

## ОТЗЫВ

председателя диссертационного совета Петрова Виктора Михайловича 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

Диссертация Зинатуллина Э. Р. посвящена исследованию возможных применений негауссовых квантовых состояний в квантово-оптических приложениях, а именно возможности снижения ошибки за счет внедрения негауссовых операций в схемы вычислений. Актуальность этой темы обусловлена, прежде всего, экспериментальными сложностями, возникающим при реализации схем однонаправленных квантовых вычислений в непрерывных переменных. Сжатие состояния квантового осциллятора, необходимое для реализации отказоустойчивых квантовых вычислений оказывается недостижимо в рамках современного эксперимента. Поэтому исследование методов снижения ошибки, и, соответственно, ослабление требований на сжатие состояний, является важной теоретической задачей.

Первая глава диссертационной работы посвящена обзору исследований в области квантовых вычислений. В этой главе последовательным образом описывается сперва сам принцип однонаправленных квантовых вычислений на физических системах в непрерывных переменных, а затем – квантовые коды коррекции ошибок и поверхностные коды, необходимые для постобработки результатов квантовых вычислений. Данная глава полезна для формирования общих представлений об однонаправленных вычислениях и позволяет очертить круг проблем, имеющих в данной области исследований.

Во второй главе автор проводит сравнение двух перепутывающих преобразований: преобразования CZ и смещения сигналов на светоделителе. В качестве тестового протокола рассматривается протокол телепортации, который лежит в основе модели однонаправленных квантовых вычислений. Было показано, что использование преобразования CZ в качестве перепутывающей операции позволяет уменьшить ошибку телепортации. Это оказывается справедливо не только для идеального преобразования CZ, но и для его оптической реализации. Из всего вышесказанного можно заключить, что результаты данной главы могут быть полезны при экспериментальной реализации протокола телепортации в непрерывных переменных.

В третьей главе автор строит протокол телепортации, позволяющий снизить ошибку телепортации за счет использования негауссовой операции, а именно, кубического фазового затвора. Стоит отметить, что рассмотренный протокол позволяет использовать кубический фазовый затвор с невысокой степенью нелинейности, что является важным преимуществом предложенной схемы, поскольку создание такого затвора с высокими показателями нелинейности является сложной экспериментальной задачей.

В рамках четвертой главы проведен сравнительный анализ протоколов телепортации, использующих как ресурс различные негауссовы состояния: схемы с вычитанием фотонов и предложенной автором схемы с кубическим фазовым затвором. Проведенное сравнение показывает, что использование кубического фазового затвора дает значительно больший выигрыш. Таким образом, результаты этой главы позволяют заключить, что внедрение кубического фазового затвора открывает больше возможностей при экспериментальной реализации протокола телепортации.

В последней, пятой главе диссертации Зинатуллин Э. Р. переносит стратегии уменьшения ошибок, выявленные в предыдущих главах, на схемы реализации гауссовых операций в модели однонаправленных квантовых вычислений. Им предложен метод оптимизации весовых коэффициентов ресурсного кластерного состояния и фаз локальных осцилляторов гомодинных детекторов, обеспечивающий выполнение гауссовых операций с наименьшей ошибкой. Кроме того, им было показано, что внедрение в кластер негауссовых узлов, позволяет значительно снизить ошибку гауссовых операций. С экспериментальной точки зрения, это позволит существенно снизить требования на физические системы при реализации таких операций.

**В качестве замечаний отмечу следующие:**

- 1) На мой взгляд в работе недостаточно полно отражен вопрос экспериментальной реализации выполнения операции кубической фазы. Из текста работы не ясно, есть ли принципиальные ограничения на оптических системах.
- 2) Класс требуемых для вычисления негауссовых состояний определяется через функцию Вигнера, которая обычно является трудноизмеримой в эксперименте. Хотелось бы увидеть более приемлемый для эксперимента критерий оценки состояний.
- 3) Автор в работе часто апеллирует понятием «кластерное состояние с весовыми коэффициентами», однако обсуждение возможности построения такого состояния изложено лишь схематично.

Диссертация оставляет положительное впечатление — проделан большой объем работы, получен целый ряд новых и полезных результатов, имеющих, как теоретическое, так и прикладное значение. В частности, предложен путь реализации гауссовых операций, обеспечивающий их выполнение с минимальной ошибкой.

С учетом всего вышесказанного полагаю:


Содержание диссертации Зинатуллин 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.

Председатель диссертационного совета,  
д.ф.-м.н. (радиофизика), д.ф.-м.н. (оптика),  
профессор СПбГУ



12 марта 2024

Петров Виктор Михайлович