

Облікова картка дисертації

I. Загальні відомості

Державний обліковий номер: 0826U003124

Особливі позначки: відкрита

Дата реєстрації: 06-07-2026

Статус: Наказ про видачу диплома

Реквізити наказу МОН / наказу закладу:



II. Відомості про здобувача

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Ковтонюк Вадим Сергійович

2. Vadym S. Kovtoniuk

Кваліфікація:

Ідентифікатор ORCID ID: Не застосовується

Вид дисертації: доктор філософії

Аспірантура/Докторантура: так

Шифр наукової спеціальності: 104

Назва наукової спеціальності: Фізика та астрономія

Галузь / галузі знань: природничі науки

Освітньо-наукова програма зі спеціальності: Фізика та астрономія

Дата захисту: 13-07-2026

Спеціальність за освітою: Фізика та астрономія

Місце роботи здобувача: Інститут теоретичної фізики ім. М. М. Боголюбова Національної академії наук України

Код за ЄДРПОУ: 05417124

Місцезнаходження: вул. Метрологічна, Київ, 03143, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Національна академія наук України

Ідентифікатор ROR:

III. Відомості про організацію, де відбувся захист

Шифр спеціалізованої вченої ради (разової спеціалізованої вченої ради): PhD 14317

Повне найменування юридичної особи: Інститут теоретичної фізики ім. М. М. Боголюбова
Національної академії наук України

Код за ЄДРПОУ: 05417124

Місцезнаходження: вул. Метрологічна, Київ, 03143, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Національна академія наук України

Ідентифікатор ROR:

IV. Відомості про підприємство, установу, організацію, в якій було виконано дисертацію

Повне найменування юридичної особи: Інститут теоретичної фізики ім. М. М. Боголюбова
Національної академії наук України

Код за ЄДРПОУ: 05417124

Місцезнаходження: вул. Метрологічна, Київ, 03143, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Національна академія наук України

Ідентифікатор ROR:

V. Відомості про дисертацію

Мова дисертації: Англійська

Коди тематичних рубрик: 29.05.15

Тема дисертації:

1. Некласичність статистик вимірювання квантового електромагнітного випромінювання
2. Nonclassicality of measurement statistics of quantum electromagnetic radiation

Реферат/анотація:

1. Квантові стани світла, які не можуть бути представлені як статистичні суміші когерентних станів, називають неklasичними. Формально це означає, що їхня Глаубера-Сударшана Р-функція є від'ємною або високосингулярною. Такі стани лежать в основі ключових ефектів квантової оптики, таких як антигрупування фотонів, квадратурне стиснення та субпуассонівської статистики фотовідліків, і є ресурсом для квантової метрології, квантових комунікацій, квантового сенсорингу, схем бозонного семплінгу та інших квантових лінійних мереж, квантових ядрових методів, а також для генерації багаточастинкової заплутаності за допомогою пасивних лінійно-оптичних елементів. Саме тому достовірне виявлення неklasичності є необхідною для розвитку цих квантових технологій. Безпосереднє експериментальне відновлення Р-функції зазвичай неможлива через її сингулярний характер, а наявні непрямі ознаки, такі як параметр Манделя Q, нерівності Клишка або суббіноміальний параметр, орієнтовані на конкретні спостережувані величини та є

лише достатніми умовами. Загальна підхід, що спирається на опуклу структуру множини класичних статистик та на показникові нерівності, що випливають із теореми про роздільну гіперплощину, з'явилася лише нещодавно. Проте її пряме застосування часто є обчислювально складним, що зумовлює потребу в систематичному способі отримання найбільш показникових щільних (або найбільш інформативних). Метою дисертації є розробка і застосування систематичного теоретичного підходу до підтвердження неklasичності статистики вимірювання квантового електромагнітного випромінювання в реалістичних та інформаційно неповних експериментальних умовах. Для досягнення цієї мети поставлено три основні завдання. По-перше, сформулювати строге поняття щільних нерівностей, що забезпечують мінімальний і вичерпний набір лінійних умов класичності для заданої схеми вимірювання. По-друге, отримати щільні нерівності для практично значущих схем вимірювання з урахуванням експериментальних недосконалостей, таких як оптичні втрати, обмежена роздільна здатність детекторів та неузгодженість мод. По-третє, розробити методи виявлення прихованої оптичної неklasичності (неklasичності, яку в принципі неможливо виявити жодним способом, що застосовується до одномодових статистик вимірювання) шляхом використання спільної структури пов'язаних станів, таких як стани, що готуються умовно у двомодових схемах. У дисертації розроблено уніфікований теоретичний апарат, який представляє виявлення неklasичності статистик вимірювань як задачу опуклої геометрії та теорії узагальнених моментів і за рахунок якого можливе виведення практичних критеріїв для реалістичних схем фотодетектування. Щільні нерівності забезпечують найсильніші умови класичності, які можна отримати з даного набору експериментальних даних, і залишаються застосовними в практичних сценаріях, що враховують експериментальні недосконалості. Показано, що вони перевершують загальноприйняті умови на основі дисперсії у конкретних експериментально значущих прикладах, таких як суперпуассонівські фазостиснені стани. Побудова моделі локальних прихованих класичних станів дає змогу виявити неklasичні риси умовно приготовлених станів, недоступні для будь-якого одномодового аналізу, за рахунок демонстрації неklasичного стірінгу або, що еквівалентно, порушення цієї моделі. У сукупності ці результати розширюють можливості виявлення неklasичності в реалістичних квантово-оптичних експериментах і створюють надійну платформу для подальшого розширення на інші експериментальні схеми.

2. Quantum states of light that cannot be represented as statistical mixtures of coherent states are said to be nonclassical, equivalently characterized by a negative or highly singular Glauber--Sudarshan P function. Such states underlie core quantum-optical effects---antibunching, squeezing, and sub-Poissonian statistics---and serve as the operational resource for quantum metrology, communication, sensing, boson sampling, and quantum kernel methods, as well as for the generation of multipartite entanglement via passive linear optics. Reliable certification of nonclassicality is therefore essential for the development of these quantum technologies. Direct reconstruction of the P function is typically infeasible due to its singular nature, and existing indirect criteria---such as the Mandel Q parameter, Klyshko's inequalities, or the sub-binomial parameter---target specific observables and provide only sufficient conditions. A general framework based on the convex structure of the set of classical statistics and on witness inequalities from the hyperplane separation theorem has emerged only recently, but its direct application is often computationally prohibitive---calling for a systematic way to extract the tightest---or most informative---witnesses. The aim of this thesis is to develop and apply a systematic theoretical framework for certifying nonclassicality of measurement statistics of quantum electromagnetic radiation under realistic and informationally incomplete experimental conditions. More specifically, three objectives are pursued. First, to formulate a rigorous notion of tight inequalities that provides a minimal and exhaustive set of linear classicality conditions for a given detection scheme. Second, to derive tight inequalities for practically relevant measurement schemes, accounting for experimental imperfections such as optical losses, limited resolution, and mode mismatch. Third, to develop methods for revealing latent optical nonclassicality---nonclassicality that cannot be detected in principle by any test applied to the individual measurement statistics---by exploiting the shared structure of related states, such as those conditionally prepared in bipartite schemes. The thesis develops a unified theoretical framework that casts the certification of nonclassicality of measurement statistics as a problem in convex geometry and the generalized moment theory, and turns it into a collection of

practical criteria for realistic photodetection schemes. Tight inequalities provide the strongest classicality conditions extractable from a given set of measurement data and remain applicable in practical scenarios that account for experimental imperfections such as optical losses and limited detector resolution. They are shown to outperform traditional variance-based tests in concrete experimentally relevant examples, including super-Poissonian phase-squeezed states. The introduction of the local hidden classical states model enables one to reveal nonclassical features of conditionally prepared states that are inaccessible to any single-mode analysis, by exhibiting nonclassical steering---or equivalently, a violation of this model. Taken together, these results enlarge the reach of nonclassicality certification in realistic quantum-optical experiments and provide a solid foundation for further extensions to other experimental schemes.

Державний реєстраційний номер ДіР:

Пріоритетний напрям розвитку науки і техніки: Фундаментальні наукові дослідження з найбільш важливих проблем розвитку науково-технічного, соціально-економічного, суспільно-політичного, людського потенціалу для забезпечення конкурентоспроможності України у світі та сталого розвитку суспільства і держави

Стратегічний пріоритетний напрям інноваційної діяльності: Освоєння нових технологій транспортування енергії, впровадження енергоефективних, ресурсозберігаючих технологій, освоєння альтернативних джерел енергії

Підсумки дослідження: Нове вирішення актуального наукового завдання

Публікації:

- V. S. Kovtoniuk, E. V. Stolyarov, O. V. Kliushnichenko, and A. A. Semenov, "Tight inequalities for nonclassicality of measurement statistics," Phys. Rev. A 109, 053710 (2024)
- E. V. Stolyarov, O. V. Kliushnichenko, V. S. Kovtoniuk, and A. A. Semenov, "Photon-number resolution with microwave Josephson photomultipliers," Phys. Rev. A 108, 063710 (2023)
- V. S. Kovtoniuk, A. B. Klimov, and A. A. Semenov, "Latent optical nonclassicality of conditionally prepared states," Phys. Rev. A 111, 053701 (2025)
- V. S. Kovtoniuk, I. S. Yeremenko, S. Ryl, W. Vogel, and A. A. Semenov, "Nonclassical correlations of radiation in relation to Bell nonlocality," Phys. Rev. A 105, 063722 (2022)
- V. S. Kovtoniuk, M. Bohmann, and A. A. Semenov, "Nonclassical photocounting statistics with a single on-off detector", Phys. Rev. A 113, 063726 (2026)

Наукова (науково-технічна) продукція:

Соціально-економічна спрямованість:

Охоронні документи на ОПІВ:

Впровадження результатів дисертації: Впроваджено

Зв'язок з науковими темами:

VI. Відомості про наукового керівника/керівників (консультанта)

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Семенов Андрій Олександрович
2. Andrii A. Semenov

Кваліфікація: д. ф.-м. н., старший науковий співробітник, 05.12.13

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0001-5104-6445

Додаткова інформація: https://scholar.google.com.ua/citations?user=aUco_KwAAAAJ&hl=ru

Повне найменування юридичної особи: Інститут теоретичної фізики ім. М. М. Боголюбова
Національної академії наук України

Код за ЄДРПОУ: 05417124

Місцезнаходження: вул. Метрологічна, Київ, 03143, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Національна академія наук України

Ідентифікатор ROR:

VII. Відомості про офіційних опонентів та рецензентів

Офіційні опоненти

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Шперлінг Ян --

2. Jan Sperling

Кваліфікація: д. ф.-м. н., 01.04.02

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0002-5844-3205

Додаткова інформація:

Повне найменування юридичної особи: Падерборнський університет

Код за ЄДРПОУ:

Місцезнаходження: Warburger Str. 100, Падерборн, 33098, Німеччина

Форма власності: Державна

Сфера управління:

Ідентифікатор ROR:

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Фюрашек Яромір --

2. Jaromir Fiurasek

Кваліфікація: д. філософ, 01.04.02

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0002-6316-6812

Додаткова інформація:

Повне найменування юридичної особи: Університет Палацького в Оломоуці

Код за ЄДРПОУ:

Місцезнаходження: Křížkovského 511/8, Оломоуц, 779 00, Чехія

Форма власності: Державна

Сфера управління:

Ідентифікатор ROR:

Рецензенти

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Іоргов Микола Зіновійович

2. Iorgov Nikolai Zinovyevich

Кваліфікація: д. ф.-м. н., с.н.с., 01.04.02

Ідентифікатор ORCID ID: Не застосовується

Додаткова інформація: <https://scholar.google.com/citations?user=RqxF21cAAAAJ>

Повне найменування юридичної особи: Інститут теоретичної фізики ім. М. М. Боголюбова
Національної академії наук України

Код за ЄДРПОУ: 05417124

Місцезнаходження: вул. Метрологічна, Київ, 03143, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Національна академія наук України

Ідентифікатор ROR:

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Шарапов Сергій Геннадійович

2. Serhii H. Sharapov

Кваліфікація: д. ф.-м. н., 01.04.02

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0002-8871-0917

Додаткова інформація:

Повне найменування юридичної особи: Інститут теоретичної фізики ім. М. М. Боголюбова
Національної академії наук України

Код за ЄДРПОУ: 05417124

Місцезнаходження: вул. Метрологічна, Київ, 03143, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Національна академія наук України

Ідентифікатор ROR:

VIII. Заключні відомості

Власне Прізвище Ім'я По-батькові
голови ради

Золотарюк Ярослав Олександрович

Власне Прізвище Ім'я По-батькові
головуючого на засіданні

Золотарюк Ярослав Олександрович

Відповідальний за підготовку
облікових документів

Ковтонюк Вадим Сергійовича

Реєстратор

Юрченко Тетяна Анатоліївна

Керівник відділу УкрІНТЕІ, що є
відповідальним за реєстрацію наукової
діяльності



Юрченко Тетяна Анатоліївна