during inflation, *Phys. Rev. D* **108**, 043540 (2023). DOI: 10.1103/PhysRevD.108.043540 (*Scopus, Q1*).
16. R. von Eckardstein, M. Peloso, K. Schmitz, **O. Sobol**, and L. Sorbo, Axion inflation in the strong-backreaction regime: decay of the Anber-Sorbo solution, *JHEP* **11**, 183 (2023). DOI: 10.1007/JHEP11(2023)183 (*Scopus, Q2*).
17. R. Durrer, R. von Eckardstein, D. Garg, K. Schmitz, **O. Sobol**, and S. Vilchinskii, Scalar perturbations from inflation in the presence of gauge fields, *Phys. Rev. D* **110**, 043533 (2024). DOI: 10.1103/PhysRevD.110.043533 (*Scopus, Q1*).
18. R. von Eckardstein, K. Schmitz, and **O. Sobol**, On the Schwinger effect during axion inflation, *JHEP* **02**, 096 (2025). DOI: 10.1007/JHEP02(2025)096 (*Scopus, Q2*).

*Наукові праці, які додатково відображають
наукові результати дисертації:*

19. A. Boyarsky, V. Cheianov, O. Ruchayskiy, and **O. Sobol**, Equilibration of the chiral asymmetry due to finite electron mass, Virtual workshop “Zooming in on Axions in the Early Universe” (June 22–26, 2020, CERN, Switzerland): Report of Abstracts, Abstract ID 23.
URL: <https://indico.cern.ch/event/923834/contributions/3883327/>
20. R. von Eckardstein, M. Peloso, K. Schmitz, **O. Sobol**, and L. Sorbo, Axion inflation in the strong-backreaction regime, The 25th International Conference From the Planck Scale to the Electroweak Scale (PLANCK 2023) (May 22–26, 2023, Warsaw, Poland): Abstracts book, Abstract ID 137.

URL: <http://indico.fuw.edu.pl/conferenceDisplay.py?confId=68>

21. R. Durrer, R. von Eckardstein, D. Garg, K. Schmitz, **O. Sobol**, and S. Vilchinskii, Scalar perturbations from inflation in the presence of gauge fields, 4th EuCAPT Annual Symposium, (May 14–16, 2024, CERN, Geneva, Switzerland): Report of Abstracts, Abstract ID 33.

URL: <https://indico.cern.ch/event/1335106/contributions/5833050/>

9. Оцінка мови та стилю дисертації.

Дисертація (наукова доповідь) виконана фаховою українською мовою, текстове подання матеріалу відповідає стилю науково-дослідної літератури.

10. Відповідність принципам академічної доброчесності.

Дисертаційна робота на тему «Генерація калібрувальних полів на стадії космологічної інфляції» 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.

11. Відповідність змісту дисертації спеціальності, з якої вона подається до захисту.

Дисертаційне дослідження на тему «Генерація калібрувальних полів на стадії космологічної інфляції» відповідає паспорту спеціальності 01.04.02 – теоретична фізика.

ВИСНОВОК

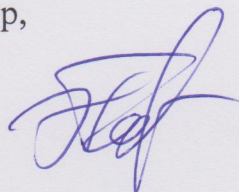
Дисертація (наукова доповідь), виконана Собоєм Олександром Олександровичем, на тему «Генерація калібрувальних полів на стадії космологічної інфляції», є завершеним науково-дослідним дослідженням. Отримані результати є нові і оригінальні та мають науково-теоретичну і практичну цінність. Зміст дисертації (наукової доповіді) відповідає визначеній меті, поставлені здобувачем наукові завдання вирішені повністю, мети дослідження досягнуто. Основні положення дисертації (наукової доповіді), 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 і семінарах. У публікаціях здобувача відображені всі положення дисертації (наукової доповіді). Викладене дозволяє зробити висновок про те, що дисертація Соболя Олександра Олександровича на тему «Генерація калібрувальних полів на стадії космологічної інфляції» відповідає всім вимогам п. 6, 7, 8 «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 Соболя Олександра Олександровича на тему: «Генерація калібрувальних полів на стадії космологічної інфляції» та представлених публікацій обговорено і схвалено на засіданні кафедри квантової теорії поля та космофізики фізичного факультету Київського національного університету імені Тараса Шевченка (протокол № 12 від 10 березня 2025 р.).

Головуючий на засіданні –

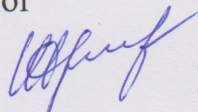
доктор фізико-математичних наук, професор,
професор кафедри квантової теорії поля та
космофізики
фізичного факультету



Едуард ГОРБАР

Рецензент -

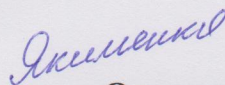
доктор фізико-математичних наук, професор,
провідний науковий співробітник Астрономічної
обсерваторії Київського національного
університету імені Тараса Шевченка



Валерій ЖДАНОВ

Рецензент -

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



Олександр ЯКИМЕНКО

Рецензент -

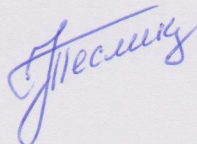
доктор фізико-математичних наук, доцент,
доцент кафедри квантової теорії поля та
космофізики фізичного факультету



Володимир ГОРКАВЕНКО

Секретар кафедри

кандидат фізико-математичних наук,
асистент кафедри квантової теорії поля та
космофізики фізичного факультету



Олена ТЕСЛИК