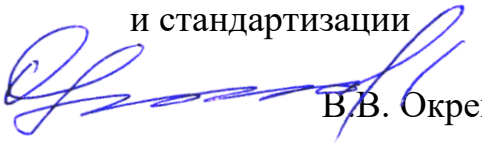
УТВЕРЖДАЮ

Председатель
Научного совета РАН
по метрологическому обеспечению
и стандартизации



В.В. Окрепилов

«__» мая 2026 г.

Протокол

Заседания Научного совета Российской академии наук
по метрологическому обеспечению и стандартизации

14 мая 2026 года № 02 - 2026

Присутствовали:

Члены Бюро Совета	-	В.В.Окрепилов (ВКС), С.А.Бабин, В.В.Иванов (ВКС), И.В.Ломоносов (ВКС), М.В.Сильников, И.В.Смирнов, А.П.Шалаев (ВКС), Ю.Х.Шогенов
Члены Совета	-	В.Н.Бас, С.И.Донченко, В.Н.Задков (ВКС), А.А.Кокорев (ВКС), Н.Н.Колачевский, Т.В.Кононова (ВКС), А.А.Кочкаров, Д.А.Кузнецов, М.М.Овчаренко, В.Г.Пешехонов (ВКС), А.Н.Пронин, С.М.Прудников (ВКС), О.Н.Савостикова, В.А.Стяжкин, И.С.Филимонов
Ученый секретарь Совета	-	А.А.Алексашин
Приглашенные участники	-	А.Е.Афанасьев, В.Е.Велихов, Д.Г.Грязин, С.В.Гусев, Н.В. Иванникова, В.Н.Крутиков, С.П.Кулик, Е.Р.Лазаренко, П.В.Матвеев, В.Г.Пальчиков, О.Н.Прудников, И.И.Рябцев, В.В.Тимченко, А.В.Турлапов,

М.Н.Хромов, Т.В.Шавина,
В.В.Швыдун, М.Л.Черепанова
(ВКС)

I. Основные направления развития квантовых сенсоров и датчиков

(М.В.Сильников, Е.Р.Лазаренко, С.И.Донченко, Н.Н.Колачевский, С.В.Гусев, И.И.Рябцев, А.Е.Афанасьев, О.Н.Прудников)

1. Заслушали приветственное слово вице-президента РАН, академика РАН С.Л.Чернышева о внимании РАН к развитию квантовых сенсоров и экспертной оценке плана мероприятий по их разработке и внедрению.

С.Л.Чернышев отметил, что обеспечение выпуска квантовых сенсоров и датчиков невозможно без контроля метрологических характеристик на всем цикле производства, поэтому совместная деятельность Российской академии наук и научных организаций Росстандарта - это путь к скорейшему практическому применению разработок, в том числе - через стандартизацию и создание соответствующей нормативной базы.

Заслушали приветственное слово председателя Научного совета РАН по метрологическому обеспечению и стандартизации, академика РАН В.В.Окрепилова о значимости уникальных разработок и научных направлений в сфере разработки квантовых сенсоров и датчиков для решения актуальных задач науки и техники.

В.В. Окрепилов отметил, что для формирования необходимых условий устойчивого развития промышленности и целого ряда секторов экономики, достижения национальных целей развития, технологического лидерства и промышленного суверенитета одним из обязательных факторов является возможность проводить собственные высокотехнологичные и высокоточные измерения. На это нацелено обновление базы государственных первичных эталонов основанных на новых физических принципах, в том числе – с учетом переопределения основных единиц Международной системы единиц (СИ).

В своем приветственном слове Заместитель Руководителя Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии Е.Р.Лазаренко отметил, что консолидация усилий академической науки и метрологического сообщества представляет собой стратегически важный процесс, направленный на развитие и совершенствование метрологического обеспечения национальных проектов, решение приоритетных задач в сфере технологического развития страны. С учетом значимости современной квантовой метрологии Росстандартом осуществляется планомерная работа по включению в государственные программы Российской

Федерации и федеральные проекты работ по наиболее востребованным направлениям и созданию инновационных технологий.

2. Заслушали доклад генерального директора ФГУП «ВНИИФТРИ» д.т.н., профессора С.И.Донченко о перспективных направлениях развития квантовых сенсоров и датчиков для решения задач науки и техники.

В своем докладе С.И.Донченко отметил, что Решение 26 Генеральной конференции по мерам и весам (2018 г.) о переопределении единиц СИ (килограмм, ампер, кельвин, моль) через фиксированные числовые значения фундаментальных физических констант, а также запланированное на 2030 г. переопределение основной единицы СИ секунды через энергетический переход в электронной оболочке атомов (ионов) оптического диапазона, повышают актуальность использования фундаментальных законов квантовой механики для измерения физических величин.

Потенциально высокая точность измерений, низкий дрейф параметров или его отсутствие при длительных измерениях и другие ранее недостижимые свойства определяют востребованность применения квантовых сенсоров в метрологии.

Рассмотрено текущее состояние в области разработок высокоточных квантовых стандартов частоты в Российской Федерации, позволивших национальной шкале времени РФ войти в число самых точных шкал времени в мире. С.И.Донченко отмечена актуальность создания компактных, перевозимых квантовых стандартов частоты, а также организации серийного производства сверхминиатюрного квантового стандарта частоты на отечественных компонентах.

Высокая степень неизменности, а также способность воспроизводить единицу величины практически независимо от внешних условий, обуславливает востребованность применения квантовых эффектов (Холла и Джозефсона) при создании отечественного эталона массы нового поколения, планируемого к реализации на основе Киббл-весов.

Представлены сферы применения перспективных квантовых сенсоров, включая их использование в интересах создания систем навигации по физическим полям Земли, что предполагает развитие средств гравиметрии и магнитометрии (атомных гравиметров, градиентометров, магнитометров, и магнитных градиентометров). Принципиально новым квантовым сенсором, превосходящим современные эталоны в стабильности и надежности могут стать ядерные стандарты частоты, опорная частота которых задается переходами между энергетическими уровнями атомного ядра, а не электронной оболочки. Помимо навигации применение перспективных квантовых сенсоров востребовано при решении задач научных исследований (фундаментальной физики, геофизики и др.), геодезии,

разведки полезных ископаемых, развитии систем связи, цифрового телевидения, учета электроэнергии и расхода ресурсов и др.

Дальнейшее развитие перспективных стандартов частоты ставит перед метрологами новые задачи, в том числе – по учету взаимного влияния точности измерений различных величин на потенциально достижимые характеристики исходных эталонов, что обуславливает, в частности, актуальность создания единого комплекса государственного первичного эталона единиц времени, частоты, национальной шкалы времени, длины и гравиметрии.

3. В докладе директора ФГБУН «Физический институт имени П.Н. Лебедева Российской академии наук, д.ф.-м.н., академика РАН Колачевского Николая Николаевича проведен анализ перспектив развития квантовых навигационных сенсоров.

В настоящее время появился дополнительный инструмент координации разработки и внедрения экспериментальных образцов квантовых сенсоров в отраслях экономики – с 2026 Госкорпорацией «Росатом» запускается дорожная карта в части квантовых сенсоров. На данный момент в нее попали 13 проектов, с акцентом на максимальную востребованность со стороны реального сектора экономики. Проведен большой цикл экспертизы с участием как ГК «Росатом», так и Российской академии наук, выбрано 6 проектов для первоочередного запуска в 2026 году.

Можно выделить несколько проектов, которые соответствуют концепции автономной навигации, навигации по физическим полям Земли – это проекты, направленные на создание перебазируемого атомного гравиметра, квантового скалярного навигационного магнитометра, квантового векторного магнитометра, использующего в качестве чувствительного элемента кристалл алмаза с центрами окраски. Для инерциальной навигации планируется перейти к новому поколению приборов, на что направлен проект создания малогабаритного инерциального измерительного модуля на основе ядерного магнитного гироскопа. Есть проект сверхкомпактного цифрового лазерного гироскопа с квантовым уровнем шумов для интегрирования в существующие бесплатформенные инерциальные навигационные системы.

Для создания систем автономной навигации (САН) по физическим полям Земли требуется проработка универсальных модульных платформ, совместимых с задачами потребителя, которые могут комплектоваться сенсорами различного типа и класса точности в зависимости от задач.

Ключевым вызовом современной САН являются массо-габариты сенсоров и их стоимость.

Н. Н. Колачевским отмечена необходимость проработки с конкретными потребителями требуемых характеристик САН и компонентов САН для скорейшего выхода на технические решения.

4. Начальник Центра разработки и внедрения перспективных технологий ФГУП «ВНИИФТРИ», к.т.н. С.В. Гусев представил особенности метрологического и технологического обеспечения серийного производства квантовых стандартов частоты.

С.В.Гусев отметил рост востребованности источников обеспечения высокоточной синхронизации в различных сферах, в т.ч. в составе бортового оборудования малогабаритных автономных систем. ФГУП «ВНИИФТРИ» на основе перспективных МЭМС технологий разработаны малогабаритные стандарты частоты, использующие двухкамерные газонаполненные ячейки в конструктиве «стекло-кремний-стекло» с твердотельным источником щелочного металла, а также создана технологическая база для их серийного производства. Это позволяет обеспечить высокие метрологические характеристики при малых габаритах и энергопотреблении. Перспективным направлением является дальнейшее сокращение массогабаритных характеристик квантовых стандартов частоты за счет использования и развития интегральных технологий (т.н. «Часы на кристалле»).

5. В докладе заведующего лабораторией ФГБУН «Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова Сибирского отделения РАН», д.ф.-м.н., член-корр. РАН И.И. Рябцева рассмотрены вопросы создания прецизионных квантовых сенсоров электрических полей на основе ридберговских атомов.

Проблема прецизионного измерения локальных электрических полей актуальна в различных областях науки и техники: в прецизионной лазерной спектроскопии, атомных стандартах частоты, физике плазмы, космических исследованиях, диагностике материалов, квантовых компьютерах, радиофизике, измерителях мощности радиочастотного и микроволнового диапазонов, электрометрах и т.д.

Ридберговские сенсоры основаны на использовании узкого интерференционного резонанса электромагнитно-индуцированной прозрачности (ЭИП), наблюдаемого при двухфотонном лазерном возбуждении ридберговских состояний атомов щелочных металлов в малогабаритных оптических ячейках. При регистрации радиочастотных полей с частотой до 1 ГГц используется эффект модуляции сигнала ЭИП измеряемым электрическим полем. Во время регистрации микроволнового излучения с частотой свыше 1 ГГц используется измерение расщепления одиночного резонанса ЭИП на два резонанса за счет динамического эффекта Штарка (эффект Аутлера-Таунса) в поле микроволнового излучения. В ряде стран (США, Китай, Канада, Германия и др.) интенсивно ведутся работы по

созданию ридберговских приемников для сверхвысоких и крайне высоких частот, измерению с их помощью пространственного распределения полей, детектированию телевизионных и спутниковых сигналов, созданию ридберговских радаров, измерению поляризации радиоволн, созданию ридберговских фазированных антенных решеток и т.д.. Также обсуждается создание новых ридберговских эталонов и средств измерений напряженности электрических полей в различных условиях.

ИФП СО РАН и ВНИИФТРИ подготовили совместный проект, целью которого являются разработка, создание и исследование компактных демонстраторов приемников и сенсоров радиочастотных и микроволновых электрических полей на основе ридберговских резонансов электромагнитно-индуцированной прозрачности в миниатюрных оптических ячейках с атомами рубидия. Ключевыми характеристиками являются диапазон рабочих частот 2 - 300 ГГц, высокая чувствительность к СВЧ-излучению (5-500 нВт/см^2 или 0,2-2 В/м) и высокое пространственное разрешение (менее 1 см). Выполнение проекта позволит определить перспективы внедрения ридберговских сенсоров для измерения постоянных и переменных электрических полей, и в перспективе создать ряд чувствительных приборов.

6. Разработки Института спектроскопии Российской академии наук для создания миниатюрных квантовых сенсоров на основе холодных атомов были представлены в докладе ведущего научного сотрудника ИСАН А.Е. Афанасьева.

Квантовая сенсорика востребована для таких фундаментальных применений, как определение фундаментальных констант, измерение ускорения свободного падения, проверка принципа эвивалентности Эйнштейна, поиска отклонения от Ньютоновского закона гравитации, детектирование гравитационных волн, поиск темной энергии и темной материи и др.

А.Е. Афанасьевым отмечено, что одной из ключевых проблем является создание источников атомов для квантовой сенсорики, при этом рядом преимуществ по сравнению с достаточно отработанными в настоящее время технологиями атомного пучка и атомного фонтана обладает технология атомного чипа, которая обеспечивает большую энергоэффективность и позволяет сделать более компактные устройства. В ИСАН разработана технология атомного чипа, продемонстрировано охлаждение атомов вблизи атомного чипа и их когерентная спектроскопия. Создан оптический чип, продемонстрировано охлаждение атомов вблизи оптического чипа и их когерентный контроль. Ведутся работы по созданию компактной платформы для квантовой сенсорики на основе ультрахолодных атомов.

7. В докладе директора Института лазерной физики СО РАН, д.ф.-м.н. О.Н. Прудникова рассмотрены актуальные задачи современной квантовой метрологии.

Развитие современной квантовой метрологии предполагает использование:

- квантового объекта для измерения физической величины (квантовой или классической). Квантовый объект характеризуется квантовым набором энергетических уровней (например набор электронных состояний, включая магнитные и колебательные подуровни атомов или ионов);

- использование квантовой когерентности (т.е. волновых свойств квантовых объектов) для измерения физических величин;

- использование квантовой запутанности для улучшения чувствительности и точности измерений, выходящих за рамки классических систем.

Работы ИЛФ СО РАН связаны с такими направлениями прецизионной квантовой метрологии, как:

- стандарты частоты, в том числе высокопрецизионные, а также компактные и мобильные;

- квантовые сенсоры на основе ультрахолодных атомов и квантовая магнитометрия.

Основными задачами в области создания оптических стандартов частоты является повышение точности/стабильности таких систем, а для задач формирования временных шкал – повышение долговременной стабильности. Одним из ограничивающих факторов в достижении высокой долговременной стабильности являются систематические сдвиги, в том числе – полевые сдвиги лазерного излучения. Предложенное специалистами ИЛФ СО РАН применение гипер-Рамси спектроскопии позволяет подавить полевой сдвиг до $1x10^{-19}$, что необходимо для обеспечения высокой долговременной стабильности.

Развиваемые в ИЛФ СО РАН подходы к созданию транспортируемого абсолютного квантового гравиметра направлены на:

- увеличение чувствительности посредством увеличения числа холодных атомов и использования методов эффективного сверхглубокого лазерного охлаждения;

- обеспечение малого пролетного времени (перезахват холодных атомов в ловушке, меньшая чувствительность к вибрациям, высокая скорость опроса);

- применение новых квантовых протоколов инициализации/опроса квантовой системы для подавления сдвигов (доплеровских сдвигов, сдвигов от флуктуации интенсивности, неоднородных фазовых сдвигов).

II. Разное

(М.В.Сильников)

В соответствии с решением Заседания Научного совета РАН по метрологическому обеспечению и стандартизации от 23 июня 2025 года была создана секция секции Научного совета РАН по метрологическому обеспечению и стандартизации при Президиуме РАН по вопросам подготовки кадров. Руководителем секции предложен Шашурин Александр Евгеньевич — ректор Балтийского государственного технического университета «ВОЕНМЕХ» им. Д. Ф. Устинова, доктор технических наук, профессор.

С учетом значимости современной квантовой метрологии и в целях реализации системного подхода к развитию квантовых сенсоров и датчиков Научный совет РАН по метрологическому обеспечению и стандартизации **рекомендует**:

1. Поддержать перспективные направления исследований и разработок, в том числе - в интересах реализации высокоточных систем автономной навигации по геофизическим полям, предусматривающие создание:

- перебазируемого атомного гравиметра;
- квантового градиентометра;
- сверхминиатюрного квантового стандарта частоты (на отечественных компонентах);
- высокоточных оптических стандартов времени и частоты в стационарном, мобильном и бортовом исполнениях;
- малогабаритных, в том числе бортовых, стандартов частоты на различных физических принципах;
- ядерного стандарта частоты на основе ядерного оптического изомерного перехода в изотопе тория ^{229}Th;
- квантового магнитометра;
- квантовых сенсоров на основе интегральных фотонных схем;
- квантовых средств передачи высокостабильных сигналов частоты.

2. При формировании Федерального проекта «Техническое лидерство в обеспечении единства измерений» предусмотреть постановку работы во ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева», направленной на создание отечественного эталона килограмма на основе квантовых эффектов.

3. При подготовке предложений по созданию «Центра квантовых технологий» предусмотреть создание комплекса государственных первичных эталонов единиц времени, частоты, национальной шкалы времени, длины, килограмма, гравиметрии и единиц магнитной индукции, магнитного потока, магнитного момента и градиента магнитной индукции.

4. Поддержать проект, предложенный ИФП СО РАН для включения в дорожную карту в части квантовых сенсоров Госкорпорации «Росатом»,

направленный на применение ридберговских сенсоров для измерения постоянных и переменных электрических полей и детекторов СВЧ-излучения и создание в перспективе ряда чувствительных приборов. С целью расширения числа заинтересованных потребителей рекомендовано специалистам ИФП СО РАН рассмотреть возможность снижения нижней границы диапазона частот создаваемых сенсоров до десятков килогерц.

5. С целью решения проблем кадрового обеспечения современной квантовой метрологии предусмотреть при актуализации профессиональных стандартов и федеральных государственных образовательных стандартов, а также учебных программ внедрение в практику преподавания последних достижений в области создания квантовых сенсоров, развития необходимых компетенций профессорско-преподавательских кадров и доступа к новейшему оборудованию.