«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 «План работ Научного совета на 2025 г. Состояние работ по детекторам одиночных фотонов. Экспертиза дорожной карты развития высокотехнологичной области «Квантовые коммуникации»**

**ДАТА И МЕСТО ПРОВЕДЕНИЯ:** 22 мая 2024 г. с 11:00 до 12:25. Президиум РАН: г. Москва, Ленинский пр-т, 14, 2 эт., Конференц-зал.

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

**ПРЕДСЕДАТЕЛЬСТВОВАЛ:**

Заместитель председателя Научного совета РАН «Квантовые технологии», академик РАН А.А. Горбацевич.

# УЧАСТВОВАЛИ:

|  |
| --- |
| Члены Бюро Совета |
| 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 (очно) |
| 1. Кведер Виталий Владимирович, академик РАН
 | главный научный сотрудник, научный руководитель ИФТТ РАН (онлайн) |
| 1. Латышев Александр Васильевич, академик РАН
 | директор ИФП СО РАН (онлайн) |
| 1. Волович Игорь Васильевич, член-корреспондент РАН
 | заведующий отделом, главный научный сотрудник МИАН (онлайн) |
| 1. Горнев Евгений Сергеевич, член-корреспондент РАН
 | заместитель руководителя приоритетного технологического направления «Электронные технологии» АО «НИИМЭ» (очно) |
| 1. Колачевский Николай Николаевич, член-корреспондент РАН
 | директор ФИАН (очно) |
| 1. Красильник Захарий Фишелевич, член-корреспондент РАН
 | руководитель научного направления «Физика микро- и наноструктур» ИФМ РАН – филиала ИПФ РАН (онлайн) |
| 1. Богданов Юрий Иванович, доктор физико-математических наук
 | главный научный сотрудник, руководитель лаборатории физики квантовых компьютеров ФТИАН им. К.А. Валиева РАН, профессор Института интегральной электроники имени академика К.А. Валиева НИУ МИЭТ (очно) |
| 1. Кулик Сергей Павлович, доктор физико-математических наук
 | научный руководитель Центра квантовых технологий Физического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова (онлайн) |
| 1. Молотков Сергей Николаевич, доктор физико-математических наук
 | заведующий лабораторией, главный научный сотрудник ИФТТ РАН, член-корреспондент Академии криптографии Российской Федерации, ведущий научный сотрудник 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 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. Никитов Сергей Аполлонович, академик РАН
 | директор ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН (очно) |
| 1. Шеремет Игорь Анатольевич, академик РАН
 | заместитель директора по науке РФФИ (онлайн) |
| 1. Глазов Михаил Михайлович, член-корреспондент РАН
 | ведущий научный сотрудник ФТИ им. А.Ф. Иоффе (онлайн) |
| 1. Калачёв Алексей Алексеевич, член-корреспондент РАН
 | директор ФИЦ КазНЦ РАН (онлайн) |
| 1. Рябцев Игорь Ильич, член-корреспондент РАН
 | заведующий лабораторией ИФП СО РАН (онлайн) |
| 1. Турлапов Андрей Вадимович, член-корреспондент РАН
 | заведующий лабораторией ультрахолодных квантовых систем ИПФ РАН, руководитель научной группы РКЦ (онлайн) |
| 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. Донченко Сергей Иванович, доктор технических наук
 | руководитель приоритетного технологического направления по метрологии, генеральный директор ФГУП «ВНИИФТРИ» (очно) |
| 1. Сысоев Николай Николаевич, доктор физико-математических наук
 | директор Центра квантовых технологий, советник ректора, заведующий кафедрой молекулярных процессов и экстремальных состояний веществ физического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова (очно) |
| 1. Велихов Василий Евгеньевич, кандидат физико-математических наук
 | директор-координатор объединенного вычислительного кластера НИЦ «Курчатовский институт» (очно) |
| 1. Гуртовой Владимир Леонидович, кандидат физико-математических наук
 | старший научный сотрудник ИПТМ РАН (онлайн) |
| От Открытого акционерного общества «Российские железные дороги», г. Москва |
| 1. Смирнов Константин Владимирович, доктор физико-математических наук
 | заместитель начальника Департамента квантовых коммуникаций ОАО «РЖД» (очно) |
| 1. Никонов Антон Викторович, кандидат физико-математических наук
 | начальник отдела по взаимодействию с научным комплексом Департамента квантовых коммуникаций ОАО «РЖД» (очно) |
| 1. Котков Михаил Олегович
 | заместитель начальника Департамента квантовых коммуникаций ОАО «РЖД» ОАО «РЖД» (онлайн) |
| 1. Сысоев Дмитрий Анатольевич
 | заместитель начальника отдела по взаимодействию с научным комплексом Департамента квантовых коммуникаций ОАО «РЖД» (очно) |
| От Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова Сибирского отделения Российской академии наук, г. Новосибирск |
| 1. Преображенский Валерий Владимирович, кандидат физико-математических наук
 | заведующий лабораторией ИФП СО РАН (онлайн) |
| 1. Чистохин Игорь Борисович, кандидат физико-математических наук
 | старший научный сотрудник ИФП СО РАН (онлайн) |
| От Федерального государственного бюджетного учреждения науки Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук, г. Санкт-Петербург |
| 1. Малеев Николай Анатольевич, кандидат технических наук
 | старший научный сотрудник ФТИ им. А.Ф. Иоффе (онлайн) |
| От Федерального государственного унитарного предприятия «Всероссийский научно-исследовательский институт физико-технических и радиотехнических измерений», г.о. Солнечногорск Московской обл. |
| 1. Швыдун Владимир Владимирович, доктор технических наук
 | заместитель генерального директора по перспективным исследованиям и инновациям ФГУП «ВНИИФТРИ» (очно) |
| От Акционерного общества «Научно-исследовательский институт «Полюс» им. М.Ф. Стельмаха», г. Москва |
| 1. Ладугин Максим Анатольевич, доктор физико-математических наук
 | начальник научно-производственного комплекса 300 АО «НИИ «Полюс» им. М.Ф. Стельмаха» (онлайн) |
| От акционерного общества «ОКБ–Планета», г. Великий Новгород |
| 1. Петров Александр Владимирович, кандидат технических наук
 | генеральный директор АО «ОКБ-Планета» (очно) |
| 1. Воропаев Кирилл Олегович
 | начальник группы по разработке оптоэлектронных компонентов отдела № 1 АО «ОКБ-Планета» (очно) |
| 1. Стукалов Антон Николаевич
 | заместитель генерального директора по научно-техническому развитию – главный конструктор АО «ОКБ-Планета» (очно) |
| От Общества с ограниченной ответственностью «Коннектор Оптикс», г. Санкт-Петербург |
| 1. Карачинский Леонид Яковлевич, доктор технических наук
 | генеральный директор ООО «Коннектор Оптикс», ведущий научный сотрудник Университета ИТМО (онлайн) |
| От Общества с ограниченной ответственностью «СМАРТС-Кванттелеком», г. Санкт-Петербург |
| 1. Анисимов Андрей Александрович, кандидат физико-математических наук
 | заместитель технического директора ООО «СМАРТС-Кванттелеком» (онлайн) |

# ПОВЕСТКА ДНЯ:

Академик РАН Горбацевич Александр Алексеевич (ФИАН, НИУ МИЭТ, АО «НИИМЭ»). Открытие заседания.

(1) академик РАН Горбацевич Александр Алексеевич (ФИАН, НИУ МИЭТ, АО «НИИМЭ»). План работ Научного совета на 2025 г.

(2) Воропаев Кирилл Олегович (АО «ОКБ-Планета»). Состояние работ по детекторам одиночных фотонов.

(3) очно академик РАН Горбацевич Александр Алексеевич (ФИАН, НИУ МИЭТ, АО «НИИМЭ»). Экспертиза дорожной карты развития высокотехнологичной области «Квантовые коммуникации».

Общая дискуссия. Подведение итогов заседания Научного совета.

(академик РАН А.А. Горбацевич; академик РАН А.В. Латышев;

член-корр. РАН Е.С. Горнев; член-корр. РАН Н.Н. Колачевский;

д.т.н. Л.Я. Карачинский; д.ф.-м.н. М.А. Ладугин; д.ф.-м.н. К.В. Смирнов;

к.ф.-м.н. А.А. Анисимов; кандидат технических наук А.В. Петров;

к.ф.-м.н. В.В. Преображенский; к.ф.-м.н. И.Б. Чистохин; К.О. Воропаев)

1. В заседании Бюро Совета приняли участие 26 из 50 членов Бюро и членов Научного совета РАН «Квантовые технологии», а также 14 приглашенный ученый и специалист — всего 40 человек из 31 организации и их подразделений. В обсуждении повестки дня участвовало 12 человек.
2. Во вступительном слове при открытии заседания заместитель председателя Совета, академик РАН А.А. Горбацевич почтил минутой молчания члена Бюро Совета, выдающегося советского и российского физика-теоретика, академика РАН Роберта Арнольдовича Суриса (ФТИ им. А. Ф. Иоффе, 31.12.1936 — 14.05.2024 гг.). Отметил возрастающую роль РАН как ведущего экспертного органа РФ в области науки, техники и образования. Такая экспертиза реализуется Научными советами РАН — проводниками научно-технической политики и главными инструментами экспертной деятельности.
3. Воропаев Кирилл Олегович (АО «ОКБ-Планета») представил текущий статус выполнения работ и достигнутые на сегодняшний момент результаты по ОКР «Разработка приемников одиночных фотонов на базе отечественного лавинного фотодиода для систем квантовой коммуникации», выполняемой АО «ОКБ-Планета» по заказу ОАО «РЖД». В докладе изложены цель и сроки выполнения ОКР, указана кооперация, задействованная для выполнения ОКР, в том числе привлеченные за счет собственных средств АО «ОКБ-Планета» организации. Озвучены основные проблемы достижения субнаноамперных темновых токов в кристаллах однофотонных лавинных фотодиодов (ЛФД), подтвержденные экспериментально и результатами моделирования. Приведено краткое описание освоенных АО «ОКБ-Планета» технологий в части изготовления однофотонных ЛФД, продемонстрированы достигнутые характеристики отечественного однофотонного ЛФД, включая субнаноамперные темновые токи, проведено сравнение достигнутых на настоящее время характеристик с параметрами технического задания (ТЗ). Показаны результаты работ ИФП СО РАН по НИР «Передел», инициированной за счёт собственных средств АО «ОКБ-Планета» в соответствии поручением из протокола совещания Научного совета РАН «Квантовые технологии» от 17 февраля 2023 г. Также приведены результаты тестирования макетного образца приемника одиночных фотонов, разрабатываемого в рамках ОКР, с однофотонным ЛФД иностранного производства. Продемонстрированы результаты анализа поставщиков гетероструктур для ЛФД. Сформулирован план дальнейших работ до конца 2024 г. Выдвинуто предложение о необходимости постановки НИР по разработке гетероструктурного материала для однофотонных ЛФД. Завершение работ по договору «Разработка приемников одиночных фотонов на базе отечественного лавинного фотодиода для систем квантовой коммуникации» планируется в 2024 г.

Докладчик ответил на вопросы: насколько существенно отклонение емкости 0,55 от 0,5 пкФ для проекта в целом, его частотных характеристик? Какое соотношение между отсчетами в секунду и темновыми токами? Наблюдали ли Вы деградацию параметров — увеличение токов с течением времени? Каковы требования к материалам? Почему Вы указываете не стандартный на сегодня размер контактных площадок, который составляет 70х70 мкм? При моделировании темновых токов Вы указали, что их причина — ловушки; какие именно ловушки — кислородные или другие? Насколько будет воспроизводим результат или заказчик получит единичный образец в виде одной пластины с чипами? К какому сроку планируется достичь параметры из технического задания?

К.ф.-м.н. А.А. Анисимов прокомментировал, что большая емкость не является препятствием для регистрации лавинного пробоя, так как в схеме предусмотрено выключение компаратора на время заряда емкости ЛФД. Основная проблема заключается в низкой квантовой эффективности и высокой частоте темновых отсчетов.

1. К.ф.-м.н. Преображенский Валерий Владимирович (ИФП СО РАН) представил результаты разработки и создания однофотонных ЛФД в ИФП СО РАН за время, прошедшее с даты проведения совещания Научного совета РАН «Квантовые технологии» — 17 февраля 2023 г. В докладе были перечислены мероприятия, проведенные в ИФП СО РАН, по выполнению решений совещания от 17 февраля 2023 года. В результате проведения этих мероприятий было получено подтверждение, что по состоянию на февраль 2023 г. в ИФП СО РАН существовали необходимые условия и предпосылки для создания отечественного однофотонного ЛФД.

25 мая 2023 г. был заключен договор на изготовление в ИФП СО РАН чипов однофотонных ЛФД по топологии, согласованной с АО «ОКБ-Планета». Проведено три серии выращивания гетероструктур и изготовления кристаллов ЛФД. По состоянию на 9 февраля 2024 г. получены и переданы АО «ОКБ-Планета» 40 кристаллов ЛФД, удовлетворяющие всем требованиям ТЗ договора кроме ёмкости (вместо 0,4 пФ измерения дали 0,53-0,58 пФ). В апреле 2024 г. была выращена четвертая серия гетероструктур с изменением в топологии металлизации с целью уменьшения ёмкости кристалла. Предварительные измерения ВАХ и ВФХ кристаллов показали, что параметры ЛФД удовлетворяют требованиям ТЗ по темновому току (< 1 нА) и ёмкости кристалла (< 0,4 пФ), но имеют напряжения пробоя 45-47 В вместо 50 В по техническому заданию. По состоянию на май 2024 г. идет подготовка к росту пятой серии гетероструктур, с учетом выявленных недостатков при росте предыдущих серий. Выход готовых кристаллов планируется в начале июля 2024 г.

Докладчик ответил на вопросы: в течение какого срока выполняется ОКР? Кто является ответственным исполнителем в Алфёровском университете?

В ходе обсуждения были высказаны следующие мнения:

Академик РАН А.А. Горбацевич: когда планируется завершение ОКР, имеется ли готовность серийному выпуску детекторов?

К.О. Воропаев (АО «ОКБ-Планета»): необходимо расширять кооперацию, в частности, для обмена структурами — например, изготовленными в АО «НИИ «Полюс» им. М.Ф. Стельмаха».

К.ф.-м.н. И.Б. Чистохин (ИФП СО РАН): ключевыми моментами для создания ЛФД кроме качественной гетероструктуры являются как формирование p-n перехода в n-области InP, так и формирование самой p-области. В связи с кардинальными различиями в технологиях легирования цинком в ИФП СО РАН и НТЦ микроэлектроники РАН следует исследовать их на качественных гетерогенных структурах Алфёровского университета, ИФП СО РАН и АО «НИИ «Полюс» им. М.Ф. Стельмаха».

Член-корр. РАН Е.С. Горнев (АО «НИИМЭ»): для улучшения характеристик приборов необходимо провести физический анализ с привлечением ИФП СО РАН, имеющих квалифицированный коллектив и лабораторное оборудование.

К.т.н. А.В. Петров (АО «ОКБ-Планета»): для проведения такого анализа необходимо дополнительное бюджетирование, которое в настоящее время не предусмотрено.

Д.ф.-м.н. М.А. Ладугин (АО «НИИ «Полюс» им. М.Ф. Стельмаха»): к разработке такого уровня необходимо привлечение большого количества экспертов. Во-первых, касательно материалов, поставляемых из Европы, США или Китая — в процессе разработки полупроводниковых наногетероструктур вскрываются неочевидные технологические вопросы. Действительно, с ними к нам обратилось АО «ОКБ-Планета», мы видим возможность довести работу до успешного завершения. Полученные результаты по емкости, низкому уровню легирования и высоким пробивным напряжениям могут через определённый промежуток времени не воспроизвестись — мы знаем это как производственная площадка. Поэтому здесь необходимо как проведение фундаментальных исследований, так и вовлечение большего количества компетентных участников.

1. Академик РАН А.А. Горбацевич сообщил о проведенной Советом экспертизе дорожной карты развития высокотехнологичной области «Квантовые коммуникации», а д.ф.-м.н. К.В. Смирнов (ОАО «РЖД») прокомментировал её: ОАО «РЖД» согласно с большинством замечаний и готово внести соответствующие изменения в Дорожную карту после получения запроса от Минцифры России. Это касается включения научных организаций и институтов РАН в число ответственных исполнителей при создании и масштабировании межуниверситетской квантовой сети, указания вузов при выработке квалификационных требований, создания учебных пособий, программ, курсов по квантовым коммуникациям, разработки и создания модели угроз и нарушителя для систем квантовых коммуникаций.

Другая, и достаточно большая часть замечаний, посвящена конкретным проектам в рамках реализации Дорожной карты. Департамент квантовых коммуникаций ОАО «РЖД» готов провести необходимую экспертизу и инициацию таких работ. Механизм основан на предложениях экспертного сообщества, организованного в виде управляющего комитета, секции квантовых коммуникаций Научно-технического совета ОАО «РЖД» и 4-х экспертных групп по соответствующим направлениям: сетевые технологии, космические системы квантовых коммуникаций, перспективные технологии, абонентские системы и компонентная база квантовых коммуникаций.

В части фундаментальных исследований ОАО «РЖД» приветствует подтверждение со стороны Совета значимости продолжения их проведения при реализации Дорожной карты.

1. В заключительном слове заместитель председателя Совета, академик РАН А.А. Горбацевич поблагодарил авторов за предоставленные доклады и их обсуждение, отметил необходимость повышения эффективности в интеграции усилий организаций и предприятий в части разработки и производства детекторов одиночных фотонов.

# РЕШИЛИ:

1. Принять к сведению представленные доклады и их обсуждение.
2. Отметить недостаточную эффективность координации работ по разработке технологии однофотонных детекторов на базе полупроводниковых гетероструктур.
3. Членам Бюро Совета и членам Совета представить в адрес ученого секретаря Совета предложения по плану заседаний Совета на 2-е полугодие 2024 г. в срок до 31 мая 2024.
4. Поддержать «дорожную карту», структуру высокотехнологичного направления «Квантовые коммуникации», методы развития магистральных квантовых сетей, абонентских систем квантовых коммуникаций, компонентной базы и перспективных технологий с акцентированием внимания на ускоренном развитии российской элементной базы фотоники. Решение членами Бюро Совета и членами Совета принято единогласно (26 «за», без голосов «против» и воздержавшихся).
5. Отметить, что развитие квантовых коммуникаций является одной из приоритетных государственных задач в области обеспечения информационной безопасности Российской Федерации. Подтвердить значимость продолжения проведения фундаментальных исследований в ходе реализации «дорожной карты» развития высокотехнологичного направления (области) «Квантовые коммуникации» на период до 2030 года.
6. Рекомендовать ОАО «РЖД» учесть Заключение Научного совета РАН «Квантовые технологии» на предложения по внесению изменений в «дорожную карту» развития высокотехнологичного направления (области) «Квантовые коммуникации» на период до 2030 года в части реализации конкретных проектов при формировании перечня НИР, НИОКР, ОКР при реализации «дорожной карты» в рамках действующего в ОАО «РЖД» механизма отбора проектов.

Ученый секретарь Совета,

к.т.н. О.А. Тельминов