

## ОТЗЫВ

члена диссертационного совета Алоджанца Александра Павловича на диссертацию Зинатуллина Эдуарда Рустемовича на тему: «Негауссова статистика полей в задачах квантовой оптики», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по научной специальности 1.3.6. Оптика

Повышение эффективности методов и схем квантовой оптической обработки информации с целью создания квантовых вычислительных устройств является актуальной проблемой, на решение которой направлены усилия многих научных групп как в России, так и за рубежом. Такие устройства способны эффективно решать ряд фундаментальных и прикладных задач, которые оказываются NP-сложными и практически труднореализуемыми при использовании классических алгоритмов. Среди различных подходов к созданию квантового компьютера одним из наиболее перспективных в настоящее время считается подход, основанный на так называемой модели однонаправленных вычислений в непрерывных переменных квантованного светового поля. Она базируется на использовании многочастичных перепутанных состояний квантовых систем, получивших в литературе название кластерных квантовых состояний. Такие состояния могут быть образованы из набора сжатых состояний для мод светового поля. Если бы коэффициент сжатия был бесконечно большим, то вычисления в такой модели выполнялись бы без каких-либо искажений. Однако на практике коэффициент сжатия имеет ограничения в силу ряда причин, что в конечном итоге приводит к возникновению ошибок. Исследования, проведенные в диссертационной работе Зинатуллина Эдуарда Рустемовича, направлены на изучение возможности снижения ошибок за счет использования негауссовых состояний как ресурса для вычислений. Таким образом, работа Э.Р. Зинатуллина, несомненно, является актуальной для проблем реализации квантовых вычислений в реальных устройствах.

В рамках диссертации решаются две основных и взаимосвязанных задачи. Первая задача посвящена исследованию методов снижения ошибки в протоколе квантовой телепортации. Предлагается два пути снижения ошибки: за счет настройки весовых коэффициентов перепутывающих операций и с помощью использования кубического фазового затвора. Примечательно, что механизмы позволяют независимо управлять снижением уровня ошибок в разных квадратурах телепортируемого состояния. Результаты этого исследования полезны с точки зрения выявления возможных путей снижения ошибки в протоколах однонаправленных квантовых вычислений, поскольку протокол квантовой телепортации является составной частью этой модели квантовых вычислений.

Другая задача состоит в переносе методов снижения ошибки в протоколе телепортации на алгоритмы универсальных квантовых вычислений. Именно ей посвящена пятая глава диссертации. Автором был предложен метод поиска оптимальной конфигурации ресурсного кластера, который обеспечивал бы минимальную ошибку базовых операций: произвольного одномодового гауссова преобразования и двухмодовой перепутывающей операции. Снижение ошибки достигается за счет определенного подбора весовых

коэффициентов ресурсного кластерного состояния и внедрения в него негауссовых узлов, полученных с помощью кубического фазового затвора. Стоит отметить, что предложенная методика оптимизации кластера может быть применена и для реализации не универсальных вычислительных алгоритмов, что полезно с точки зрения решения прикладных задач квантовых вычислений.

Тем не менее, отмечу несколько замечаний по тексту диссертации:

1. На рис. 1.3 приведена схема коррекции ошибок отдельно в  $x$  или  $y$  квадратурах. Почему не рассматривается случай, когда ошибка возникает в их линейной комбинации? Тем более, что изначально мы не знаем, в какой квадратуре ошибка и такое предположение было бы более уместным.
2. В главе 2 анализируются способы повышения эффективности квантовой телепортации с дополнительным использованием преобразования CZ, которое на практике содержит несколько линейных элементов, а также квадратично-нелинейную среду, осуществляющую сжатие. В диссертации проводится оценка весовых коэффициентов с учетом ограниченности сжатия, что вызвано свойствами нелинейного кристалла среды. Однако в более общем случае рассмотрения проблемы следовало бы учесть потери излучения в схеме. В условиях потерь, как известно, уменьшается степень сжатия дисперсии соответствующей квадратуры. При этом произведение сопряженных квадратур уже не может быть минимальным ни при каком унитарном преобразовании. Как такого рода ограничения повлияют на результат телепортации?
3. В диссертации много внимания уделяется использованию кубического фазового затвора, принцип действия которого включает процедуру детектирования, которая всегда вносит свои ограничения. Насколько чувствительны рассматриваемые протоколы (для определенности можно рассмотреть протокол телепортации, описанный в параграфе 3.1) к эффективности детектора, используемого в схеме кубического фазового затвора?
4. Имеются неточности и небрежности в формулировках. Например, на стр. 10 работы можно найти следующее, весьма расплывчатое по смыслу утверждение: "Компьютер – это устройство, способное преобразовывать входную информацию в выходную желаемым образом». На стр. 18 диссертации код коррекции ошибок предложенный Готтесманом, Китаевым и Прескиллом, почему то назван кодом Гринбергера, Китаева, Пресскела.

Сделанные замечания не умаляют значения и не снижают общей высокой оценки работы. Таким образом, диссертационная работа Зинатуллин Эдуарда Рустемовича «Негауссова статистика полей в задачах квантовой оптики», представленная на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, является завершённой научно-квалификационной работой. Ее основные результаты опубликованы в открытой печати и докладывались на российских и международных конференциях.

С учетом всего вышесказанного полагаю:

Содержание диссертации Зинатуллина Эдуарда Рустемовича на тему: «Негауссова статистика полей в задачах квантовой оптики» соответствует специальности 1.3.6. Оптика.

Диссертация является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение научной задачи, имеющей значение для развития соответствующей отрасли знаний.

Нарушений пунктов 9, 11 Порядка присуждения Санкт-Петербургским государственным университетом ученой степени кандидата наук, ученой степени кандидата наук соискателем ученой степени мною не установлено.

Диссертация соответствует критериям, которым должны отвечать диссертации на соискание ученой степени кандидата наук, установленным приказом от 19.11.2021 № 11181/1 «О порядке присуждения ученых степеней в Санкт-Петербургском государственном университете» и рекомендована к защите в СПбГУ.

Член диссертационного совета,

д. ф.-м. н., профессор федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский университет ИТМО»,



Алоджанц Александр Павлович

11 февраля, 2024г.