«УТВЕРЖДАЮ»

Председатель Научного совета РАН «Квантовые технологии»,  
президент РАН,

академик РАН

Г.Я. Красников

« » 202   г.

**ПРОТОКОЛ  
заседания Научного совета РАН «Квантовые технологии»,   
по теме «Экспертное обсуждение отчета об итогах реализации   
дорожной карты развития высокотехнологичной области   
«Квантовые вычисления» в 2022 году»**

**ДАТА И МЕСТО ПРОВЕДЕНИЯ:** 21 июня 2023 г. с 10:00 до 14:44. г. Москва, Ленинский пр-т, 32А, здание РАН, корпус Г, 3 этаж, Синий зал.

**ФОРМАТ ПРОВЕДЕНИЯ:** смешанный – очный и дистанционный (онлайн в Zoom).

**ПРЕДСЕДАТЕЛЬСТВОВАЛ:**

Председатель Научного совета РАН «Квантовые технологии», президент РАН, академик РАН Г.Я. Красников.

# УЧАСТВОВАЛИ:

|  |  |
| --- | --- |
| Члены Бюро Совета | |
| 1. Красников Геннадий Яковлевич,  академик РАН | председатель Совета, президент РАН, руководитель приоритетного технологического направления по электронным технологиям (очно) |
| 1. Горбацевич Александр Алексеевич,  академик РАН | заместитель председателя Совета, заведующий лабораторией ФИАН, заведующий кафедрой квантовой физики и наноэлектроники НИУ МИЭТ, заведующий лабораторией АО «НИИМЭ» (очно) |
| 1. Холево Александр Семёнович,  академик РАН | заместитель председателя Совета, заведующий отделом, главный научный сотрудник МИАН (онлайн) |
| 1. Конов Виталий Иванович,  академик РАН | руководитель ЦЕНИ ИОФ РАН (очно) |
| 1. Латышев Александр Васильевич,  академик РАН | директор ИФП СО РАН (онлайн) |
| 1. Сурис Роберт Арнольдович,  академик РАН | главный научный сотрудник ФТИ им. А.Ф. Иоффе (онлайн) |
| 1. Волович Игорь Васильевич,  член-корреспондент РАН | заведующий отделом, главный научный сотрудник МИАН (онлайн) |
| 1. Колачевский Николай Николаевич,  член-корреспондент РАН | директор ФИАН (очно) |
| 1. Махлин Юрий Генрихович,  член-корреспондент РАН | главный научный сотрудник ИТФ им. Л.Д. Ландау РАН, заведующий лабораторией физики конденсированного состояния НИУ ВШЭ (онлайн) |
| 1. Кулик Сергей Павлович,  доктор физико-математических наук | научный руководитель Центра квантовых технологий физического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова (очно) |
| 1. Устинов Алексей Валентинович,  доктор физико-математических наук | руководитель группы РКЦ, заведующий лабораторией «Сверхпроводящие метаматериалы» НИТУ «МИСиС», профессор, директор Физического института Технологический институт Карлсруэ (Германия) (онлайн) |
| 1. Фельдман Эдуард Беньяминович,  доктор физико-математических наук | заведующий лабораторией спиновой динамики и спинового компьютинга ФИЦ ПХФ и МХ РАН (онлайн) |
| 1. Тельминов Олег Александрович,  кандидат технических наук | ученый секретарь Совета, начальник отдела перспективных исследований АО «НИИМЭ», доцент базовой кафедры микро- и наноэлектроники МФТИ (очно) |
| Члены Совета | |
| 1. Ивченко Еугениюс Левович,  академик РАН | заведующий сектором ФТИ им. А.Ф. Иоффе (онлайн) |
| 1. Двуреченский Анатолий Васильевич,  член-корреспондент РАН | заведующий лабораторией неравновесных полупроводниковых систем ИФП СО РАН, профессор кафедры «Физика полупроводников» Новосибирского государственного университета (онлайн) |
| 1. Калачёв Алексей Алексеевич,  член-корреспондент РАН | директор ФИЦ КазНЦ РАН (онлайн) |
| 1. Лукичев Владимир Федорович,  член-корреспондент РАН | директор ФТИАН им. К.А. Валиева РАН (онлайн) |
| 1. Турлапов Андрей Вадимович,  член-корреспондент РАН | заведующий лабораторией ультрахолодных квантовых систем ИПФ РАН, руководитель научной группы РКЦ (очно) |
| 1. Хохлов Дмитрий Ремович,  член-корреспондент РАН | заведующий кафедрой, руководитель лаборатории МГУ имени М.В. Ломоносова (онлайн) |
| 1. Печень Александр Николаевич,  профессор РАН, доктор физико-математических наук | заведующий отделом МИАН (очно) |
| 1. Абгарян Каринэ Карленовна,  доктор физико-математических наук | главный научный сотрудник, руководитель отдела ФИЦ ИУ РАН, профессор факультета вычислительной математики и кибернетики МГУ имени М.В. Ломоносова (очно) |
| 1. Андрияш Александр Викторович,  доктор физико-математических наук | научный руководитель ФГУП «ВНИИА» (онлайн) |
| 1. Астафьев Олег Владимирович,  доктор физико-математических наук | заведующий лабораторией искусственных квантовых систем МФТИ (очно) |
| 1. Звездин Анатолий Константинович,  доктор физико-математических наук | главный научный сотрудник ИОФ РАН (онлайн) |
| 1. Моисеев Сергей Андреевич,  доктор физико-математических наук | директор Казанского квантового центра («КАИ-КВАНТ») КНИТУ-КАИ, ООО «ККЦ» (онлайн) |
| 1. Погосов Вальтер Валентинович,  доктор физико-математических наук | начальник лаборатории микро- и наноструктур ФГУП «ВНИИА» (онлайн) |
| 1. Велихов Василий Евгеньевич,  кандидат физико-математических наук | директор-координатор объединенного вычислительного кластера НИЦ «Курчатовский институт» (очно) |
| 1. Глейм Артур Викторович,  кандидат технических наук | начальник Департамента квантовых коммуникаций ОАО «РЖД» (онлайн) |
| 1. Гуртовой Владимир Леонидович,  кандидат физико-математических наук | старший научный сотрудник ИПТМ РАН (онлайн) |
| 1. Юнусов Руслан Рауфович,  кандидат физико-математических наук | советник генерального директора Госкорпорации «Росатом» (очно) |
| От Министерства цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации | |
| 1. Паршин Максим Викторович | заместитель Министра цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации (онлайн) |
| 1. Попов Алексей Анатольевич | заместитель директора Департамента развития отрасли информационных технологий Минцифры России (онлайн) |
| 1. Трупяков Юрий Александрович | специалист Минцифры России (онлайн) |
| От Министерства экономического развития Российской Федерации | |
| 1. Адарченко Ирина Александровна | референт отдела инновационного развития Департамента стратегического развития и инноваций Минэкономразвития России (онлайн) |
| От Государственной корпорации по атомной энергии «Росатом», г. Москва | |
| 1. Солнцева Екатерина Борисовна,  кандидат физико-математических наук | директор по цифровизации Госкорпорации «Росатом» (очно) |
| 1. Папай Сергей Александрович | директор проекта «Развитие квантовых вычислений» Госкорпорации «Росатом» (очно) |
| От Общества с ограниченной ответственностью «Совместное предприятие «Квантовые технологии» (Госкорпорация «Росатом»), г. Москва | |
| 1. Вербенко Борис Владимирович | руководитель группы по образовательным проектам ООО «СП «Квант» (Госкорпорация «Росатом») (онлайн) |
| 1. Князькин Максим Михайлович | начальник отдела по мониторингу ДК «Квантовые вычисления» ООО «СП «Квант» (Госкорпорация «Росатом») (очно) |
| 1. Кольченко Михаил Алексеевич | начальник отдела ООО «СП «Квант» (Госкорпорация «Росатом») (онлайн) |
| 1. Кулагина Наталья Геннадьевна | генеральный директор ООО «СП «Квант» (Госкорпорация «Росатом») (очно) |
| 1. Локтионов Евгений Александрович | эксперт отдела ООО «СП «Квант» (Госкорпорация «Росатом») (очно) |
| 1. Малахова Виктория Сергеевна | руководитель направления ООО «СП «Квант» (Госкорпорация «Росатом») (очно) |
| 1. Морозов Александр Викторович | директор по технологическим и научным разработкам ООО «СП «Квант» (Госкорпорация «Росатом») (очно) |
| 1. Насибулин Михаил Михайлович | заместитель генерального директора по реализации дорожной карты ООО «СП «Квант» (Госкорпорация «Росатом») (очно) |
| 1. Пересадько Андрей Григорьевич,  кандидат технических наук | ведущий аналитик отдела исследований и аналитики ООО «СП «Квант» (Госкорпорация «Росатом») (онлайн) |
| 1. Рябинина Анна Юрьевна | исполнительный директор ООО «СП «Квант» (Госкорпорация «Росатом») (онлайн) |
| 1. Танкиев Магомед Ибрагимович | руководитель направления ООО «СП «Квант» (Госкорпорация «Росатом») (онлайн) |
| 1. Титов Александр Александрович | директор по экономике и финансам ООО «СП «Квант» (Госкорпорация «Росатом») (онлайн) |
| 1. Федукова Мария Ивановна | заместитель генерального директора по безопасности ООО «СП «Квант» (Госкорпорация «Росатом») (очно) |
| От ООО «МЦКТ» (Российский квантовый центр), г. Москва | |
| 1. Кавокин Алексей Витальевич,  доктор физико-математических наук | руководитель группы Квантовой Поляритоники РКЦ, руководитель лаборатории оптики спина СПбГУ (онлайн) |
| 1. Лахманский Кирилл Евгеньевич,  кандидат физико-математических наук | руководитель научной группы РКЦ (очно) |
| 1. Семериков Илья Александрович,  кандидат физико-математических наук | заместитель руководителя научной группы РКЦ (очно) |
| 1. Федоров Алексей Константинович,  кандидат физико-математических наук | руководитель проекта «Квантовые информационные технологии» РКЦ (очно) |
| От Проектного офиса по реализации программы «Цифровая экономика Российской Федерации» – аналитического центра при Правительстве Российской Федерации | |
| 1. Бакланов Антон Александрович | руководитель направления Проектного офиса по реализации программы «Цифровая экономика Российской Федерации» - аналитического центра при Правительстве Российской Федерации (онлайн) |
| 1. Ганеев Константин Альбертович | заместитель руководителя направления Проектного офиса по реализации программы «Цифровая экономика Российской Федерации» - аналитического центра при Правительстве Российской Федерации (онлайн) |
| От Фонда перспективных исследований, г. Москва | |
| 1. Заблоцкий Алексей Васильевич,  кандидат физико-математических наук | заместитель руководителя направления информационных исследований – руководитель Центра перспективной электроники Фонда перспективных исследований (очно) |
| 1. Ремнев Михаил Анатольевич,  кандидат физико-математических наук | руководитель проекта Центра перспективной электроники направления информационных исследований Фонда перспективных исследований (онлайн) |
| От Частного учреждения по цифровизации атомной отрасли «Цифрум» (Госкорпорация Росатом»), г. Москва | |
| 1. Гришанов Денис Александрович | руководитель проектного офиса развития квантовых технологий Частного учреждения «Цифрум» (Госкорпорация «Росатом») (очно) |
| 1. Яньшин Александр Викторович | директор по безопасности цифрового блока Частного учреждения «Цифрум» (Госкорпорация «Росатом») (очно) |
| От Аналитического центра при Правительстве РФ, г. Москва | |
| 1. Еремеев Артем Владимирович | руководитель проекта Департамента отраслевой аналитики (ЦСА) Аналитического центра при Правительстве РФ (очно) |
| От Открытого акционерного общества «Российские железные дороги», г. Москва | |
| 1. Смирнов Константин Владимирович,  доктор физико-математических наук | заместитель начальника Департамента квантовых коммуникаций ОАО «РЖД» (онлайн) |
| От Института физики микроструктур РАН — филиала Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики Российской академии наук», г. Нижний Новгород | |
| 1. Новиков Алексей Витальевич,  доктор физико-математических наук | директор ИФМ РАН – филиала ИПФ РАН (онлайн) |
| От Федерального государственного унитарного предприятия «Всероссийский научно-исследовательский институт физико-технических и радиотехнических измерений», г.о. Солнечногорск Московской обл. | |
| 1. Сутырин Денис Владимирович,  кандидат технических наук, PhD | начальник отдела ФГУП «ВНИИФТРИ» (онлайн) |
| От Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московский физико-технический институт (государственный университет)», г. Долгопрудный Московской обл. | |
| 1. Федоров Глеб Петрович,  кандидат физико-математических наук | старший научный сотрудник МФТИ, научный сотрудник РКЦ (очно) |
| От Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», г. Москва | |
| 1. Гордин Михаил Валерьевич,  кандидат технических наук | и.о. ректора МГТУ им. Н.Э. Баумана (очно) |
| 1. Родионов Илья Анатольевич,  кандидат технических наук | директор научно-образовательного центра «Функциональные Микро/Наносистемы» МГТУ им. Н.Э. Баумана, научный руководитель по направлению ФГУП «ВНИИА» (очно) |
| От Физического факультета Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», г. Москва | |
| 1. Крупенин Владимир Александрович,  доктор физико-математических наук | ведущий научный сотрудник лаборатории «Криоэлектроника» Физический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, ведущий научный сотрудник Центра квантовых технологий физического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова (онлайн) |
| 1. Шорохов Владислав Владимирович,  кандидат физико-математических наук | доцент кафедры физики полупроводников и криоэлектроники Физический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, ведущий научный сотрудник Центра квантовых технологий физического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова (онлайн) |
| От Центра квантовых технологий физического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, г. Москва | |
| 1. Страупе Станислав Сергеевич,  кандидат физико-математических наук | руководитель сектора квантовых вычислений Центра квантовых технологий физического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, руководитель научной группы РКЦ (очно) |
| От Акционерного общества «Научно-исследовательский институт молекулярной электроники», г. Москва, г. Зеленоград | |
| 1. Прилипко Константин Владимирович | начальник лаборатории АО «НИИМЭ» (очно) |
| От Акционерного общества «Швабе», г. Москва | |
| 1. Афанасов Дмитрий Сергеевич | руководитель аппарата приоритетного технологического направления по технологиям оптоэлектроники и фотоники АО «Швабе» (очно) |
| От Публичного акционерного общества «Сбербанк России», г. Москва | |
| 1. Ефимов Альберт Рувимович,  кандидат философских наук | вице-президент, директор Управления исследования и инноваций ПАО Сбербанк, заведующий кафедрой Инженерной кибернетики НИТУ «МИСиС» (очно) |
| 1. Кучкин Кирилл Владимирович | руководитель Управления исследований и инноваций ПАО Сбербанк (очно) |

# ПОВЕСТКА ДНЯ:

Академик РАН Красников Геннадий Яковлевич (Президиум РАН, АО «НИИМЭ»). Открытие заседания.

(1) очно к.ф.-м.н. Солнцева Екатерина Борисовна (Госкорпорация «Росатом»). О деятельности Госкорпорации «Росатом» в области развития квантовых вычислений.

(2) очно к.ф.-м.н. Юнусов Руслан Рауфович (Госкорпорация «Росатом»). Отчет об итогах реализации дорожной карты развития высокотехнологичной области «Квантовые вычисления» в 2022 году.

(3) очно д.ф.-м.н. Астафьев Олег Владимирович (РКЦ, МФТИ, Сколтех). О разработке квантовых вычислителей на основе сверхпроводников.

(4) очно к.ф.-м.н. Страупе Станислав Сергеевич (Центр квантовых технологий Физического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, РКЦ). О разработке квантовых вычислителей на нейтральных атомах.

(5) очно к.ф.-м.н. Страупе Станислав Сергеевич (Центр квантовых технологий Физического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, РКЦ). О разработке квантовых вычислителей на фотонных чипах.

(6) очно член-корр. РАН Колачевский Николай Николаевич (ФИАН) и к.ф.-м.н. Лахманский Кирилл Евгеньевич (РКЦ). О разработке квантового процессора на основе ионов в ловушках.

(7) очно к.ф.-м.н. Федоров Алексей Константинович (ФИАН, РКЦ). Разработка облачной платформы квантовых вычислений, квантовых алгоритмов и программного обеспечения.

(8) онлайн д.ф.-м.н. Кавокин Алексей Витальевич (РКЦ, СПбГУ). О разработке перспективных способов реализации кубитов на поляритонной платформе.

(9) онлайн д.ф.-м.н. Новиков Алексей Витальевич (ИФМ РАН – филиал ИПФ РАН). Разработка и реализация перспективных способов реализации кубитов на основе гетероструктур Si/SiGe.

(10) онлайн профессор РАН, д.ф.-м.н. Белотелов Владимир Игоревич (РКЦ, МГУ имени М.В. Ломоносова). Разработка и реализация перспективных способов реализации кубитов на основе магнонов.

(11) очно академик РАН Горбацевич Александр Алексеевич (ФИАН, НИУ МИЭТ, АО «НИИМЭ»). Экспертное мнение Совета об отчете о реализации дорожной карты развития высокотехнологичной области «Квантовые вычисления» в 2022 году.

Согласование проектов «Перечней дополнительных вопросов для научно-технической экспертизы экспертами РАН» для высокотехнологичных направлений «Квантовые вычисления» и «Квантовые коммуникации».

Выработка рекомендаций по консолидации отчета. Подведение итогов заседания.

(академик РАН Г.Я. Красников; академик РАН А.А. Горбацевич;   
академик РАН Р.А. Сурис; член-корр. РАН Н.Н. Колачевский;   
профессор РАН, д.ф.-м.н. В.И. Белотелов; профессор РАН, д.ф.-м.н. А.Н. Печень;   
д.ф.-м.н. О.В. Астафьев; д.ф.-м.н. А.В. Кавокин; д.ф.-м.н. С.П. Кулик;   
д.ф.-м.н. А.В. Новиков; к.филос.н. А.Р. Ефимов; к.ф.-м.н. А.В. Заблоцкий;   
к.ф.-м.н. К.Е. Лахманский; к.т.н. И.А. Родионов; к.ф.-м.н. И.А. Семериков;   
к.ф.-м.н. Е.Б. Солнцева; к.ф.-м.н. С.С. Страупе; к.ф.-м.н. А.К. Федоров;   
к.ф.-м.н. Р.Р. Юнусов; М.М. Князькин)

1. В совместном заседании приняли участие 30 из 54 членов Бюро и членов Научного совета РАН «Квантовые технологии», а также 43 приглашенных ученых и специалистов – всего 73 человека из 45 организаций и их подразделений. В обсуждении повестки дня участвовало 19 человек.
2. Во вступительном слове при открытии заседания Председатель Совета, академик РАН Г.Я. Красников сообщил о двух задачах заседания. Во-первых, проведение экспертной оценки подготовленного Госкорпорацией «Росатом»   
   (ООО «СП «Квант») отчета о результатах реализации дорожной карты развития высокотехнологичной области «Квантовые вычисления» (далее – Дорожная карта) в 2022 году (далее – Отчет) во исполнение пункта 3 раздела I протокола президиума Правительственной комиссии по цифровому развитию, использованию информационных технологий для улучшения качества жизни и условий ведения предпринимательской деятельности от 07.07.2022 № 25. Отчет, состоящий из 14 отчетов о выполнении мероприятий Дорожной карты в 2022 году, а также отчета   
   о выполнении целевых показателей и индикаторов Дорожной карты в 2022 году, предварительно направлен всем членам Совета для подготовки экспертной оценки.

Во-вторых, обсуждение предложений по доработке структуры «Формы заключения Экспертного совета РАН», «Перечня общих вопросов для научно-технической экспертизы экспертами РАН», а также разработке проектов «Перечней дополнительных вопросов для научно-технической экспертизы экспертами РАН» для высокотехнологичных направлений «Квантовые вычисления» и «Квантовые коммуникации» в соответствии с пунктом 7 Протокола от 30.03.2023 № 1 заседания президиума Правительственной комиссии по модернизации экономики и инновационному развитию России, постановлением президиума РАН от 16.05.2023 № 104 «Об организации и порядке проведения Российской академией наук независимой научно-технической экспертизы результатов реализации соглашений   
о развитии высокотехнологических направлений» и письмом президиума РАН   
от 29.05.2023 № 2-10109-2172/652 в адрес председателя Совета.

1. К.ф.-м.н. Солнцева Екатерина Борисовна (Госкорпорация «Росатом») выразила благодарность Российской академии наук и её экспертам за активную помощь   
   и участие при рассмотрении материалов Дорожной карты, экспертизе текущих вопросов, а также оказанной поддержке при подготовке обновленного раздела по квантовым вычислениям в рамках Белой книги (аналитический доклад о развитии высокотехнологичных направлений).

Отчет о реализации федерального проекта «Цифровые технологии» (национальной программы «Цифровая экономика Российской Федерации») за 2022 год, в рамках которого реализуется Дорожная карта, утвержден решением заседания президиума Правительственной комиссии по цифровому развитию, использованию информационных технологий для улучшения качества жизни и условий ведения предпринимательской деятельности (протокол от 22.02.2023 № 8). Результаты выполнения мероприятия по квантовым вычислениям в 2022 году (как составной части федерального проекта «Цифровые технологии») одобрены.

Госкорпорация «Росатом» с 2020 года за счет собственных средств обеспечивает   
в полном объеме софинансирование в рамках Дорожной карты. В 2022 году, несмотря на секвестр бюджетных средств в размере 10%, Госкорпорация «Росатом» выполнила свои обязательства по софинансированию в полном объеме   
(без сокращения).

При выполнении задач, направленных на реализацию Дорожной карты, оказывается активная поддержка со стороны структурных подразделений Госкорпорации «Росатом» и предприятий атомной отрасли – в т.ч. в части покрытия потребностей в высокотехнологичном оборудовании, комплектующих, материалах.

В более активную стадию переводится работа по поиску и формированию совместно с предприятиями атомной отрасли перечня прикладных задач, которые необходимо решать с использованием квантовых технологий, квантовых алгоритмов.

Ведется разработка проекта Дорожной карты на период 2025-2030 гг. с учетом замечаний, полученных в декабре 2022 года в РАН в рамках рассмотрения концепции развития квантовых вычислений.

Во взаимодействии с Минцифры России, Минфином России и Правительством Российской Федерации ведется работа по вопросу определения источников   
и выделения бюджетного финансирования Дорожной карты на период   
2025-2030 гг. Госкорпорацией «Росатом» на уровне Правительства Российской Федерации обозначена готовность обеспечить софинансирование реализации Дорожной карты до 2030 года в объеме равном объему выделенных бюджетных средств.

Вопросы по докладу отсутствуют.

1. К.ф.-м.н. Юнусов Руслан Рауфович (Госкорпорация «Росатом») доложил   
   об итогах реализации Дорожной карты в 2022 году.

1.1. Научные результаты:

1.1.1. В целях выполнения комплекса НИОКР в рамках Дорожной карты сформирован уникальный квантовый научный коллектив, включающий более 300 высококвалифицированных специалистов и ученых.

1.1.2. В рамках реализации Дорожной карты в 2022 году ООО «СП «Квант» зарегистрировано 2 патента на изобретение «Двухэлектродный быстроперестраиваемый по потоку сверхпроводниковый кубит на основе кинетической индуктивности» (№ 2780666) и полезную модель «Источник атомов   
с возможностью охлаждения» (№ 213827).

1.1.3. На базе лаборатории в МГУ им. М.В. Ломоносова создан экспериментальный образец 16-кубитного квантового компьютера на нейтральных атомах, продемонстрировано заполнение массива ловушек 38 атомами, одновременно находящимися в квантовом регистре, выполнены однокубитные   
и двухкубитные квантовые операции.

Достигнутое в рамках проведенного эксперимента значение в 16 кубитов   
в экспериментальном образце квантового компьютера на нейтральных атомах соответствует значению результата и показателя, установленных в 2022 году   
в федеральном проекте «Цифровые технологии» национальной программы «Цифровая экономика Российской Федерации».

1.1.4. На базе лаборатории Физического института имени П.Н. Лебедева РАН   
и Российского квантового центра (далее – РКЦ) проведен эксперимент   
по демонстрации работы 16-кубитного квантового процессора на основе ионов   
в ловушках и выполнению двухкубитных операций с использованием кудитных состояний.

1.1.5. На базе лаборатории в МГУ им. М.В. Ломоносова создан экспериментальный образец 4-кубитного квантового компьютера на основе фотонных чипов, выполнены однокубитные и двухкубитные операции.

1.1.6. В рамках развития систем облачного доступа к квантовым компьютерам,   
а также разработки прикладного и системного программного обеспечения   
для квантовых вычислений в соответствии с Дорожной картой в 2021-2022 гг.:

разработаны 4 модуля облачной платформы (в 2021 году – 3: модуль подавления и коррекции ошибок, модуль квантовых алгоритмов, модуль интерфейсов доступа квантовым эмуляторам, в 2022 году – 1 модуль компиляции и оптимизации);

реализовано и разработано 13 квантовых алгоритмов (в 2021 году – 5: алгоритм Дойча-Йожи классификации сбалансированных и константных функций, алгоритм Саймона определения периоды булевой функции по отношению к операции «исключающее ИЛИ», алгоритм обменного теста сравнения квантовых состояний, алгоритм из семейства алгоритмов квантовой приближенной оптимизации, алгоритм симуляции протокола квантового распределения ключей,   
в 2022 году – 8: алгоритм оценки фазы собственного числа унитарного оператора, алгоритм нахождения периода целочисленной функции, алгоритм Шора   
для факторизации составных чисел, алгоритм Шора для дискретного логарифмирования, алгоритм квантового вариационного поиска собственных значений, алгоритм поиска основного состояния молекулы, алгоритм вариационного поиска собственных значений на основе методов оптимизации   
на многообразиях, алгоритм вариационного расчета динамики квантовых систем   
на основе методов оптимизации на многообразиях);

проведено более 3 500 экспериментов на облачной платформе путем запуска тестового алгоритма.

2.1. Экосистемные результаты.

2.1.1. В целях укрепления в России научно-технологической экосистемы квантовых вычислений, включая развитие кадрового потенциала, создания образовательных программ, формирования профессиональных сообществ, взаимодействия с технологическими и финансовыми партнерами, в рамках Дорожной карты в 2022 году реализованы следующие ключевые мероприятия (достигнуты результаты):

обеспечен широкий охват в сфере общего образования – свыше 50 тыс. человек в 22 мероприятиях, в т.ч. открытые уроки в регионах страны в рамках всероссийского образовательного проекта «Урок цифры», лекции ученых   
во Всероссийских детских центрах «Смена» и «Орленок», МДЦ «Артек»,   
ОАНО «Школа «Летово», образовательном центре «Тьюториан», стажировка   
и экскурсии в лаборатории для школьников в РКЦ, телеграм-канал «КванТинс»   
для школьников и студентов, старт онлайн-школы «КванТинс»;

реализован крупный всероссийский проект «Урок цифры» по теме «Квантовый мир: как устроен квантовый компьютер», охвативший аудиторию порядка 2 млн человек (школьники и педагоги). С приветственным словом к аудитории обратился Председатель Правительства Российской Федерации Мишустин М.В.;

в России более 20 вузов и научных организаций осуществляют подготовку специалистов по образовательным программам бакалавриата, магистратуры   
и аспирантуры по направлению квантовых технологий в части квантовых вычислений;

разработана совместная образовательная программа бакалавриата «Квантовый инжиниринг» с НИЯУ МИФИ, РКЦ и МИАН;

в России подготовлено свыше 200 магистров-выпускников образовательных программ по направлению квантовых технологий в части квантовых вычислений;

впервые по компетенции «Квантовые технологии» проведены соревнования   
в рамках AtomSkills-2022 с участием 13 команд из 11 университетов;

проведены мероприятия для выявления индивидуальных и/или командных компетенций и формированию направлений развития в области квантовых вычислений в рамках чемпионатов DigitalSkills и Хайтек;

по программе ДПО «Квантовая физика и квантовые технологии в содержании и методике преподавания физики в основном и среднем общем образовании»   
в МГПУ повысили квалификацию 131 учитель;

поведено 35 внутрироссийских и международных мероприятий   
по формированию и развитию профессиональных сообществ с квантовой повесткой, в т.ч. на площадках ПМЭФ, Форум EXPO 2020 Dubai, Startup Village 2022,   
IX Московский международный салон образования, ЦИПР-2022, FINOPOLIS 2022, II Конгресс молодых ученых 2022, ATOMEXPO 2022;

сформировано международное сотрудничество по развитию технологий квантовых вычислений с Индией (заключено международное соглашение   
о сотрудничестве – Меморандум о взаимопонимании между ООО «СП «Квант»,   
ООО «МЦКТ» и Рамановским научно-исследовательским институтом);

в рамках соглашения между ООО «СП «Квант» и ПАО Сбербанк завершен первый консалтинговый проект «Разработка рекомендаций по оценке влияния квантовых технологий на бизнес финансовых и экосистемных компаний»;

проведено обсуждение с 30 российскими компаниями – как будущими пользователями квантовых вычислений;

с 4 потенциальными заказчиками заключены соглашения для формирования центров компетенций;

с 2 организациями заключены соглашения, направленные на обеспечение доступа к созданной (приобретенной) в рамках реализации Дорожной карты инфраструктуре для выполнения инновационных, научно-исследовательских, опытно-конструкторских и производственных проектов, не включенных   
в Дорожную карту.

2.1.2. Проводится работа по расширению созданного в 2020 году в целях реализации мероприятий Дорожной карты консорциума «Национальная квантовая лаборатория» (далее – Консорциум НКЛ), в т.ч.:

с 4 вузами подписаны соглашения о присоединении к Консорциуму НКЛ, одобрены заявки о присоединении к Консорциуму НКЛ еще 4 вузов.

3.1. Инфраструктурные результаты.

3.1.1. В целях формирования необходимой материально-технической базы   
и инфраструктуры квантовых лабораторий, где научные группы реализуют проекты по разработке многокубитных квантовых вычислителей в рамках Дорожной карты:

пересобраны цепочки поставок оборудования в лаборатории для реализации НИОКР, найдены альтернативные поставщики оборудования и аналоги продукции;

укомплектовываются новейшим высокотехнологичным оборудованием   
лаборатории, проведены закупки лабораторного и производственного оборудования и комплектующих в количестве 898 единиц;

в инженерно-технологическом комплексе и «чистой зоне» по производству микроэлектроники ООО «СП «Квант» (центр нанофабрикаций) изготовлены тестовые пластины для фотонного направления, которые использовались для оценки параметров диэлектрических пленок; проведены пуско-наладочные работы оборудования (флип-чип, автоматическая установка ультразвуковой сварки, автоматическая зондовая станция); запущена и реализуется НИОКР по разработке быстрой одноквантовой логики (RSFQ) для криогенной части сверхпроводниковых устройств на основе джозефсоновских переходов;

организуется комплекс строительно-монтажных работ по расширению центра нанофабрикаций для расширения существующих технологических процессов, в т.ч. для возможности развития полупроводникового производства в интересах квантовых и иных смежных технологий.

3.1.2. Проводится работа по импортозамещению высокотехнологичного оборудования для квантовых вычислений:

научной группой РКЦ совместно с российской компанией разработан, произведен и введен в эксплуатацию уникальный титан-сапфировый лазер на длине волны 729 Нм, необходимый для разработки квантового процессора на ионах;

совместно с российскими компаниями прорабатывается возможность производства одночастотных диодных лазеров, высокомощных одномодовых одночастотных лазеров накачки, непрерывных лазеров.

4.1. Общее выполнение Дорожной карты.

4.1.1. В результате реализации Дорожной карты в 2022 году выполнено   
14 из 14 предусмотренных мероприятий, 37 из 39 целевых показателей   
и индикаторов (не выполнены показатели по сверхпроводниковым кубитам).

4.1.2. В соответствии с пунктом 4 раздела V протокола заседания президиума Правительственной комиссии по цифровому развитию, использованию информационных технологий для улучшения качества жизни и условий ведения предпринимательской деятельности от 20.07.2021 № 24 в качестве отчетного показателя о выполнении целевых показателей Дорожной карты по итогам каждого календарного года используется «Интегральный показатель, отражающий уровень реализации Дорожной карты».

По результатам реализации Дорожной карты в 2022 году Интегральный показатель, отражающий уровень реализации Дорожной карты (индикатор № 35   
в форме 2.1. «Показатели и индикаторы развития высокотехнологичного направления «Квантовые вычисления»» Дорожной карты), характеризующий совокупный индекс достижения целевых показателей и индикаторов Дорожной карты, составляет 112% (недовыполнение показателей (индикаторов)   
по сверхпроводникам в группе «Создание прототипов квантовых процессоров…», перевыполнение показателей (индикаторов) по группам «Создание информационной (облачной) платформы…» и «Формирование научно-технологической экосистемы…»).

4.1.3. В целях выполнения НИОКР в рамках Дорожной карты, формирования лабораторной инфраструктуры, а также финансирования текущих расходов Госкорпорацией «Росатом» в 2022 году выделено внебюджетное финансирование в объеме 3 147,8 млн рублей собственных средств (100% от установленного Дорожной картой в 2022 году показателя внебюджетного финансирования).

Кассовое исполнение бюджетной субсидии в 2022 году составило   
2 427,0 млн рублей (100% от установленного Дорожной картой в 2022 году показателя бюджетного финансирования).

4.1.4. В целях эффективной реализации квантового проекта в 2022 году проведена актуализация Дорожной карты:

Дорожная карта (редакция 3) инициирована в IV квартале 2021 г.   
и утверждена разделом I протокола заседания президиума Правительственной комиссии по цифровому развитию, использованию информационных технологий для улучшения качества жизни и условий ведения предпринимательской деятельности (далее – Комиссия) от 19.01.2022 № 1;

Дорожная карта (редакция 4) утверждена пунктом 1 раздела I протокола заочного голосования членов президиума Комиссии от 25.05.2022 № 19;

Дорожная карта (редакция 5) утверждена пунктом 1 раздела III протокола заочного голосования членов президиума Комиссии от 09.11.2022 № 48.

Работа по актуализации Дорожной карты (редакция 5) проведена   
в соответствии с подпунктом «н» пункта 1 перечня поручений Президента Российской Федерации от 01.09.2022 № Пр-1553 об актуализации ключевых показателей и «дорожных карт» реализации соглашений с учетом необходимости достижения национального технологического суверенитета и технологического лидерства в среднесрочной перспективе. Дорожная карта продлена до 2030 года.

4.1.5. Подписано новое соглашение между Госкорпорацией «Росатом»   
и Правительством Российской Федерации о развитии квантовых вычислений   
от 29.12.2022, предусматривающее «открытый формат» участия в реализации Дорожной карты.

4.1.6. На заседании Научного совета РАН «Квантовые технологии» в 2022 году рассмотрена концепция развития высокотехнологичной области и Дорожной карты на период 2025-2030 гг.

Докладчик ответил на вопросы: Просьба уточнить количество сверпроводниковых кубитов: 1 – указанно в отчетных материалах или 8 – указано в докладе (презентации)? Насколько справедливо применение интегрального показателя при увеличении весовых коэффициентов? С чем связаны более высокие успехи в работах с ионной платформой по отношению к сверхпроводниковой и фотонной при условии упомянутых проблем с оборудованием? Какие полезные приложения для квантовых компьютеров были найдены?

1. Д.ф.-м.н. Астафьев Олег Владимирович (РКЦ, МФТИ, Сколтех) сообщил, что сверхпроводниковые квантовые технологии чрезвычайно перспективны для разработки квантовых процессоров благодаря возможности интеграции на чипе сверхпроводниковых кубитов и элементов цепи. Разработка сверхпроводниковых процессоров включает в себя несколько этапов: квантово-механические расчеты элементов цепей, расчет электромагнитных полей и токов чипов, дизайн и изготовление чипов с помощью современных нанотехнологических методов, разработка СВЧ цепей и специализированных держателей для низкотемпературных измерений сверхпроводниковых интегральных схем, программирование специализированной электроники и управление квантовыми процессорами. Всё это требует высокого уровня компетенции во многих областях: квантовой механике, программировании, низких температур, СВЧ инженерии, нанотехнологии, и т.д. МФТИ имеет необходимое оборудование для изготовления сверхпроводниковых интегральных квантовых схем. МФТИ совместно с НИТУ МИСИС успешно продвигаются в направлении наращивания интеграции квантовых процессоров.

Представлены результаты выполнения работ по сверхпроводниковой платформе квантовых вычислений в 2022 году. К настоящему моменту разработаны, изготовлены и продемонстрирована работа 5-ти и 8-ми кубитных симуляторов,   
4-х и 8-ми кубитных универсальных квантовых процессоров (чипы изготовлены   
в Центре коллективного пользования МФТИ). Продемонстрированы одиночные кубиты с временами релаксации до 280 мкс, двухкубитный вентиль с рекордной эффективностью в 99,98 %. Показана работа квантовых процессоров в режиме симуляторов, которые успешно решают задачи машинного обучения: задачи классификации и распознавания рукописных цифр. В настоящее время идет разработка 12-ти кубитного квантового процессора. Для успешного наращивания интеграции квантовых процессоров необходимо серьёзное дооснащение работающих лабораторий.

Докладчик ответил на вопросы: Почему в докладе упомянут 2020 год начала проекта «Лиман», хотя на самом деле он начат с 2016 года и всё финансирование направлено на МФТИ; почему в докладе упомянуты результаты организаций, отличных от МФТИ; почему не представлены времена когерентности – были ли они измерены; какой процессор определяется как результат; имеется ли хотя бы один полностью охарактеризованный процессор; почему в докладе не приведены времена релаксации, когерентность, фиделити однокубитных, двухкубитных операций; каков итог – симулятор или процессор, каковы соответствующие результаты? Каков разброс параметров и перспектива его уменьшения; какую цепочку кубитов можно организовать в одном кристалле для их совместной работы; каковы оценки требований на допустимый разброс параметров; каковы перспективы технологической реализации такого разброса? Относится ли указанное на слайде значение фиделити 99,6 % к двухкубитной операции; если да, выполняется   
ли операция SWAP?

1. К.ф.-м.н. Страупе Станислав Сергеевич (Центр квантовых технологий Физического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, РКЦ) доложил результаты работ   
   в 2022 году по созданию прототипов атомного квантового вычислителя. Описана текущая версия прототипа на одиночных атомах рубидия в оптических микроловушках, приведены экспериментальные данные, подтверждающие достижение заявленных в техническом задании параметров. Обсудили два реализованных способа управления состоянием сверхтонкого кубита – с помощью радиочастотного возбуждения и оптического рамановского возбуждения, приведено их сравнение. Обсудили экспериментальное наблюдение ридберговской блокады возбуждения одиночных атомов в соседних оптических ловушках и реализацию двухкубитного запутывающего вентиля на основе этого эффекта. Детально остановились на методах оценки точности логических вентилей, на примере однокубитных преобразований продемонстрировали результаты полной томографии квантового процесса, а также результаты оценки по методу рандомизированного бенчмаркинга, позволяющего избавиться от доминирующей ошибки приготовления и измерения состояния. Обсудили планы работ на 2023 год, в частности перспективы увеличения точности двухкубитных операций.
2. К.ф.-м.н. Страупе Станислав Сергеевич (Центр квантовых технологий Физического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, РКЦ) доложил результаты работ в 2022 году по созданию прототипов оптического квантового вычислителя. Представлены результаты по созданию и подтверждению заявленных характеристик прототипа линейно-оптического квантового вычислителя. Отдельно рассмотрен источник многофотонных состояний на основе квантовой точки в микрорезонаторе и системы демультиплексирования и оптические интегральные интерферометры, изготовленные для проекта методом фемтосекундной лазерной печати. Продемонстрирована реализация вероятностных одно- и двухкубитных операций с помощью программируемых интерферометров, представлены результаты оценки их точности. Также представлены результаты выполнения вариационных квантовых алгоритмов на разработанном прототипе и реализация метода подавления ошибок для увеличения точности получаемых результатов. Продемонстрированы результаты работ по созданию многоканальных интерферометров и предварительные результаты по бозонному сэмплингу в этих устройствах, обсудили дальнейшие пути для увеличения размерности доступного пространства состояний. Рассмотрены важные результаты на пути к полностью интегральному прототипу фотонного вычислителя – создание макета с интеграцией сверхпроводящих однофотонных детекторов на чип и работы по генерации запутанных многофотонных состояний с помощью заряженных квантовых точек.

Докладчик ответил на вопросы по обоим докладам: в работе используется комплекс, сданный по работе «Прибой», изначально захватывающий   
38 нейтральных атомов, почему в докладе указано 16; почему в заключении   
о получении 4 кубит приведена двухкубитная схема, а не четырехкубитная? Имеется ли в Вашей работе направление к получению именно универсального компьютера   
(а не симулятора)? Имеется ли характеризация упомянутых 16 подряд расположенных атомов; какие попарные одно- и двухкубитные операции на них можно продемонстрировать; можно ли называть Ваши устройства 16-кубитными, если тестирование пока не проводилось; как можно оценить дальнейшее масштабирование Ваших устройств; как Вы оцениваете результаты по однофотонным детекторам с учетом, если они ниже показанных Вашей группой несколько лет ранее? Что понимается под точностью двухкубитных операций   
в массиве из нескольких кубит; каков лучший результат на конкретной паре?

1. Член-корр. РАН Колачевский Николай Николаевич (ФИАН) сообщил, что в 2022 году группой под его руководством был изготовлен и испытан макет квантового компьютера ионного первого поколения. Согласно плану работ, макет должен демонстрировать удержание не менее 4 ионов в ловушке, темпы нагрева ионов в ловушке не должны превосходить 100 фононов в секунду, секулярная частота в радиальном направлении должна быть не меньше 3 МГц. Также макет должен обеспечивать возможность проведения однокубитных, и двухкубитных операций. Кроме того, макет должен обеспечивать возможность перепутывания 5 ионов.

По результатам испытаний в ловушку было поймано более 150 ионов, секулярная частота в радиальном направлении составила 4,4 МГц, темпы нагрева – 20 фононов в секунду, также были проведены однокубитные и двухкубитные операции и измерена их достоверность. Достоверность однокубитных операций была измерена методом randomized benchmarking и составила 99,2 % при двух ионах в ловушке. Достоверность нелокальной двухкубитной операции была измерена методом измерения динамики состояний ионов при проведении двухкубитной операции, а также наблюдением за амплитудой осцилляций четности состояния пары ионов после проведения двухкубитной операции и анализирующего импульса в зависимости от фазы анализирующего импульса. Эта техника нашла свое применение, например, в работах ведущей европейской группы под руководством   
Р. Блатта. Измеренная достоверность составила 86 % на массиве из 8 ионов.

Отдельно отмечено, что измеренное значение является нижней границей достоверности в силу того, что оно не разделяет ошибку, полученную в результате проведения двухкубитной операции и в результате подготовки и считывания состояний ионов. Кроме того, продемонстрированно алгоритмическое перепутывание состояний 5 ионов с использованием 4-х двухкубитных операций – 5 кубитное GHZ состояние. Достоверность такого состояния оценивается аналогично достоверности двухкубитной операции и составило 52 %. Эта цифра также является нижней оценкой на достоверность.

Помимо экспериментов по демонстрации нелокальной двухкубитной операции на массиве из 8 ионов продемонстрирована индивидуальная адресация и считывание 8 ионов, а в одном из ионов возбуждение и считывание 4-х состояний. Таким образом, согласно определению, данному для Дорожной карты, продемонстрирован 16 кубитный ионный квантовый процессор.

Тот факт, что в 2023 году все характеристики ионного квантового компьютера были улучшены (в частности, достоверность двухкубитной операции увеличена   
до 95 % на массиве из 2-х ионов, достоверность однокубитных операций увеличена до 99,4 %, время когерентности увеличено с 4,3 мс до 15 мс) свидетельствуют как   
о воспроизводимости результатов, так и о прогрессе группы. А проведение многокубитных алгоритмов (Берштейна-Вазирани, Гровера) и методическое улучшение их достоверности свидетельствует о большом потенциале созданной системы для проведения научных исследований. Начало работ по планарным ловушкам также позволяет рассчитывать на потенциал к масштабированию ионных квантовых вычислений в России.

Также отмечена высокая степень локализации производства ключевых узлов квантовых компьютеров: производство ионных ловушек, вакуумных камер, ультрастабильных лазерных системы для манипуляции кубитными состояниями   
в России, подготовки кадров – в 2022 году защищены 2 кандидатские диссертации, устойчивость платформы к санкциям – фактически все компоненты ионного квантового компьютера производятся либо в России, либо в Китае.

Докладчик ответил на вопросы: для квантово-химических расчетов требуется   
6 кубитов для BeH2O, 10 кубитов для CH2 или H2O; проводили ли Вы исследования в этой области или имеются технические ограничения? Релевантны ли для   
Вас работы МГУ по вычислениям H2 на 2 кубитах, а также подобные работы МФТИ и ИСАН? Что Вас ограничивает в получении двух девяток после запятой   
в достоверности операций (fidelity); имеются ли оценки по точности для Ваших одно- и двухкубитных операций на одиночных ионах; какое значение точности двухкубитных операций между двумя ионами получено для кудитных операций; какой результат у Вас получается при последовательном выполнении кудитной, двухкубитной и кудитной операций; был ли реализован какой-либо алгоритм для вычислениях на 16 кубитах?

1. К.ф.-м.н. Лахманский Кирилл Евгеньевич (РКЦ) сообщил, что ионы в ловушках Пауля представляют собой одну из лидирующих платформ в сфере квантовых вычислений. Основными преимуществами кубитов на ионах являются: идентичность кубитов, их максимальная связность («все со всеми», т.е. возможность проводить запутывающие операции между двумя произвольными кубитами), максимальные точности однокубитных операций и запутывающих операций, стабильность во времени и относительная простота управления.

Группа была основана в 2020 году с целью построить первую в России лабораторию по квантовым вычислениям на ионах кальция. Исследования ведутся по нескольким направлениям: построение квантовых компьютеров на основе конвенциональной 3D ловушки Пауля и на основе поверхностной ионной ловушки, изучение шумов в системе, адаптация квантовых алгоритмов под особенности ионной платформы, исследование новых схем реализации квантовых гейтов.

В 2022 году в рамках реализации Дорожной карты успешно пойманы   
и охлаждены более 20 ионов кальция в 3D ловушке Пауля, разработаны различные варианты дизайна поверхностных ионных ловушек, позволяющие реализовать параллельные двухкубитные гейты, разработана схема индивидуальной адресации   
с использованием частотных гребенок, продемонстрирована возможность решения оптимизационных задач на ионах вариационными методами (QAOA), адаптированных под ионную платформу. В рамках проекта по поверхностным ионным ловушкам разработаны технологии изготовления ловушек и произведены испытания полученных образцов совместно с ведущими российскими лабораториями в этой области (научная группа под руководством Г.Н. Гольцмана (МПГУ) и научная группа В.И. Егоркина (МИЭТ)).

В настоящий момент ведется работа над стабилизацией лазерных систем   
для проведения квантовых операций и манипулирования кубитами (охлаждение   
и детектирование), реализацией одно- и двухкубитных операций, разработкой магнитного экрана и исследованиями в области масштабирования ионной платформы, а именно увеличением количества кубитов в системе без потери скорости и качества запутывающих операций.

Докладчик ответил на вопрос: какой результат в мире по кальцию на двух кубитах?

1. К.ф.-м.н. Федоров Алексей Константинович (ФИАН, РКЦ) представил обзор развития направления квантовых алгоритмов и программного обеспечения в рамках Дорожной карты. Исследования включают в себя разработку квантовых алгоритмов, методов и кодов коррекции ошибок, эмуляторов квантовых вычислительных устройств, а также облачной платформы квантовых вычислений. По всем направлениям достигнуты запланированные результаты.

Отмечены несколько направлений исследований:

- тестирование квантовых алгоритмов на устройствах квантовых вычислений (ионном квантовом компьютере);

- разработка квантовых алгоритмов с целью решения прототипов прикладных задач, например, из области оптимизации;

- исследования в области поверхностных кодов коррекции ошибок и выявление существенных деталей их реализации;

- исследования в области кудитных квантовых вычислений – использование многоуровневых систем для более эффективной реализации квантовых алгоритмов.

Разработаны новые подходы для реализации кудитных вычислений   
с использованием ионов и сверхпроводников. Отмечено, что в этом направлении активная работа ведется ведущими научными группами по всему миру.

Докладчик ответил на вопрос: насколько значим показатель «количество экспериментальных тестов»? Насколько эффективен недавно появившийся алгоритм Шнорра; когда у нас будет алгоритм, появится ли у нас открытая платформа, скажем, ионная; когда появится алгоритм для 16-кудитной платформы? Имеется ли у Вас в программе исследований получение логического кубита   
с применением кодов коррекции ошибок, имеющего намного большее фиделити?

1. Д.ф.-м.н. Кавокин Алексей Витальевич (РКЦ, СПбГУ) сообщил об экситонных поляритонах – бозонных квазичастицах, индуцируемых светом   
   в полупроводниковых структурах. В 2006-2007 гг. экспериментально доказано, что   
   в полупроводниковых микрорезонаторах, находящихся в режиме сильной связи экситон-фотон, могут формироваться бозонные конденсаты экситонных поляритонов: когерентные многочастичные состояния, которые можно характеризовать единой волновой функцией.

В 2009 году продемонстрирована сверхтекучесть экситонных поляритонов   
и обнаружены вихри с квантованным топологическим зарядом, сформированные сверхтекучей поляритонной жидкостью. В 2020-2021 гг. разработана концепция поляритонного кубита, основанного на суперпозиции двух квантовых состояний поляритонного конденсата, имеющего форму кольца.

Наиболее удобными квантовыми состояниями для реализации поляритонных квантовых вентилей являются состояния сверхтекучего тока с противоположными топологическими зарядами +1 и –1. В ходе работ по Дорожной карте автором и его командой экспериментально реализованы такие состояния конденсата в оптически индуцированных циркулярных ловушках и научились переводить систему из одного состояния в другое при помощи лазерного импульса.

В 2022 году в рамках Дорожной карты разработана система считывания, позволяющая строить таблицу истинности для двухкубитных поляритонных вентилей. Система основана на независимом и одновременном проецировании состояний двух кубитов на базисы, задаваемые оптической фазовой пластинкой   
и одномодовым световодом.

Идет работа над реализацией iSWAP и CNOT двухкубитных вентилей.   
В сотрудничестве с группой П. Лагудакиса (Сколтех) автор и его команда работает над реализацией квантового симулятора Изинга, основанного на 22 поляритонных кубитах, собранных в треугольную решетку.

Важным достижением 2022 года является также создание отечественной технологической базы квантовой поляритоники. На базе установки молекулярно-пучковой эпитаксии СПбГУ были выращены первые в России поляритонные лазеры. Экспериментально продемонстрировано формирование Бозе-Эйштейновского конденсата экситонных поляритонов в этих структурах.

Докладчик ответил на вопросы: каковы результаты измерения полученных образцов (помимо представленных фотографий)?

1. Д.ф.-м.н. Новиков Алексей Витальевич (ИФМ РАН – филиал ИПФ РАН) представил основные результаты, полученные по проекту «Разработка кубитов на основе эпитаксиальных гетероструктур Si/SiGe и исследование влияния концентрации изотопов с ненулевым ядерным спином на параметры созданных кубитов»   
   в 2022 году в рамках реализации Дорожной карты.

Целями проекта являются создание в России кубита на основе изотопнообогащенных структур Si/SiGe и определение влияния на его основные рабочие характеристики состояния гетерограниц в структуре и степени изотопного обогащения Si и Ge в ней.

В 2022 году получены монокристаллы 28Si кремния с содержанием изотопа 29Si на уровне 800 и 100 атомов на миллион. Получены монокристалл 72Ge германия   
и газ герман с содержанием изотопа 73Ge на уровне 100 атомов на миллион. Впервые в России методом МПЭ получены изотопнообогащенные Si/SiGe структуры   
с содержанием изотопов Si и Ge с ненулевым ядерным спином на уровне 800 атомов на миллион. Условия роста Si/SiGe структур оптимизированы для увеличения междолинного расщепления уровней электронов в Si квантовой яме либо за счет подавления сегрегации Ge, либо за счет уменьшения шероховатости гетерограниц.

Отработана технология формирования на Si/SiGe структурах полевых транзисторов с изолированным затвором в конфигурации «холловский мостик».   
За счет измерения созданных мостиков при температурах ~1,7 К продемонстрировано, что концентрация электронов (диапазон 1011- 1012 см-2)   
и их подвижность (> 50 000 см2/(В⋅с)) в выращенных в рамках проекта Si/SiGe структурах соответствуют достигнутому к настоящему времени мировому уровню для структур, выращенных методом МПЭ и используемых для формирования кубитов. Анализ зависимости подвижности электронов от их концентрации показывает, что ограничивающими механизмами рассеяния электронов являются рассеяние на остаточной и удаленной примесях.

С целью формирования на последующих этапах одноэлектронного транзистора   
и кубитов была отработана технология создания управляющих электродов,   
в том числе расположенных в нескольких слоях к Si/SiGe структурам   
с пространственным разрешением менее 100 нм, и технология осаждения тонких (десятки нанометров) разделительных диэлектрических слоев.

Докладчик ответил на вопросы: Какого диаметра пластины Вы можете выращивать на структурах кремний-германий? По какой причине Вы усложняете описание эффектов на кубите – квантовой точке?

1. Профессор РАН, д.ф.-м.н. Белотелов Владимир Игоревич (РКЦ, МГУ имени М.В. Ломоносова) сообщил, что в 2022 году в рамках Дорожной карты экспериментально продемонстрировано уникальное явление – магнонная конденсация Бозе-Эйнштейна при комнатной температуре. При этом магноны переходят в единое когерентное квантовое состояние, описываемое единой волновой функцией, и, по сути, образуют макроскопический квантовый объект. Такое состояние магнонов в специальном магнитном диэлектрике (микродиск   
   из пленки иттриевого феррита-граната) удаётся возбудить с помощью СВЧ-накачки. Пленки ферритов-гранатов были разработаны и синтезированы в Крымском федеральном университете им. В.И. Вернадского.

В 2022 году в Лаборатории квантовой магноники также проведены работы   
по созданию прототипов кубитов на базе магнонного конденсата. Были созданы системы двух магнитных микродисков, связанных либо с помощью СВЧ-фотонов, либо непосредственно за счет перехода магнонов между микродисками, и получено взаимодействие магнонных конденсатов в микродисках. В первой половине   
2023 года был изучен прототип магнонного кубита, основанный на спиновой сверхтекучести, в котором состояния кубита задаются суперпозицией магнонных токов, циркулирующих по или против часовой стрелки. В дальнейшем планируется перейти от прототипов к кубитам, в основе работы которых лежит идея макроскопического квантового туннелирования конденсата между двумя состояниями, расщепленными по энергии.

Параллельно с магнонными кубитами на базе магнонного конденсата Бозе-Эйнштейна изучаются физические принципы создания магнонного кубита на основе магнитных квантовых точек, также работающего на явлении макроскопического квантового туннелирования. В конце 2022 года получен «квазиантиферромагнетик», на котором удалось экспериментально продемонстрировать явление бистабильности вектора антиферромагнетизма. Теоретически показано, что на его базе можно получить кубит, кодирующий информацию через суперпозиции состояний вектора антиферромагнетизма, которые возникают за счет квантового туннелирования макроспина. Работы по созданию кубитов на базе антиферромагнитных квантовых точек запланированы на ближайшие несколько лет.

Вопросы по докладу отсутствуют.

1. Заместитель председателя Совета, академик РАН А.А. Горбацевич (ФИАН,   
   НИУ МИЭТ, АО «НИИМЭ») сообщил о ситуации по экспертному мнению Совета об отчете о результатах реализации Дорожной карты в 2022 году.
2. В заключительном слове Председатель Совета, академик РАН Г.Я. Красников поблагодарил авторов за предоставленные Отчет, доклады и их экспертное обсуждение, выразил уверенность в интеграции усилий РАН и Госкорпорации «Росатом» в части развития механизма экспертизы ежегодных отчетов   
   о результатах реализации Дорожной карты.

# РЕШИЛИ:

1. Принять к сведению представленные отчеты и доклады о результатах реализации Дорожной карты в 2022 году, которые включают 14 отчетов о выполнении мероприятий Дорожной карты, 1 отчет о выполнении целевых показателей   
   и индикаторов Дорожной карты, а также достижение Интегрального показателя, отражающего уровень реализации Дорожной карты, в значении 112 % (далее – Отчет).
2. Отметить:
   1. Полноту, актуальность и корректность представленной в Отчете информации.
   2. Результаты реализации Дорожной карты соответствуют запланированным результатам и показателям Дорожной карты.
   3. Мероприятия в рамках Дорожной карты актуальны, востребованы и целесообразны.
3. Одобрить представленный Отчет и итоги выполнения Дорожной карты в 2022 году.
4. В целях исполнения в 2023 году пункта 3 раздела I протокола заочного голосования членов президиума Правительственной комиссии по цифровому развитию, использованию информационных технологий для улучшения качества жизни   
   и условий ведения предпринимательской деятельности от 07.07.2022 № 25 считать Отчет консолидированным с РАН и рекомендовать его к направлению Госкорпорацией «Росатом» в Правительство Российской Федерации с приложением настоящего протокола заседания Совета.
5. Принять к сведению предложения, озвученные на заседании Совета:
   1. Более чётко отразить преемственность результатов из проектов ФПИ «Лиман», «Прибой» в рамках реализации Дорожной карты.
   2. Отметить невыполнение в 2022 году двух индикаторов Дорожной карты   
      по сверхпроводниковой платформе (количество кубитов и точность двухкубитных операций) и несовершенство методики расчета Интегрального показателя, отражающего уровень реализации Дорожной карты (далее – Интегральный показатель), допускающей компенсацию недостигнутых технических показателей значительным перевыполнением экосистемных. Рекомендовать Госкорпорации «Росатом» доработать с 2023 г. методику расчета Интегрального показателя для устранения данного замечания.

Вместе с этим отметить значительный прогресс в 2022 году по атомной платформе, а также прогресс в 2023 году по сверхпроводниковой платформе, уже обеспечивший выполнение показателей 2023 году в части количества кубитов и точности двухкубитных операций: разработан 8-ми кубитный сверхпроводниковый квантовый процессор с точностью двухкубитных операций 96%.

* 1. Рекомендовать Госкорпорации «Росатом» в докладах о результатах реализации Дорожной карты, представляемых на заседании Совета, для оценки выполнения показателей Дорожной карты отражать в табличной форме запланированные и фактически достигнутые целевые показатели (индикаторы), а также сравнение с мировым уровнем по каждой платформе.
  2. Рекомендовать членам Совета при экспертной оценке явно отмечать достигнутые в рамках Дорожной карты результаты с высокой значимостью.
  3. Дополнить показатели качества помимо количества кубитов также указанием реализованных на кубитах алгоритмов. Рекомендовать Госкорпорации «Росатом» внести соответствующие изменения в Дорожную карту.
  4. Уточнить и обосновать определения: кубита вообще и полезного кубита в частности, метрик «квантовый объем» и «возможность выполнить заданный алгоритм на вычислителе», показателя точности – лучший, средний, среднеквадратичный.
  5. Наладить информационный обмен между заинтересованными организациями; создать базу данных полезных задач для квантовых вычислений,   
     не нарушающую конфиденциальность данных заказчиков; обращаться   
     в ПАО Сбербанк для тестирования оборудования на имеющихся задачах.
  6. Рекомендовать Госкорпорации «Росатом» предоставлять доступ   
     к запрашиваемым Советом данным (в порядке, утвержденном Госкорпорацией «Росатом»).

1. Рекомендовать Госкорпорации «Росатом» (ООО «СП «Квант») в срок до 23 июня 2023 г. предоставить в Совет в рабочем порядке по эл. почте дополнительный справочный материал с описанием достигнутых параметров проектов по Дорожной карте и указанием измерений, на основе которых получены отчетные показатели.
2. Членам Совета в срок до 23 июня 2023 г. направить в адрес ученого секретаря Совета по эл. почте:
   1. Проекты «Перечней дополнительных вопросов для научно-технической экспертизы экспертами РАН» (для каждого направления отдельно), включая пороговые значения для принятия решений о соответствии мероприятий и результатов реализаций «дорожной карты» целям соглашений о намерениях между Правительством Российской Федерации и заинтересованными организациями в целях развития отдельных высокотехнологичных направлений.
   2. Заполненные приложение 2 «Форма заключения Экспертного совета РАН»   
      и приложение 3 «Перечень общих вопросов для научно-технической экспертизы результатов реализации соглашений о намерениях между Правительством Российской Федерации и заинтересованными организациями в целях развития отдельных высокотехнологичных направлений» к письму президиума РАН   
      в адрес руководителей Научных советов РАН от 29 мая 2023 г.   
      № 2-10109-2172/652, а также форму с перечнем дополнительных вопросов.   
      При этом в указанных документах необходимо дать предложения по доработке структуры для приведения их в соответствие высокотехнологичным направлениям «Квантовые вычисления», «Квантовые коммуникации».   
      В случае наличия конфликта интересов по конкретным проектам оценку   
      не проводить и сообщить об этом. Оценку успешности проводить интегрально   
      с учетом выполненных работ по проекту конкретной командой.

Ученый секретарь Совета,

к.т.н. Тельминов О.А.