

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ

комплексного научно-технического проекта
в области технологий квантовой обработки информации по теме
«Оптические квантовые симуляторы»

1. Основание для реализации проекта

Соглашение о реализации комплексного научно-технического проекта в области технологий квантовой обработки информации, направленное на содействие реализации комплексного научно-технического проекта по созданию в Российской Федерации многокубитного (не менее пятидесяти кубит) оптического квантового симулятора на основе фотонных чипов и нейтральных атомов в интересах российской промышленности, включая производителей новых материалов и фармакологических препаратов от 15 февраля 2018 г.

2. Сроки реализации проекта

Начало – «__» сентябрь 2018 г. Окончание – «__» сентябрь 2021 г.

3. Цели и задачи проекта

3.1. Общая характеристика и оценка состояния вопросов, решаемых в проекте.

Развитие области квантового моделирования открывает новые возможности в сфере материаловедения. Моделирование структуры новых материалов требует точного численного решения квантово-механической задачи многих тел, однако эта задача очень ресурсоемка и вычислительно сложна для классических компьютеров. В то же время, развитие методов квантового моделирования может привести к созданию специализированных вычислителей, позволяющих эффективно решать многочастичные задачи квантовой механики. Ожидается, что получаемые с помощью таких вычислителей данные: значение полной энергии, структура энергетических уровней молекул и т.д. будут значительно превосходить по точности приближенные значения, используемые в настоящий момент, что существенно повысит качество предсказания свойств новых материалов и фармакологических препаратов.

3.2. Цели проекта

Данный проект направлен на создание демонстраторов квантовых вычислительных устройств на основе фотонных чипов и нейтральных атомов в оптических ловушках, а также на создание коллективной среды разработки квантовых алгоритмов, направленных на решение задач материаловедения.

3.3. Задачи проекта

3.3.1. Разработка демонстратора квантового вычислительного устройства на основе фотонов в интегральных линейно-оптических схемах.

3.3.2. Разработка демонстратора квантового вычислительного устройства на основе нейтральных атомов в оптических ловушках.

3.3.3. Разработка управляющей системы для квантовых вычислительных устройств, обеспечивающей универсальность и возможность реализации широкого класса вычислительных алгоритмов и алгоритмов квантовых симуляций.

3.3.4. Разработка системы он-лайн доступа и программирования квантовых вычислительных устройств на основе управляющей системы (п. 3.3.3 ТЗ).

3.3.5. Разработка методов решения прикладных задач материаловедения¹. на основе сопряжения квантовых и классических вычислительных устройств.

3.3.6. Разработка архитектуры квантовых вычислительных устройств для решения прикладных задач в области материаловедения.

4. Требования к реализации проекта

4.1. Планируемые результаты проекта

4.1.1. Демонстратор квантового вычислительного устройства на основе фотонов в интегральных линейно-оптических схемах:

4.1.1.1. квантовый регистр из не менее чем 50 кубитов;

4.1.1.2. точность выполнения однокубитных операций не менее 98%;

4.1.1.3. точность выполнения двухкубитных операций не менее 95%;

4.1.1.4. возможностью выполнения универсального набора квантовых операций;

4.1.1.5. возможность выполнения тестового набора квантовых алгоритмов².

4.1.2. Демонстратор квантового вычислительного устройства на основе нейтральных атомов в оптических ловушках:

4.1.2.1. квантовый регистр из не менее чем 50 кубитов;

4.1.2.2. точность выполнения однокубитных операций не менее 99%;

4.1.2.3. точность выполнения двухкубитных операций не менее 99%;

4.1.2.4. выполнение не менее 100 операций за время когерентности индивидуального кубита;

4.1.2.5. возможностью выполнения универсального набора квантовых операций;

4.1.2.6. возможность выполнения тестового набора квантовых алгоритмов³.

¹ Перечень прикладных задач согласуется с Заказчиками в ходе первого этапа проекта.

² Перечень алгоритмов согласуется с Заказчиками

4.1.3. Управляющая система для квантовых вычислительных устройств, обеспечивающей универсальность и возможность реализации широкого класса вычислительных алгоритмов и алгоритмов квантовых симуляций:

4.1.3.1. возможность программирования квантовых вычислительных устройств с помощью высокоуровневого языка описания квантовых алгоритмов;

4.1.3.2. возможность эмуляции квантовых вычислений на классических вычислительных устройствах;

4.1.3.3. возможность подключения к различным аппаратным платформам квантовых вычислительных устройств с помощью набора специализированных драйверов;

4.1.3.4. возможность решения прикладных задач в области материаловедения.

4.1.4. Систем он-лайн доступа и программирования квантовых вычислительных устройств на основе управляющей системы (п. 3.3.3 ТЗ):

4.3.4.1. возможность доступа и программирования системы эмуляции квантовых вычислений на классических вычислительных устройствах;

4.3.4.2. возможность доступа и программирования квантовых вычислительных устройств.

4.1.5. Методы решения прикладных задач материаловедения⁴ на основе сопряжения квантовых и классических вычислительных устройств:

4.1.5.1. вычислительные схемы, описывающих сопряжение квантовых и классических вычислительных устройств при решении прикладных задач в области материаловедения;

4.1.5.2. демонстрация совместного использования квантовых и классических алгоритмов при решении прикладных задач в области материаловедения.

4.1.6. Требования к архитектуре квантовых вычислительных устройств для решения прикладных задач в области материаловедения:

4.1.6.1. требования к архитектуре квантовых вычислительных устройств для решения прикладных задач согласно п 4.1.5 ТЗ;

4.1.6.2. требования к архитектуре квантовых вычислительных устройств для решения прикладных задач согласно п 4.1.5 ТЗ, с учетом неидеальности характеристик конкретных аппаратных платформ.

³ Перечень алгоритмов согласуется с Заказчиками

⁴ Перечень прикладных задач согласуется с Заказчиками в ходе первого этапа проекта.

4.2. Требования к исследованиям

4.2.1. В ходе выполнения проекта должны быть проведены патентные исследования на технический уровень предлагаемых в проекте решений в соответствии с ГОСТ Р 15.011-96, в том числе и мониторинг научной деятельности по данному направлению работ в наиболее передовых странах.

4.3. Составные части проекта

4.3.1. Разработка демонстратора квантового вычислительного устройства на основе фотонов в интегральных линейно-оптических схемах:

4.3.1.1. Разработка демонстратора адаптивной интегрально-оптической схемы, выполняющей заданные однокубитные и двухкубитные преобразования, изготовленной методом фемтосекундной лазерной печати.

4.3.1.2. Разработка демонстратора адаптивной интегрально-оптической схемы, выполняющей заданные однокубитные и двухкубитные преобразования с повышенной точностью, изготовленной на основе структур из нитрида кремния методом литографии.

4.3.1.3. Разработка источника N -фотонных состояний.

4.3.1.3.1. Разработка тестового источника N -фотонных состояний (N не менее 6) на основе эффекта спонтанного параметрического рассеяния.

4.3.1.3.2. Разработка однофотонного источника на основе полупроводниковых квантовых точек в микрорезонаторах.

4.3.1.3.3. Разработка схемы приготовления многофотонных состояний с помощью источника фотонов на базе полупроводниковых квантовых точек с использованием временного/пространственного мультиплексирования фотонных состояний.

4.3.1.3.4. Разработка источника N -фотонных состояний (N не менее 50).

4.3.1.4. Разработка детектора с разрешением по числу фотонов.

4.3.1.4.1. Разработка детектора с разрешением по числу фотонов (не менее 50 фотонов).

4.3.1.4.2. Разработка детектора с разрешением по числу фотонов с повышенной квантовой эффективностью.

4.3.1.5. Разработка демонстратора квантового вычислительного устройства на основе фотонов в интегральных линейно-оптических схемах с не менее чем 4 кубитами

и возможностью выполнения универсального набора квантовых логических операций.

4.3.1.6. Разработка демонстратора квантового вычислительного устройства на основе фотонов в интегральных линейно-оптических схемах с не менее чем 20 кубитами и возможностью выполнения универсального набора квантовых операций.

4.3.1.7. Разработка демонстратора квантового вычислительного устройства на основе фотонов в интегральных линейно-оптических схемах с не менее чем 50 кубитами и возможностью выполнения универсального набора квантовых операций.

4.3.2. Разработка демонстратора квантового вычислительного устройства на основе нейтральных атомов в оптических ловушках.

4.3.2.1. Демонстрация создания и управления квантовыми регистрами на основе одиночных атомов 87Rb .

4.3.2.2. Реализация атомных квантовых регистров на основе перестраиваемых двумерных массивов оптических ловушек.

4.3.2.3. Разработка атомных квантовых регистров на основе перестраиваемых двумерных массивов оптических ловушек размером до 20×20 со случайным заполнением и однородно заполненных массивов до 6×6 .

4.3.2.4. Разработка атомных квантовых регистров на основе перестраиваемых двумерных массивов оптических ловушек размером до 20×20 с однородным заполнением.

4.3.2.5. Реализация однокубитных операций с индивидуальной адресацией в атомном регистре.

4.3.2.6. Реализация двухкубитных квантовых операций в атомном регистре на основе резонансов Фёрстера, индуцированных радиочастотным полем.

4.3.2.7. Реализация трехчастичных квантовых операций в атомном регистре на основе трехчастичных резонансов Фёрстера.

4.3.2.8. Разработка стабилизированных узкополосных лазерных систем для реализации одно- и двухкубитных вентилей квантового вычислительного устройства на основе нейтральных атомов в оптических ловушках.

4.3.2.9. Разработка специализированной сверхвысоковакуумной камеры для квантового регистра из 50 кубитов на основе нейтральных атомов.

4.3.2.10. Разработка демонстратора квантового вычислительного устройства на основе нейтральных атомов в оптических ловушках с квантовым регистром из не менее 10 кубитов с возможностью выполнения универсального набора квантовых операций.

4.3.2.11. Разработка демонстратора квантового вычислительного устройства на основе нейтральных атомов в оптических ловушках с квантовым регистром из не менее 30 кубитов с возможностью выполнения универсального набора квантовых операций.

4.3.2.12. Разработка демонстратора квантового вычислительного устройства на основе нейтральных атомов в оптических ловушках с квантовым регистром из не менее 50 кубитов с возможностью выполнения универсального набора квантовых операций.

4.3.3. Разработка управляющей системы для квантовых вычислительных устройств, обеспечивающей универсальность и возможность реализации широкого класса вычислительных алгоритмов и алгоритмов квантовых симуляций.

4.3.3.1. Разработка системы программирования квантовых вычислительных устройств с помощью высокоуровневого языка описания квантовых алгоритмов.

4.3.3.2. Разработка системы эмуляции квантовых вычислений на классических вычислительных устройствах:

4.3.3.2.1. эмуляция выполнения квантовых алгоритмов без учета особенностей реализации на конкретных аппаратных платформах;

4.3.3.2.2. эмуляция выполнения квантовых алгоритмов с учетом характеристик конкретных аппаратных платформ: конечного времени когерентности, конечной точности одно- и двухкубитных операций, уровня шумов и т.д.

4.3.3.3. Разработка «драйверов» для подключения управляющей системы к различным квантовым вычислительным устройствам:

4.3.3.3.1. на основе фотонов в интегральных линейно-оптических схемах;

4.3.3.3.2. на основе нейтральных атомов в оптических ловушках;

4.3.3.3.3. на основе сверхпроводящих кубитов.

4.3.4. Разработка системы он-лайн доступа и программирования квантовых вычислительных устройств на основе управляющей системы п. 3.3.3 ТЗ.

4.3.4.1. Разработка системы он-лайн доступа и программирования системы эмуляции квантовых вычислений на классических вычислительных устройствах.

4.3.4.2. Разработка системы он-лайн доступа и программирования квантовых вычислительных устройств:

4.3.4.2.1. на основе фотонов в интегральных линейно-оптических схемах;

4.3.4.2.2. на основе нейтральных атомов в оптических ловушках;

4.3.4.2.3. на основе сверхпроводящих кубитов.

4.3.5. Разработка методов решения прикладных задач материаловедения⁵. на основе сопряжения квантовых и классических вычислительных устройств:

4.3.5.1. разработка вычислительных схем, описывающих сопряжение квантовых и классических вычислительных устройств при решении прикладных задач в области материаловедения;

4.3.5.2. адаптация квантовых алгоритмов и классических алгоритмов для совместной работы при решении прикладных задач в области материаловедения;

4.3.5.3. демонстрация совместного использования квантовых и классических алгоритмов при решении прикладных задач в области материаловедения;

4.3.5.4. оценка преимуществ при использовании квантовых алгоритмов.

4.3.6. Разработка требований к архитектуре квантовых вычислительных устройств для решения прикладных задач в области материаловедения.

4.3.6.1. Разработка требований к архитектуре квантовых вычислительных устройств для решения прикладных задач в области материаловедения согласно п. 4.1.5 ТЗ.;

4.3.6.2. Разработка требований к архитектуре квантовых вычислительных устройств для решения прикладных задач в области материаловедения согласно п. 4.1.5 ТЗ, с учетом характеристик конкретных аппаратных платформ: конечного времени когерентности, конечной точности одно- и двухкубитных операций, уровня шумов и т.д.

⁵Перечень прикладных задач согласуется с Заказчиками в ходе первого этапа проекта.