

ОТЗЫВ

научного руководителя, кандидата физ.-мат. наук С.С. Страупе на диссертационную работу Стручалина Глеба Игоревича «Адаптивные методы в квантовой томографии», представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.19. Лазерная физика.

Диссертационная работа Г.И. Стручалина выполнена на кафедре квантовой электроники физического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова. Научную работу на кафедре Глеб Стручалин начал студентом третьего курса и с успехом продолжал её после окончания физического факультета в качестве аспиранта. Темой диссертационной работы Глеба Игоревича стало развитие экспериментальных методов томографии квантовых состояний и процессов. Эта задача приобрела особенное значение с развитием квантовых вычислительных устройств, которое в последнее время происходит ускоряющимися темпами. При разработке квантовых вычислителей, экспериментаторам крайне важно точно понимать, какие именно преобразования в реальности происходят с квантовыми состояниями в устройстве, как отличается состояние на выходе от идеального и пытаться понять механизмы и физические причины возникающих ошибок. Всё это невозможно без использования квантовой томографии – процедуры восстановления неизвестного квантового состояния по результатам некоторого информационно-полного набора измерений. Эта процедура неизбежно статистическая в силу вероятностной природы квантовых измерений, поэтому важнейшей задачей является поиск методов, обеспечивающих наибольшую точность при заданном объеме статистики. Именно этой задачей занимался Глеб Стручалин. В его диссертации исследуется подход, основанный на адаптивных измерениях, когда измерительный базис изменяется по мере получения новой информации о состоянии или процессе. При этом оказывается, что существуют стратегии, позволяющие максимизировать получаемую в каждом последующем измерении информацию, и приблизиться к максимальной достижимой точности.

Первые две оригинальные главы диссертации посвящены байесовскому подходу к адаптивной квантовой томографии. Используемые здесь протоколы вдохновлены идеями из области байесовского обучения и байесовского дизайна экспериментов. В своей работе Глеб Игоревич применил эти идеи к экспериментальной задаче восстановления состояний пар поляризационных кубитов, а также к томографии произвольных преобразований состояний поляризационных кубитов, включая неунитарные и несохраняющие след процессы. Интересно, что Глебу Игоревичу удалось экспериментально показать, что преимущество адаптивных протоколов измерений сохраняется даже в случае, когда на эти

измерения накладываются существенные практические ограничения – например, если в эксперименте, как это зачастую бывает, доступны только однокубитные измерения. Эти идеи получили своё развитие в четвёртой главе работы, оригинальный, принадлежащий автору, протокол квантовой томографии, специально приспособленный для факторизованных измерений в высокоразмерных системах. Экспериментальной платформой, для которой разрабатывался, и на которой тестировался протокол, были высокоразмерные квантовые состояния, закодированные в пространственных модах фотонных пар, рождающихся в процессе спонтанного параметрического рассеяния света. Заключительная глава работы также посвящена экспериментам с пространственными состояниями фотонов, но уже в контексте экспериментальной реализации другой свежей идеи в области квантовых измерений – идеи так называемых классических теней квантовых состояний. Классическими тенями называют совокупность исходов некоторого количества измерений над квантовой системой, которые позволяют с гарантированной вероятностью предсказать результаты экспоненциально большего числа новых, неизвестных измерений над той же системой. Замечательным свойством этого подхода является полиномиальная зависимость необходимого числа измерений от числа кубитов в измеряемой системе, в то время как для полного восстановления состояния требуется экспоненциальное число измерений. Работа Глеба Стручалина и соавторов стала одной из первых экспериментальных реализаций этих идей, и первым оптическим экспериментом такого рода.

Результаты, полученные Глебом Стручалиным, соответствуют высочайшему мировому уровню, что подкрепляется, в частности, публикацией результатов пятой главы в таком высокорейтинговом журнале как PRX Quantum. Большая часть результатов опубликованы в журналах семейства Physical Review, также отметим многократные выступления Глеба Игоревича на представительных международных конференциях по квантовой оптике и квантовой информатике.

Хотелось бы отметить исключительный уровень профессионализма, достигнутый Глебом Стручалиным в ходе работы над диссертацией. Глеб Игоревич стал полностью самостоятельным исследователем, который сочетает в себе высокий уровень теоретической и математической подготовки с прекрасным пониманием техники реального физического эксперимента, и его ограничений. Можно сказать, что большая часть представленной диссертационной работы как раз и родилась в попытках преодолеть эти ограничения и в реальности приблизиться к идеализированным измерительным схемам, диктуемым теоретическими соображениями. Большую часть экспериментальных

работ Глеб Игоревич выполнял лично, и все результаты получены при его определяющем участии. Важнейшим качеством Глеба Игоревича как исследователя является объективность и честность при анализе полученных данных, он всегда стремится добиться полной ясности и понимания, и в достоверности полученных им результатов можно не сомневаться. Такой же подход к научной работе Глеб Игоревич старается прививать многочисленным студентам, работающим под его руководством.

Диссертация Г.И. Стручалина рекомендуется к защите по специальности 1.3.19. Лазерная физика (физико-математические науки).

Кандидат физ.-мат. наук,
с.н.с. Центра квантовых технологий
физического факультета
МГУ имени М.В. Ломоносова

С.С. Страупе

24 января 2024г.

Подпись С.С. Страупе заверяю
Учёный секретарь Учёного совета
физического факультета
МГУ имени М.В. Ломоносова, доцент

С.Ю. Стремоухов