



ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ

«*Российская Академия Наук*»

ПРЕЗИДИУМ

ПОСТАНОВЛЕНИЕ

18 мая 2021 г.

Москва

№ 79

О состоянии и перспективах развития
квантовых технологий
в Российской Федерации

Во исполнение Указа Президента Российской Федерации В.В. Путина от 7 мая 2018 г. № 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года» по направлению «Экономический рост» в части национальных проектов «Наука» и «Цифровая экономика Российской Федерации», Указа Президента Российской Федерации от 25 декабря 2020 г. № 812 «О проведении в Российской Федерации Года науки и технологий», в соответствии с решениями Правительства Российской Федерации об утверждении «дорожных карт» «Квантовые вычисления» (от 31 июля 2020 г.) и «Квантовые коммуникации» (от 27 августа 2020 г.), а также по итогам заседания Совета по науке и образованию при Президенте Российской Федерации 8 февраля 2021 г. президиум РАН, заслушав и обсудив доклад академика-секретаря Отделения нанотехнологий и информационных технологий РАН академика РАН Красникова Г.Я. «Современное состояние и перспективы развития квантовых технологий в Российской Федерации» и выступления академиков РАН Пустовойта В.И. и Холево А.С., членов-корреспондентов РАН Колачевского Н.Н. и Никитова С.А., заместителя министра цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Паршина М.В., заместителя министра промышленности и торговли кандидата экономических наук Шпака В.В., директора по цифровизации Госкорпорации «Росатом»

кандидата физико-математических наук Солнцевой Е.Б., профессоров РАН, докторов физико-математических наук Калачёва А.А. (ФИЦ КазНЦ РАН) и Печеня А.Н. (МИАН), докторов физико-математических наук Гольцмана Г.Н. (МПГУ, НИТУ «МИСиС») и Кулика С.П. (Центр квантовых технологий Физического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова), доктора технических наук Донченко С.И. (ФГУП «ВНИИФТРИ»), кандидатов технических наук Глейма А.В. (ОАО «РЖД») и Родионова И.А. (МГТУ им. Н.Э. Баумана) и других участников дискуссии отмечает, что одной из стратегических задач, стоящих перед страной, является всемерное повышение уровня научного и технологического развития, определяющего конкурентоспособность национальной экономики и отечественных компаний и, в конечном счете, суверенитет страны.

К числу направлений, успехи в развитии которых будут определять мировое лидерство, относятся и квантовые технологии, использующие особенности квантовой механики для управления состояниями квантовых объектов и создания на этой основе принципиально новых технологий вычислений, передачи информации, сверхточных измерений и др. Исключительно высокую научную активность и большие ожидания экономики и общества отражает термин «вторая квантовая революция» применительно к современному состоянию квантовых технологий. При этом под первой квантовой революцией понимают совокупность научно-технологических открытий и достижений, связанных с открытием транзистора и лазера, на которых основаны современные информационные и цифровые технологии. Во всех ведущих в экономическом отношении странах приняты и активно действуют специальные государственные программы по исследованиям и продвижению квантовых технологий. Лидирующие в области информационных технологий мировые компании (Google, IBM, Microsoft, Honeywell и др.) также вкладывают значительные ресурсы прежде всего в развитие квантовых вычислений.

В настоящее время заявлено о достижении «квантового превосходства» при реализации алгоритмов определения случайных выборок на квантовом

процессоре Sycamore фирмы Google (США) на базе 53 сверхпроводящих кубитов (квантовых битов) и на фотонном квантовом вычислителе Jiuzhang Университета науки и технологий в г. Хэфэй (КНР). Данные алгоритмы пока не имеют практической ценности, но полученные результаты важны, поскольку впервые продемонстрирована возможность решения задач, неразрешимых на современных классических суперкомпьютерах. На 14-кубитном программируемом ионном квантовом компьютере реализован ряд известных практически важных квантовых алгоритмов – алгоритм факторизации Шора, алгоритм Дойча-Ежи, алгоритм Гровера, реализован алгоритм коррекции ошибок. Также получены решения на квантовом компьютере некоторых, пока относительно несложных задач квантовой химии. Корпорация Honeywell (США) создала ионный компьютер на чипе с рекордным на сегодня квантовым объемом - 64. В начале 2021 года компания IBM продемонстрировала 65-кубитный квантовый процессор Hummingbird на сверхпроводниковых кубитах и в настоящее время предлагает облачный доступ к своим квантовым устройствам на коммерческой основе.

Сложнейшей научно-технической проблемой, на решение которой в будущем должны быть направлены существенные усилия, является создание квантовых кодов коррекции ошибок. Впервые продемонстрирована реализация логического кубита с использованием 7 ионов. Компанией Google в 2021 году реализован квантовый алгоритм подавления ошибок и показано их уменьшение в 100 раз при увеличении числа кодирующих сверхпроводниковых кубитов с 5 до 21. Активно развивается направление квантовых симуляторов, в основе которого лежит экспериментальная реализация математических моделей квантовых систем.

В области квантовых коммуникаций построены защищенные наземные линии передачи информации на основе квантового распределения ключа с использованием доверенных узлов протяженностью 2000 км (Пекин–Шанхай, Китай), продемонстрирована передача квантового ключа через спутник между Китаем и Австрией (7 600 км), коммерчески доступны системы квантового

распределения ключа от таких производителей как IDQuantique, QuantumCTek, Qasky и Toshiba.

Использование квантовых технологий обеспечило реализацию погрешности измерения частоты и времени на уровне 10^{-18} (NIST, США; PTB, Германия), что уже используется в системах навигации и геопозиционирования. Созданы компактные гравиметры, магнитометры и гироскопы, которые также находят свое применение в задачах инерциальной навигации.

Все упомянутые результаты стали возможны благодаря комплексному использованию последних достижений в области атомной физики, квантовой оптики, физики конденсированного состояния, информатики и теории алгоритмов, физики и техники измерений, наук о материалах, технологий нанoeлектроники и фотоники.

В Российской Федерации предпринимаются значительные усилия для интенсификации работ в области квантовых технологий. Работы по квантовым технологиям широко представлены в тематических планах по государственному заданию институтов РАН (ФИАН, МИАН, ФТИ им. А.Ф. Иоффе, ИОФ РАН, ИПФ РАН, ИФП СО РАН, ИЛФ СО РАН, ИСАН, ИФТТ РАН, ИТФ РАН, ИПТМ РАН, ФИЦ КазНЦ РАН, ИРЭ им. В.А. Котельникова, ФТИАН им. К.А. Валиева, ИПХФ РАН и др.). Сформирован, утвержден и функционирует целый ряд крупных проектов и научно-технических программ. В том числе два центра НТИ: Центр квантовых технологий на базе МГУ имени М.В. Ломоносова и Центр квантовых коммуникаций на базе НИТУ «МИСиС», а также два лидирующих исследовательских центра: по квантовым коммуникациям на базе ИТМО (индустриальный партнер – ОАО «РЖД») и по квантовым вычислениям на базе ООО «Международный центр квантовой оптики и квантовых технологий» (индустриальный партнер – Госкорпорация «Росатом»).

Правительством Российской Федерации утверждены две Дорожные карты на период 2020–2024 гг. по развитию высокотехнологичных областей, связанных с квантовыми технологиями: Дорожная карта «Квантовые

вычисления» (ответственная за реализацию компания – Госкорпорация «Росатом»), охватывающая четыре основные платформы (сверхпроводниковую, ионную, на нейтральных атомах и фотонную) и исследовательские проекты в области твердотельных, магнетонных и поляритонных кубитов, а также Дорожная карта «Квантовые коммуникации» (ответственная за реализацию компания – ОАО «РЖД»). Дорожная карта «Квантовые сенсоры» (ответственная за реализацию компания – Госкорпорация «Ростех») находится в стадии рассмотрения. Реализация дорожных карт предполагает сокращение отставания работ по квантовым вычислениям в Российской Федерации по отношению к мировому уровню до 2–3 лет (на сегодняшний день это 7–10 лет) и создание глобальной инфраструктуры квантово-защищенной передачи данных на территории Российской Федерации. На сегодняшний день в Российской Федерации разработаны системы квантового распределения криптографических ключей, ведется работа по сертификации соответствующего оборудования, создаются линии квантовых коммуникаций через промежуточные доверенные узлы на расстояния до 1000 км. В области квантовых сенсоров и квантовой метрологии учеными Российской Федерации получен ряд оригинальных результатов, имеющих высокую степень готовности к практическому внедрению. Налажено производство однофотонных сверхпроводниковых детекторов с рекордными характеристиками. Российские сверхпроводниковые однофотонные детекторы удерживают значительную часть соответствующего глобального рынка. В области квантовых вычислений в период 2016–2020 гг. в рамках проектов Фонда перспективных исследований (ФПИ) получен ряд практически значимых результатов, разработаны первые экспериментальные реализации квантовых процессоров (до 2 кубитов) и симуляторов (от 5 до 24 кубитов) на основе сверхпроводниковой платформы.

Ожидается, что квантовые устройства, реализующие квантовые вычисления, смогут многократно превосходить классические компьютеры при решении задач криптоанализа, моделирования сложных систем, включая новые перспективные материалы, а также машинного обучения и

искусственного интеллекта. Однако вопрос о принципиальной возможности масштабирования полученных результатов и создания достаточно больших вычислительных устройств (универсальных квантовых компьютеров), сохраняющих глобальную когерентность, необходимую для реализации широкого класса квантовых алгоритмов, остается дискуссионным и открытым. В частности, требуется существенное развитие моделей шумов и случайных процессов, определяющих возможность практической реализации квантовых алгоритмов. Следует отметить, что индикаторы Дорожной карты «Квантовые вычисления» ориентированы преимущественно на формальные показатели, а не на функциональные свойства и характеристики разрабатываемых устройств. При этом сохраняется неопределенность в вопросе выбора оптимальных решений для реализации многокубитных квантовых вычислителей, требующая дальнейших фундаментальных исследований физики открытых квантовых систем и процессов декогеренции, а также технологии создания таких систем. Остается нерешенным вопрос создания квантовой памяти, имеющий принципиальную важность для построения протяженных линий квантовой коммуникации, требующих наличия квантовых повторителей, а также для реализации крупномасштабных квантовых вычислителей. При этом стратегическое значение приобретает развитие отечественных технологий создания материалов для носителей квантовой информации. Уже достигнутые результаты в области квантовых вычислений для узкого класса алгоритмов демонстрируют исключительную важность разработки новых математических алгоритмов, которые могли бы обеспечить возможность практического использования NISQ вычислителей (зашумленных квантовых вычислителей промежуточного уровня).

Учитывая высокую актуальность исследований по направлениям реализации дорожных карт, утвержденных до 2024 года, и по смежным направлениям квантовых технологий, уже сейчас требуется формирование научно-технической программы на период после 2024 года, которая обеспечит дальнейшее развитие сформированных заделов. Для формирования программы исследований на период 2025–2030 гг. требуется совместная

работа РАН, Минобрнауки России, Госкорпорации «Росатом», ОАО «РЖД», Госкорпорации «Ростех», Минпромторга России и других ведомств.

Президиум РАН ПОСТАНОВЛЯЕТ:

1. Принять к сведению представленную в докладе и выступлениях информацию о состоянии и перспективах развития квантовых технологий в Российской Федерации.

2. Считать необходимым максимально привлекать Научный совет РАН «Квантовые технологии» к экспертизе научно-технических проектов и отчетов в области квантовых технологий, в том числе дорожных карт, а также к формированию планов научно-исследовательских работ и проектов в данной предметной области. Представить соответствующее предложение руководству РАН для направления в установленном порядке в Правительство Российской Федерации и Администрацию Президента Российской Федерации (академик РАН Красников Г.Я.).

3. Научному совету РАН «Квантовые технологии» совместно с Минобрнауки России, Госкорпорацией «Росатом», ОАО «РЖД», Госкорпорацией «Ростех», Минпромторгом России и другими заинтересованными ведомствами приступить к формированию программы исследований в области квантовых технологий на период 2025–2030 гг.

4. Поручить Научному совету РАН «Квантовые технологии» (председатель – академик РАН Красников Г.Я.) до 15 октября 2021 г.:

4.1. разработать совместно с Минобрнауки России и другими заинтересованными ведомствами предложения по междисциплинарным фундаментальным исследованиям в области квантовых технологий для представления в Правительство Российской Федерации;

4.2. разработать совместно с Росстандартом и руководителем приоритетного технологического направления «Технология средств измерений» предложения по модернизации государственных эталонов и средств измерений на основе квантовых технологий;

4.3. подготовить совместно с Минпромторгом России, Минцифры России, Минобрнауки России предложения по доработке Дорожной карты

«Квантовые сенсоры» с учетом обсуждения полученных на Научном совете РАН «Квантовые технологии» по этому направлению результатов, а также предложения по всем направлениям развития квантовых технологий на период 2025–2030 гг., обратив особое внимание на необходимость осуществления комплексного подхода при реализации проектов от фундаментальных исследований до внедрения в производство;

4.4. сформировать список проектов, наиболее готовых к промышленному внедрению, на основе материалов заседаний Научного совета РАН «Квантовые технологии». Представить данный список в Минпромторг России для решения вопроса финансирования ОКР, в первую очередь связанных с разработкой отечественной элементной базы квантовых технологий;

4.5. совместно с Научным советом РАН по материалам и наноматериалам (председатель – академик РАН Алдошин С.М.) проанализировать состояние фундаментальных исследований в Российской Федерации в области разработки материалов для квантовых технологий и представить предложения руководству РАН.

5. Контроль за выполнением настоящего постановления возложить на вице-президента РАН академика РАН Козлова В.В.

Президент РАН
академик РАН А.М. Сергеев

И.о. главного ученого секретаря
президиума РАН
член-корреспондент РАН Д.А. Макоско

