ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Москаленко Ильи Николаевича **«Квантовая электродинамика сверхпроводниковых структур на основе кубитов-флаксониумов»**, представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности **1.3.8 – Физика конденсированного состояния**.

Актуальность. Проектирование и создание квантовых вычислительных устройств получило широкое развитие в последнее десятилетие. На данный момент в этой области знаний имеются несколько лидирующих платформ, среди которых можно выделить системы сверхпроводниковых кубитов, квантовый процессор на основе которых позволил впервые продемоснтрировать принципиальное преимущество по сравнению с классических компьютером. Представленная работа посвящена экспериментальным и теоретическим исследованиям перспективного типа сверхпроводниковых искусственных атомов – кубитов-флаксониумов, а также структур на их основе. В рамках проведенного исследования были предложены методы расчета характеристик и проектирования таких кубитов, связанных с индивидуальными микроволновыми резонаторами в копланарной архитектуре. Выбор архитектуры в данном случае обусловлен дальнейшими перспективами масштабирования, для создания многокубитных систем.

В работе была рассчитана и экспериментально реализована оригинальная схема сверхпроводникового кубита на основе высокой индуктивности линейного массива джозефсоновских контактов с гальванически встроенной линией контроля магнитного потока, которая позволяет сократить число управляющих каналов в системе таких кубитов с двух, до одного на каждый кубит. Предложенная схема может быть использована не только в качестве базового элемента квантового процессора, но и в качестве перестраиваемого элемента связи, для создания управляемой величины взаимодействия, что и было экспериментально продемонстрировано автором на разработанном двухкубитном квантовом процессоре. Стоит отметить реализацию двух типов квантовых

вентилей fSIM и CZ, а также демонстрацию алгоритма перекрестного рандомизированного тестирования, необходимого для оценки точности вентильных операций.

Описанный в последней главе метод детектирования положения одиночного флаксона в ячейках массива сверхпроводниковых кубитов на основе высокой кинетической или джозефсоновской индуктивности открывает альтернативную возможность для построения сверхпроводниковых квантовых симуляторов на основе джозефсоновских передающих линий.

Поиск новых архитектур и базовых элементов сверхпроводниковых процессоров и симуляторов занимает большое место среди работ научных коллективов по всему миру. С этой точки зрения кубиты-флаксониумы благодаря своим существенно большим временам когерентности и низкой частоте основного перехода являются многообещающей альтернативой широко-используемым кубитам-трансмонам. Все вышеописанные результаты получены впервые. В связи с этим актуальность исследования очевидна и не вызывает сомнения.

Целями данной работы стали проектирование, экспериментальные и теоретические исследования сверхпроводниковых квантовых цепей на основе кубитов с высокой индуктивностью в виде линейных массивов джозефсоновских контактов, пригодных для построения масштабируемых квантовых процессоров или квантовых симуляторов.

В работе представлен ряд **оригинальных** результатов:

1. Впервые разработан и продемонстрирован сверхпроводниковый кубит на основе высокой индуктивности линейного массива джозефсоновских контактов с гальванически встроенной линией контроля магнитного потока в копланарной архитектуре.

2. Впервые разработан и продемонстрирован двухкубитный квантовый процессор с перестраиваемым элементом связи на кубитах с высокой джозефсоновской индуктивностью.

3. Впервые предложен метод детектирования положения одиночного квантового флаксона в ячейках массива сверхпроводниковых кубитов на основе высокой джозефсоновской индуктивности, позволяющий проводить исследования квантовой динамики с временным разрешением.

Практическая значимость заключается в возможности использования разработанных кубитов с гальванически встроенной линией контроля магнитного потока, а также схемы реализации перестраиваемого взаимодействия на их основе, для построения универсального квантового процессора на базе кубитов с низкой частотой основного перехода, обладающих улучшенными когерентными свойствами и менее чувствительных к перекрестным наводкам, в сравнении с широко используемыми кубитами-трансмонами. Представляет большой интерес также возможность перехода к субгигагерцовой электронике для обеспечения ресурсосберегающего управления кубитами.

Достоверность и обоснованность полученных результатов обеспечена применением современных и широко используемых в научном сообществе теоретических и экспериментальных методов исследований, а также хорошим согласием с данными, опубликованными другими научными коллективами.

Основные результаты работы автора опубликованы в 3 изданиях, входящих в базы данных Web of Science и Scopus, одно из которых также входит в список, рекомендованный ВАК. Апробация результатов проводилась на российских и международных конференциях.

Автореферат диссертационной работы полностью соответствует её содержанию. Он написан ясным языком с достаточным количеством иллюстративного графического материала, поясняющего полученные результаты.

К сожалению, работа не лишена определенных огрехов. Следует указать на следующее:

1. В общей характеристике работы указано, что основная проблема реализации квантовых вычислений на физических системах с микроскопическими степенями свободы является недостаточная скорость двухкубитных операций. Это утверждение выглядит

дискуссионным. На мой взгляд, проблема лежит скорее в плоскости реализации двухкубитных операций с высокой достоверностью, чем с маленькой длительностью.

2. В описании раздела 2.6 несколько не хватает интерпретации полученных результатов двухтоновой спектроскопии изображенных на рисунке 2.
3. Из описания раздела 3 не совсем понятно можно ли масштабировать предложенную архитектуру до процессоров с большим числом кубитов при сохранении такой же высокой достоверности двухкубитных операций

Перечисленные замечания не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы, выполненной на высоком научном уровне.

Заключение

Считаю, что диссертационная работа Москаленко Ильи Николаевича «Квантовая электродинамика сверхпроводниковых структур на основе кубитов-флаксониумов», представленная на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, соответствует требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней в Национальном исследовательском технологическом университете "МИСиС", а ее автору может быть присвоена степень кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8 – «Физика конденсированного состояния» по результатам публичной защиты диссертации.

Высококвалифицированный научный сотрудник лаборатории "Оптики сложных квантовых систем" Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Физический институт имени П. Н. Лебедева Российской академии наук, кандидат физико-математических наук, Семериков Илья Александрович

ПОДПИСЬ ЗАВЕРЯЮ
Ученый секретарь Колобов А.В.
_____ 20__ г.

Адрес: Ленинский проспект, д. 53с4, 119333, г. Москва
Телефон (рабочий): +7(499) 132-62-74
Адрес электронной почты: semerikovia@lebedev.ru