

Заключение диссертационного совета МГУ.013.4  
по диссертации на соискание ученой степени кандидата наук

Решение диссертационного совета от 27 июня 2024 г. № 3

О присуждении Стручалину Глебу Игоревичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Адаптивные методы в квантовой томографии» по специальности 1.3.19. Лазерная физика (физико-математические науки) принята к защите диссертационным советом «17» мая 2024 г., протокол № 1.

Соискатель Стручалин Глеб Игоревич, 1991 года рождения, в 2015 году окончил специалитет физического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова по специальности «Физика». В 2019 году окончил очную аспирантуру физического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова по специальности «Лазерная физика».

Соискатель работает научным сотрудником в Центре квантовых технологий физического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

Диссертация выполнена на кафедре квантовой электроники физического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

Научный руководитель:

Страупе Станислав Сергеевич, кандидат физико-математических наук, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова», физический факультет, старший научный сотрудник Центра квантовых технологий.

Официальные оппоненты:

- доктор физико-математических наук Богданов Юрий Иванович, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Физико-технологический институт имени К. А. Валиева Российской академии наук лаборатория физики квантовых компьютеров, главный научный сотрудник,
- доктор физико-математических наук, доцент Калачев Алексей Алексеевич, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки, «Федеральный исследовательский центр «Казанский научный центр Российской академии наук», дирекция, директор
- кандидат физико-математических наук, Киктенко Евгений Олегович, ООО «Международный центр квантовой оптики и квантовых технологий», группа квантовых информационных технологий, главный научный сотрудник.

дали положительные отзывы на диссертацию.

Соискатель имеет 10 опубликованных научных работ, из них 5 научных работ по теме диссертации, в том числе 5 научных статей (9,3 п.л.), опубликованных в рецензируемых научных изданиях, удовлетворяющих Положению о присуждении ученых степеней в МГУ имени М.В. Ломоносова и рекомендованных для защиты в диссертационном совете МГУ по специальности 1.3.19. Лазерная физика (физико-математические науки). Все представленные в работе результаты получены автором лично или при его определяющем участии.

1. Experimental adaptive quantum tomography of two-qubit states / **G.I. Struchalin**, I.A. Pogorelov, S.S. Straupe, K.S. Kravtsov, I.V. Radchenko, S.P. Kulik // Physical Review A. — 2016. — Янв. — Т. 93, вып. 1. — С. 012103. — WoS JIF 2,9 / 2,17 п. л. / Авторский вклад: создание экспериментальной установки, программная реализация алгоритмов томографии, проведение измерений и обработка результатов.
2. Experimental adaptive process tomography / I.A. Pogorelov, **G.I. Struchalin**, S.S. Straupe, I.V. Radchenko, K.S. Kravtsov, S.P. Kulik // Physical Review A. — 2017. — Янв. — Т. 95, вып. 1. — С. 012302. — WoS JIF 2,9 / 2,05 п. л. / Авторский вклад: создание экспериментальной установки, обобщение алгоритма томографии состояний на томографию процессов, обработка результатов измерений.
3. Adaptive quantum tomography of high-dimensional bipartite systems / **G.I. Struchalin**, E.V. Kovlakov, S.S. Straupe, S. P. Kulik // Physical Review A. — 2018. — Сент. — Т. 98, вып. 3. — С. 032330. — WoS JIF 2,9 / 2,82 п. л. / Авторский вклад: теоретическая разработка и программная реализация алгоритма томографии, выполнение численных симуляций, помощь в проведении измерений, обработка результатов.
4. Оценка свойств квантовых состояний с использованием «классических теней» / **Г.И. Стручалин**, Я.А. Загоровский, Е.В. Ковлаков, С.С. Страупе, С.П. Кулик // Наноиндустрия. Т. 13. S4 (99). — 2020. — С. 671–672. — РИНЦ Импакт-фактор 0,274 / 0,20 п. л. / Авторский вклад: программная реализация алгоритма томографии, доказательство теорем, помощь в проведении измерений и обработке результатов.
5. Experimental Estimation of Quantum State Properties from Classical Shadows / **G.I. Struchalin**, Ya.A. Zagorovskii, E.V. Kovlakov, S.S. Straupe, S.P. Kulik // PRX Quantum. — 2021. — Янв. — Т. 2, вып. 1. — С. 010307. — WoS JIF 9,7 / 2,06 п. л. / Авторский вклад: программная реализация алгоритма томографии, доказательство теорем, помощь в проведении измерений и обработке результатов.

На диссертацию и автореферат дополнительных отзывов не поступило.

Выбор официальных оппонентов обосновывался тем, что они являются специалистами в области лазерной физики, квантовой и статистической оптики и имеют публикации по схожей тематике. Указанные оппоненты не имеют совместных проектов и публикаций с соискателем.

Диссертационный совет отмечает, что представленная диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований содержится решение задачи, имеющей значение для развития лазерной физики и нелинейной оптики. Диссертационная работа посвящена экспериментальной и теоретической разработке протоколов адаптивной квантовой томографии. Объектом исследования диссертации являются протоколы квантовой томографии состояний и процессов. Цель заключается в экспериментальной проверке и разработке протоколов адаптивной томографии для повышения точности восстановления неизвестного квантового состояния или процесса по сравнению с существующими подходами. Для приготовления квантовых состояний использовалось спонтанное параметрическое рассеяние в нелинейных кристаллах. Результаты работы можно применять при практической реализации квантовых вычислительных устройств и их отладке. В ходе работы экспериментально показано, что метод адаптивной байесовской томографии имеет более высокую точность восстановления неизвестных квантовых состояний и процессов по сравнению со стратегией случайных измерений. Также адаптивный метод менее подвержен влиянию аппаратных погрешностей. В ходе работы был разработан и экспериментально проверен алгоритм томографии высокоразмерных двухкомпонентных систем, а также исследован метод теневой томографии.

Результаты диссертации могут быть использованы в МГУ имени М.В. Ломоносова и других высших учебных заведениях в основных образовательных программах при создании новых и обновлении имеющихся материалов учебных курсов.

Диссертация представляет собой самостоятельное законченное исследование, обладающее внутренним единством. Положения, выносимые на защиту, содержат новые научные результаты и свидетельствуют о личном вкладе автора в науку:

1. Адаптивный байесовский протокол квантовой томографии в эксперименте с поляризационными куквартами демонстрирует качественно лучшую зависимость точности  $d_B^2(N)$  от числа зарегистрированных пар фотонов  $N$ , чем стратегия случайных измерений, при томографии чистых и близких к ним состояний. С уменьшением чистоты состояния преимущество от использования адаптивного протокола тоже снижается, но адаптивный протокол всегда не хуже случайных измерений.
2. Адаптивный байесовский протокол квантовой томографии процессов в эксперименте демонстрирует преимущество по точности  $d_B^2(N)$  над стратегией случайных измерений для унитарных и близких к унитарным процессам, а также для не сохраняющих след процессов единичного ранга независимо от величины потерь.
3. Адаптивный байесовский протокол томографии состояний и процессов менее чувствителен к шумам по сравнению со стратегией случайных измерений, то есть позволяет достичь большей точности при наличии случайных инструментальных

ошибок в экспериментальной установке. Достижение предельной точности, ограничиваемой шумами измерений, можно определить в эксперименте, отслеживая тестовую статистику  $\chi^2$ .

4. Для получения скорости сходимости  $1 - F \propto 1/N$  в случае несовпадения ранга истинного состояния  $R_s$  и ранга оценки  $R_e$  протокол томографии состояний размерности  $D$  должен содержать  $(R_e - R_s)(2D - R_e - R_s)$  независимых операторов измерений, каждый из которых ортогонален к проекторам на собственные векторы, отвечающие ненулевым собственным значениям истинного состояния.
5. Теневая томография позволяет строить несмещённые оценки средних значений проекторов единичного ранга с высоким коэффициентом корреляции с непосредственным измерением даже в случае существенно неполного набора измерений и вне зависимости от размерности пространства состояний исследуемой системы.

На заседании 27 июня 2024 диссертационный совет принял решение присудить Стручалину Глебу Игоревичу ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве **19** человек, из них **7** докторов наук по специальности 1.3.19. Лазерная физика (физико-математические науки), участвовавших в заседании, из **24** человек, входящих в состав совета, проголосовали: «за» – **19**, «против» – **0**, недействительных голосов – **0**.

Председатель  
диссертационного совета МГУ.013.4  
доктор физико-математических наук,  
профессор

Андреев Анатолий Васильевич

Учёный секретарь  
диссертационного совета МГУ.013.4  
кандидат физико-математических наук

Коновко Андрей Андреевич

Дата оформления заключения: 27 июня 2024 г.