

РІШЕННЯ
СПЕЦІАЛІЗОВАНОЇ ВЧЕНОЇ РАДИ
ПРО ПРИСУДЖЕННЯ СТУПЕНЯ ДОКТОРА ФІЛОСОФІЇ

Спеціалізована вчена рада ДФ 26.104.04 Інституту фізики Національної академії наук України, м. Київ прийняла рішення про присудження ступеня доктора філософії галузі знань 10 - Природничі науки на підставі прилюдного захисту дисертації «Дослідження та чисельне моделювання джерел світла з квантовими властивостями на основі багаторівневих атомів» за спеціальністю 104 Фізика та астрономія 29 лютого 2024 року.

Стриженко Сергій Сергійович 1994 року народження,
громадянин України,

освіта вища: закінчив у 2018 році Московський фізико-технічний інститут (державний університет)» за спеціальністю 03.04.01 Прикладні математика і фізика, диплом магістра з відзнакою.

Закінчив у 2022 році аспірантуру Інституту фізики НАН України з відривом від виробництва за спеціальністю 104 Фізика та астрономія.

Працює на посаді молодшого наукового співробітника в відділі когерентної і квантової оптики Інституту фізики НАН України, м. Київ, з листопада 2022 року до цього часу.

Дисертацію виконано у відділі когерентної і квантової оптики Інституту фізики Національної академії наук України, м. Київ.

Науковий керівник: Яценко Леонід Петрович, доктор фіз.-мат.наук, професор, академік НАН України, завідувач відділу когерентної і квантової оптики Інституту фізики НАН України.

Здобувач має 6 наукових публікацій за темою дисертації, з них дві статті у періодичних наукових виданнях інших держав, проіндексованих у базах даних Web of Science та Scopus і віднесених до першого квартилю (Q1) відповідно до класифікації SCImago Journal and Country Rank, а також чотири тези доповідей на міжнародних наукових конференціях, у тому числі:

- A. Bruns, C.-Y. Hsu, S. Stryzhenko, E. Giese, L. P. Yatsenko, I. A. Yu, T. Halfmann, and T. Peters, "Ultrabright and narrowband intra-fiber biphoton source at ultralow pump power", Quantum Science and Technology **8**, 015002 (2022).

- A. Saharyan, B. Rousseaux, Z. Kis, S. Stryzhenko, and S. Guérin, "Propagating single photons from an open cavity: description from universal quantization", Phys. Rev. Res. **5**, 033056 (2023).

Крім цього, перед захистом дисертації опублікована робота Sergiy Stryzhenko, Alexander Bruns, and Thorsten Peters. N scaling of large-sample collective decay in inhomogeneous ensembles - Physical Review Research, 2024, 6, 013091 – Published 24 January 2024

що була оприлюднена на момент подачі дисертації у вигляді препринту (S. Stryzhenko, A. Bruns, and T. Peters, N Scaling of large-sample collective decay in inhomogeneous ensembles, submitted to Phys. Rev. Res., 2023, arXiv:2307.11623 [quant-ph]).

У дискусії взяли участь голова і члени спеціалізованої вченої ради та присутні на захисті фахівці:

Негрійко А.М., доктор фіз.-мат.наук, член-кор. НАН України, завідувач відділу лазерної спектроскопії Інституту фізики НАН України – без зауважень

Васнецов М. В., доктор фіз.-мат.наук, професор, завідувач відділу оптичної квантової електроніки Інституту фізики НАН України, зауважень до тексту роботи не має, крім вживання іноді лабораторних термінів (наукового жаргону).

Дмитрук А.М., доктор фіз.-мат.наук, провідний науковий співробітник відділу фотонних процесів Інституту фізики НАН України, висловив зауваження:

«1. Щодо термінів і граматики. Хоча робота загалом написана грамотно, деякі терміни граматично неправильні: замість «світлоділитель» потрібно вживати «світлоподільник», замість «співпадати» — «збігатись», замість «співпадіння» — «збіг», замість «одиначний» — «одичний».

2. Деякі терміни, хоча й зустрічаються в літературі, не є загальноприйнятими. Зокрема, в роботі вжито термін «оптична товщина (optical depth)» замість більш часто вживаного «оптична густина (optical density)». Замість «чисельна апертура» прийнято казати «числова апертура».

3. В описі електромагнітно-індукованої прозорості вжито терміни «двофотонний резонанс» (ст. 29), «двофотонна відстройка» (ст. 30). Схоже, тут у слово «двофотонний» вкладено інше значення, ніж це прийнято в нелінійній оптиці. Варто це пояснити, але краще уникати вживання однакових термінів з різним значенням у суміжних областях науки.

4. Термін «поле когерентності» (ст. 32) вартий окремого пояснення.

5. Для чіткості висловлення варто уникати жаргону (хоча він і зрозумілий фахівцям) на кшталт: «Динаміка стоксового поля відбувається **на часах**, набагато **коротших** за середню **швидкість** спонтанного переходу $\langle \Gamma_R \rangle_r = 2\pi \times 45 \text{ kHz}$ » (ст. 86).

6. У класифікації квантових джерел світла (ст. 12, ст. 19, ст. 23) однією з ознак джерел другого типу вказано їхню здатність генерувати фотони «у великій кількості за одиницю часу». Варто уточнити, яка саме кількість є великою.

7. В описі ефекту Хенбері-Брауна і Твісса (ст. 21-22) вжито поняття «одночасного» детектування фотонів. Варто пояснити точність «одночасності».
8. Підрозділ 3.1.2 «Натрієві опорні зірки» є цікавим. Схоже, він стосується можливого практичного застосування результатів дисертаційної роботи, однак це не пояснено в тексті роботи.
9. Є неточності у формулах. У формулі (3.17) ліва частина залежна від z , проте права частина — ні. У формулі (3.18) ліва частина — вектор, проте права — скаляр. У формулах (3.19), (3.20) незрозумілі індекси при d та ρ . У формулах (3.21), (3.22) не пояснено S_{FF} .
10. Твердження про «обмеження комплексної алгебри» і «надлишковість, що виникає внаслідок того, що квантові оператори є ермітовими» (ст. 51) варто пояснити детальніше. Також варто пояснити, що автор має на увазі, кажучи про «точність ... обчислень» на ст. 59.
11. В описі тонкої структури атомів рубідію (ст. 63) неправильно вказані значення квантового числа F для $5^2P_{3/2}$: вказано $\{1, 2, 3, 4\}$, а має бути $\{0, 1, 2, 3\}$. Відповідні рівні неправильно підписані на Рис. 4.3. Напевно, це описки.
12. На ст. 65 перший і другий абзаци практично збігаються. Так само — другий і третій на ст. 73.
13. Цікаво, як саме 12 см волокна (ст. 61) були розташовані в 7 см вакуумної камери (ст. 66)?
14. Чим пояснюється розбіжність у значеннях OD експерименту ($40 \geq OD \geq 80$) і теорії ($OD = 15$) на ст. 71?
15. Якщо Рис. 5.11 показує результати чисельного моделювання, то чим зумовлений шум на графіках?
16. Який фізичний зміст значення показника заломлення $n = 27.735$ на Рис. 6.4?

Вказані зауваження не ставлять під сумнів основні положення наукової новизни роботи, високу наукову якість представлених у ній результатів і їхнє практичне значення».

Семенов А.О., доктор наук з галузі «Природничі науки», провідний науковий співробітник відділу синергетики Інституту теоретичної фізики ім. М.М. Боголюбова НАН України: «Попри те, що загальний рівень досліджень та представлені результати не викликають великого сумніву в кваліфікації автора, у мене все ж таки є певні зауваження та запитання до тексту дисертаційної роботи та до методів дослідження, що використовуються автором.

1. Хоча автор помітно намагався зробити текст дисертації як можна більш зручним для читача, структура дисертації не є оптимальною. Наприклад, в Розділі 3 описано чисельну модель для системи атомів рубідію-87 та електромагнітного поля в оптичному волокні. В цьому ж розділі детально

розглядається саме волокно. Проте атоми рубідію розглядаються лише в наступному розділі, що створює певні проблеми при читанні дисертації.

Огляд самих оптичних волокон з відповідними рисунками зустрічається в дисертації двічі – в Розділах 3 та 4. Також в тексті багато місця присвячено прикладам, які прямо не відносяться до теми дослідження (наприклад, детальний опис опорних зірок в адаптивній оптиці). Для таких прикладів достатньо було короткого згадування в тексті.

2. В тексті дисертації є багато описок та стилістичних помилок. Найбільш яскравим прикладом є повтор тексту на стор. 73. Мова написів на рисунках (англійська) не збігається з мовою дисертації (українська). Деякі формули оформлено без належної математичної культури. Наприклад, формула (2.10) та подібні їй містять число ліворуч та кет-вектор праворуч від знаку рівності.
3. Я маю зауваження до терміну “форма фотону”. Сам по собі фотон не може мати форму. Натомість, форму має немонотонна мода, яка знаходиться в однофотонному стані Фока.
4. Зміст параграфу 2.1 “Особливості джерел квантового світла” є вкрай незадовільним. Автор, можливо, намагався пояснити зміст поняття “некласичні стани поля”. У такому випадку варто було б звернутися до оригінального означення, яке було запропоновано Тітулайєром та Глаубером та вже біля 60 років використовується в квантовій оптиці. А саме, якщо стан поля можна представити у вигляді статистичної суміші класичних полів (когерентних станів), то він є класичним. Всі інші стани є некласичними. Тобто для некласичних станів Р-функція Глаубера-Сударшана не може бути проінтерпретована як густина імовірностей. Стани Фока є хоч і важливим, але лише частинним випадком більш широкого класу некласичних станів. З тексту ж дисертації можна зробити висновок, що лише стани Фока є некласичними, що не є вірним твердженням.
5. Те саме відноситься до теплових станів, які автор називає класичними. По суті, так воно і є, але вони не є єдиним прикладом класичних станів.
6. Для кількісної характеристики якості джерела однофотонного світла автор використовує кореляційну функцію другого порядку. Більше того, як це впливає з формул (2.4), (2.7) та (2.8), він пов’язує їх з імовірностями детектування фотонів. Такий підхід може бути виправданий лише у

випадку, якщо є впевненість в тому, що джерело не містить двох та більше фотонів. Цей факт не обговорюється в дисертації та він не впливає на пряму з тексту.

7. Перед формулою (2.4) автор пише, що кореляційна функція другого порядку характеризує заплутаність. Проте в даному випадку він використовує її для характеристики якості однофотонного джерела.
8. Наприкінці параграфа 2.2 автор обговорює залежність кореляційної функції другого порядку від часу τ , проте саме поняття цього часу він ввів лише у наступному параграфі.
9. Система рівнянь (3.33), що лежить в основі чисельної моделі, яку було розвинено автором дисертації, вимагає певних додаткових коментарів. По-перше, в ній, вочевидь, враховано вплив стану атомів на електромагнітне поле, проте не зрозуміло, чи було враховано обернений вплив поля на стан атомів. Теоретично, така система має бути нелінійною, але цього в явному вигляді не видно з наведених рівнянь. По-друге, не дуже зрозуміло, як в цій системі (або в чисельній моделі в цілому) враховується велика кількість атомів, які можуть перебувати у випадкових позиціях всередині оптичного волокна.
10. Система, що розглядає автор, є явним прикладом гібридних квантово-класичних систем. Такі системи останнім часом привертають значну увагу і добре відомо, що формулювання від-повідних рівнянь руху, які будуть зберігати додатність оператора густини, є нетривіальною проблемою; див., наприклад, PRX 13, 041040 (2023). Чи може автор прокоментувати в цьому контексті факт збереження або незбереження додатної означеності оператора густини на прикладі задачі, що він розглядає?
11. Випадкова генерація однофотонних станів на основі біфотонного джерела та тригерної схеми оповіщення, використовує, вочевидь, детектор, який розрізняє лише наявність або присутність фотонів але не їх кількість. У цьому випадку необхідно бути впевненим, що (1) інтенсивність темнових відліків є дуже низькою; (2) джерело не випромінює мультіфотонних пар. Чи може автор навести аргументи на користь того, що у запропонованій схемі ці умови виконуються?
12. Які переваги запропонована схема генерації біфотонних станів має у порівнянні із аналогічною схемою на основі параметричного розсіювання

світла?

13. Аналіз впливу шумів в розділі 4.8 залишає багато запитань. По-перше, не дуже зрозумілою є сама природа такого шуму (за винятком стандартних лінійних втрат). Якщо джерелом шуму є темнові відліки або інші теплові джерела, то згідно рівняння (4.12) вони мають інтерферувати з сигнальним полем. Це можливо лише у двох випадках: або ж температура джерела шуму є виключно високою, або ж є джерело шуму в моді, яка збігається з сигнальною. Перший випадок не є реалістичним, а другий призводить до питань про природу такого шуму. По-друге, перед формулою (4.5) автор пише, що вона є умовою того, що сигнал і шум не є скорельовані. Але це не відповідає дійсності, оскільки тоді в цій формулі відсутній доданок, що відповідає добутку середніх чисел фотонів в сигнальній та шумовій модах.
14. При розгляді детерміністичного джерела однофотонних станів Фока в Розділі 6 автор не врахував внутрішньорезонаторних втрат на поглинання та розсіювання, що є, до речі, доволі стандартною процедурою. При високій добротності резонатора, фотон буди знаходитися досить довгий час в резонаторі. Цього часу може бути цілком достатньо для поглинання або розсіювання фотону. Через це добротність в такій схемі хоч і має бути високою, але вона все ж таки має бути обмежена для мінімізації втрат при виході фотону з резонатора. Відповідних оцінок дисертація не містить і було б бажано, щоб автор навів їх.
15. В параграфі 6.2.3 автор надає певну критику для марковського наближення при виведенні квантового рівняння Ланжевена в квантовій електродинаміці резонаторів. Через це він відмовляється від цього наближення. По-перше, така критика здається мені необґрунтованою. Відповідні аргументи є стандартними і вони впливають з означення дельта-функції Дірака, а також з узгодженості комутаційних співвідношень у відповідних квантових рівняннях Ланжевена та співвідношеннях входу-виходу. По-друге, з тексту дисертації зовсім не зрозуміло яку роль немарковські процеси відіграють у запропонованій схемі генерації однофотонних станів Фока».

Доценко І. В., доктор природничих наук (Dr. rer. nat.), Університет Université Toulouse III - Paul Sabatier, лабораторія Laboratoire Collisions Agrégats Réaction (LCAR), Франція: «Відзначивши позитивні характеристики роботи, вкажемо також на деякі помічені недоліки:

1. На початку роботи автор стверджує, що «квантовість світла та його

використання в квантових технологіях полягає в кількості фотонів, що він містить (фоковські стани). Але великою областю досліджень є, між іншим, використання когерентних станів та станів суперпозицій (так звані, стани кота Шредингера). Наприклад, кодування квантової інформації в парності таких станів (стани з виключно парними або виключно з непарними кількостями фотонів). На жаль, таке світло, що є без сумніву квантовим, не підпадає під вузьке означення «квантовості», надане автором.

2. Так як основна мотивація роботи це генерація одиночних фотонів, хотілося б мати розширений вступ до «ідеальних», «детерміністичних» та «ймовірнісних» джерел світла. З роботи не чітко видно різницю та спільне між ними означеннями. Наприклад, при якій «великій кількості фотонів» джерело стає «ідеальним»? Чи взагалі можливо зробити «ідеальне» джерело фотонів з «ймовірнісного», наприклад з біфотонного?
3. Автор стверджує «ймовірнісні» джерела світла випромінюють виключно біфотони. А чи не можна мати ймовірнісне джерело, що випромінює в деякі слабо визначені часові проміжки саме окремі фотони?
4. У визначенні яскравості ймовірнісних джерел (розділ 2.4), як саме автор визначає «генеровану яскравість»? Чому в неї, наприклад, не входить «робочий цикл експерименту»?
5. Загальне зауваження до деяких графіків з відсутньою назвою осей.
6. Друге та четверте рівняння у формулі (3.2) виглядають некоректно: сума векторів та скаляра у другому рівнянні та скалярний результат у четвертому рівнянні.
7. У третьому розділі автор вже згадує використання порожнистих волокон та одразу ж згадує їх недолік (одна вісь поширення для всіх світлових полів), але не розповідає, для чого ці волокна тоді використовують. Автор дає відповідь на це питання, але набагато пізніше (у четвертому розділі).

Однак перелічені зауваження та дискусійні питання не знижують моєї загальної позитивної оцінки дисертації. Відзначені недоліки не стосуються актуальності роботи, наукової новизни, достовірності та практичної цінності отриманих результатів».

Всі члени ради взяли участь у дискусії. Кожен член ради відкрито висловив свою позицію *за присудження ступеня доктора філософії Сергію Стриженку.*

Загальна оцінка роботи і висновок. Дисертація Стриженка Сергія Сергійовича є актуальним завершеним науковим дослідженням, яке присвячене вирішенню важливого наукового та практичного завдання дослідження та чисельного моделювання джерел світла з квантовими властивостями на основі багаторівневих атомів.

Результати, що наведені у дисертаційній роботі та опубліковані у наукових статтях, належить автору і є його науковим доробком. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

Дисертація Сергія Стриженка «Дослідження та чисельне моделювання джерел світла з квантовими властивостями на основі багаторівневих атомів» відповідає вимогам «Порядку підготовки здобувачів вищої освіти ступеня доктора філософії та доктора наук у закладах вищої освіти (наукових установах)» затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 23 березня 2016 р. № 261 та «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 січня 2022 р. № 44, із змінами, внесеними згідно з Постановою КМ № 341 від 21.03.2022, № 502 від 19.05.2023), а її автор, Стриженко Сергій Сергійович, заслуговує присудження ступеня доктора філософії з галузі знань 10 «Природничі науки» за спеціальністю 104 «Фізика та астрономія».

Результати відкритого голосування: «За» 5 членів ради
«Проти» немає

На підставі результатів відкритого голосування спеціалізована вчена рада Інституту фізики НАН України, м. Київ, присуджує Стриженку Сергію Сергійовичу ступінь доктора філософії з галузі знань 10 – «Природничі науки» за спеціальністю 104 «Фізика та астрономія».

Голова
спеціалізованої вченої ради



Негрійко А.М.

