

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Москаленко Ильи Николаевича

«Квантовая электродинамика сверхпроводниковых структур на основе кубитов-флаксоуиумов», представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности

1.3.8 – Физика конденсированного состояния.

Искусственные атомы на основе сверхпроводников на текущий момент являются одним из лучших кандидатов на роль базового элемента в построении квантовых процессоров, о чем свидетельствуют последние выдающиеся результаты, направленные на достижение квантового превосходства в системах с большим числом сверхпроводниковых кубитов, что несомненно подтверждает актуальность тематики диссертационного исследования.

Работа И.Н. Москаленко посвящена экспериментам с кубитами типа флаксуиум. В работе описаны результаты разработки и применения этого типа сверхпроводниковых кубитов для построения квантовых процессоров. Кубит-флаксоуиум представляет собой модификацию rf-СКВИДа, где в качестве шунтирующей индуктивности используется высокая индуктивность линейного массива джозефсоновских контактов, и обладает лучшими когерентными свойствами по сравнению с широко-применяемыми кубитами-трансмонами.

В работе были рассчитаны, спроектированы и экспериментально исследованы структуры на основе кубитов с низкой рабочей частотой основного перехода. Благодаря предложенной автором схеме с гальванически встроенной линией контроля магнитного потока в контуре кубита ему удалось продемонстрировать оптимальную систему управления, в которой подача постоянного смещения на кубит и реализация однокубитных вентилях производится посредством одного канала генератора сигналов произвольной формы. Сокращение вдвое числа управляющих микроволновых линий, а также переход к использованию субгигагерцовой электроники делают системы низкочастотных кубитов перспективной альтернативой квантовым процессорам

на трансмонах за счет значительного упрощения системы контроля кубитов. Новым результатом является предложение и экспериментальная реализация схемы перестраиваемого взаимодействия между кубитами-флаксонами, позволившей продемонстрировать универсальный двухкубитный квантовый процессор с двухкубитными вентильными операциями $fSIM$ и CZ с потенциально большой точностью одновременно с высокоточными однокубитными вентилями. Стоит отметить разработанный экспериментальный протокол, позволяющий проводить измерения динамики квантового флаксона, захваченного в СКВИД, с временным разрешением, что открывает новый путь к использованию систем джозефсоновских переходов для изучения динамики топологически устойчивых возбуждений.

Работа значима с точки зрения разработки и совершенствования многокубитных квантовых архитектур и поиска альтернативных систем для построения квантовых симуляторов.

Достоверность полученных автором результатов помимо использования современных экспериментальных методов, а также методов расчета и обработки экспериментальных данных, подтверждается их публикацией в рецензируемых журналах и апробацией на научных конференциях. Заявленные результаты обладают научной новизной и оригинальностью, а их практическая значимость не вызывает сомнений.

Автореферат написан логично и ясно, работа в достаточной степени апробирована. Результаты диссертанта включены в 3 публикации в журналах, индексируемых Web of Science и Scopus, а также входили в доклады на нескольких международных и российских конференциях.

Работа в целом выполнена на высоком уровне, но есть ряд замечаний:

Название работы слишком общее и может вводить в заблуждение, поскольку она сфокусирована не на электродинамику вообще, в которую включается, в частности, широкая область квантовой оптики, а на гораздо более узком аспекте использования флаксонов для квантовых вычислений: контроля состояний в кубитах, реализации схем связи, вентилях.

В автореферате, на мой взгляд, упущено обсуждение применимости кубитов с низкой энергией на практике. Например, оценки эффективности (fidelity) должны учитывать эффект конечной температуры окружения, которая сама по себе ограничивает эффективность. В частности, указанная эффективность однокубитного вентиля 99.97%, не учитывает эффективность инициализации (определяется заселённостью верхнего уровня в начальной точке и временем манипуляции – перевода в рабочую точку и ожиданием первого X-импульса), которая при реалистичных параметрах уже ниже этой величины. Это необходимо уточнить. Если подставить рабочие параметры, приведённые в автореферате (600-750 МГц расщепление и 20-30 мК базовая температура), то получается, что вероятность найти систему в возбуждённом состоянии в стационарном режиме 0,17 – 0,38. Это очень большая величина и требует разъяснения. В реальности температура системы может быть выше, чем базовая температура рефрижератора из-за различных шумов в системе и неравновесного излучения, которое сложно полностью подавить.

В таких условиях важно показать, как измерялось время жизни, объяснить, чем оно обусловлено и каков его физический смысл (спонтанная эмиссия или переходы, обусловленные конечной температурой). При значительном вкладе термического возбуждения, переходами с нижнего на возбуждённое состояние тоже нельзя пренебрегать.

Флаксоonium – это радиочастотный СКВИД (rf-СКВИД). Условное отличие флаксониума от rf-СКВИД-а не в физике, а в том, что индуктивность выполнена в виде цепочки джозефсоновских индуктивностей (переходов). Rf-СКВИД-ы в квантовом режиме, также как и потоковые кубиты с 3-мя и 4-мя переходами были реализованы задолго до флаксониума. Гамильтониан флаксониума ничем не отличается от гамильтониана rf-СКВИД-а (см. часть, относящуюся к rf-СКВИД-у в уравнении 1). Необходимо поставить ссылки на самые ключевые работы с потоковыми кубитами.

Текст автореферата написан в хорошем научном стиле, но есть ряд небольших стилистических неточностей, на которые было указано автору. В

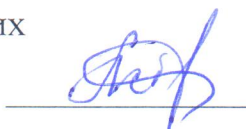
физических величинах неверно указывать энергии в гигагерцах: энергия – это частота помноженная на постоянную Планка.

Указанные замечания не влияют на общую положительную оценку работы в целом. Диссертантом И.Н. Москаленко представлена к защите качественно выполненная квалификационная работа «Квантовая электродинамика сверхпроводниковых структур на основе кубитов-флаксоуниумов», бесспорно удовлетворяющая требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней в Национальном исследовательском технологическом университете "МИСиС" по специальности 1.3.8 – «Физика конденсированного состояния». Ее автор Илья Николаевич Москаленко заслуживает присвоения степени кандидата физико-математических наук.

Руководитель Лаборатории «Искусственных квантовых систем», МФТИ,

Кандидат физико-математических

наук, профессор



Астафьев Олег Владимирович

25 ноября 2022 г.

Адрес: г. Долгопрудный, Институтский пер., 9, Московская область, 141700.

Телефон (мобильный): +7 (967) 234-77-63

Адрес электронной почты: astafev.ov@mipt.ru

Подпись Астафьева Олега Владимировича заверено

ПОДПИСЬ РУКИ
ЗАВЕРЯЮ:
АДМИНИСТРАТОР КАНЦЕЛЯРИИ
АДМИНИСТРАТИВНОГО ОТДЕЛА
О. А. КОРАБЛЕВА

