



Federal Ministry
of Education
and Research

**HIGH-TECH
STRATEGY** 
Talents. Skills. Innovations.

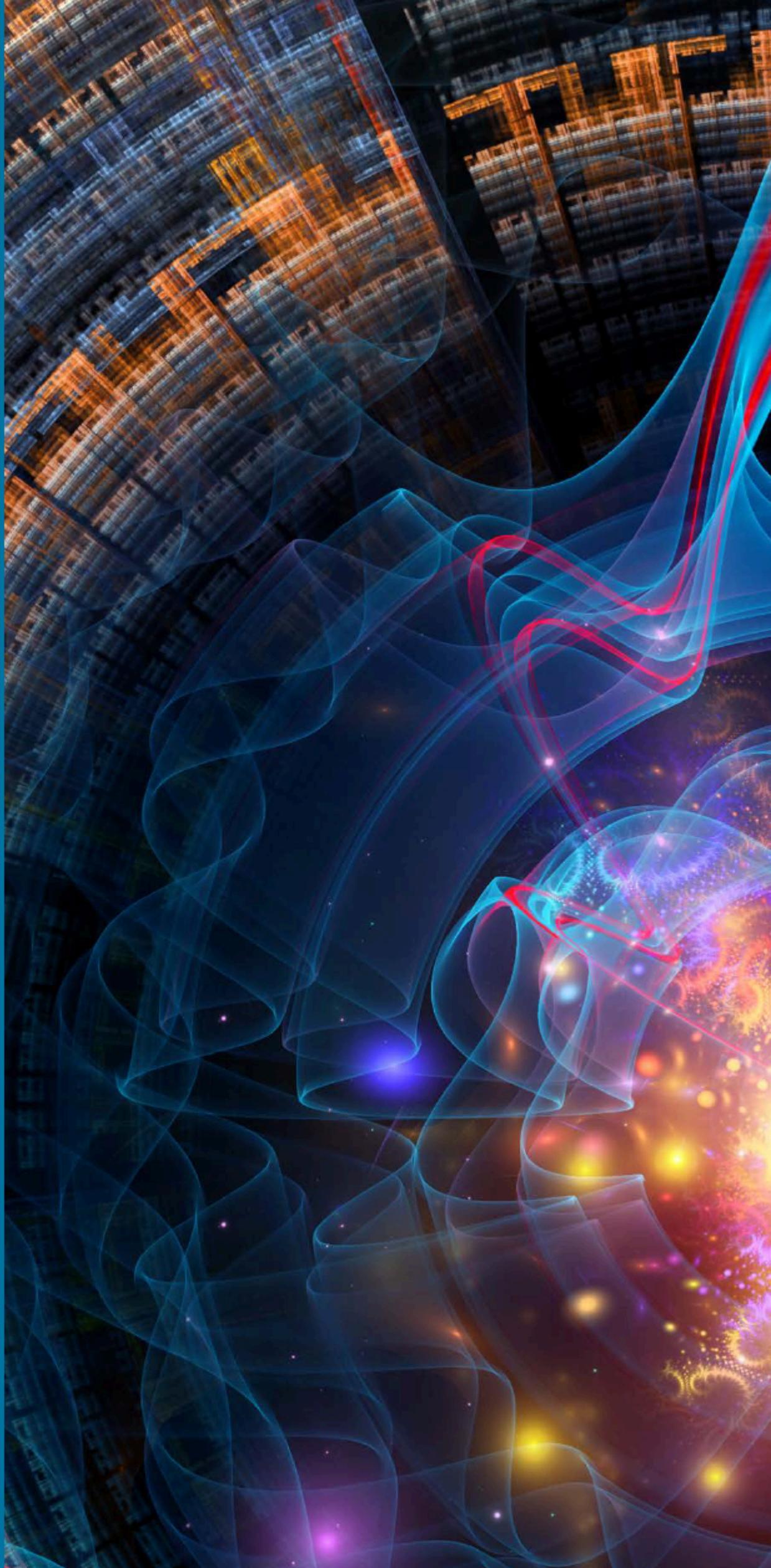
Квантовые технологии - от фундаментальных исследований к рынку

Рамочная программа федерального правительства



Содержание

1	Введение	3
1.1	Квантовые технологии - следующая революция	3
1.2	Каково состояние квантовых технологий сегодня?	6
2	Направления исследований в Германии	9
2.1	Квантовые компьютеры	9
2.2	Квантовая коммуникация	10
2.3	Технология измерения на основе квантовых технологий	11
2.4	Стимулирующие технологии для квантовых систем	12
3	Инициативы федерального правительства	14
3.1	Развитие исследовательского ландшафта в области квантовых технологий	14
3.2	Создание исследовательских сетей для новых приложений	15
3.3	Повышение конкурентоспособности промышленности с помощью проектов lighthouse	20
3.4	Обеспечение безопасности и технологического суверенитета	22
3.5	Формирование международного сотрудничества	27
3.6	Вовлечение населения Германии	28
4	Планирование ресурсов	32
5	Приложение: Организации, финансирующие НИОКР, неуниверситетские исследования организации и ведомственные научно-исследовательские институты	33
5.1	Немецкий исследовательский фонд	33
5.2	Общество Макса Планка	33
5.3	Общество Фраунгофера	34
5.4	Ассоциация Гельмгольца	37
5.5	Ассоциация Лейбница	40
5.6	Национальный институт метрологии Германии (Физико-технический институт Германии, PTB)	43
5.7	Федеральное управление информационной безопасности	46
5.8	Агентство по инновациям в области кибербезопасности	47
	Официальное уведомление	49



1 Введение

1.1 Квантовые технологии - следующая революция

Мы исследуем наш современный мир и управляем им с помощью очень сложных цифровых инструментов - камер, компьютеров, сенсоров. Цифровые технологии являются фундаментальной частью нашей жизни и работы.

Однако на самом деле наш мир состоит не из единиц и нулей: он состоит из квантов. Впервые это было понято Максом Планком и Альбертом Эйнштейном в начале двадцатого века. Носители физических взаимодействий не могут быть разделены на сколь угодно малые единицы; скорее, они имеют физический "минимальный размер" - квант. Следовательно, наш мир - это квантовый мир, где правила квантовой механики применяются на атомном и субатомном уровне - странные правила, которые иногда кажутся нам нелогичными.

Если наш мир является квантовым миром, из этого следует, что мы должны уметь использовать квантовые системы, которые помогут нам лучше понимать наш мир и организовывать его более эффективно. Именно в этом суть квантовых технологий

. Что, если в будущем мы сможем сконфигурировать наш мир на совершенно новой технологической основе, используя инструменты и процедуры, неизвестные нам в настоящее время, - инструменты и процедуры, которые работают на основе правил квантовой механики?

Можем ли мы обнаружить отношения, которые в настоящее время скрыты от нас?

Можем ли мы решить задачи, которые в

настоящее время ставят нас в тупик - например, потому, что они требуют слишком много времени и вычислительных мощностей при наших нынешних подходах? Как мы могли бы использовать эти новые технологии, чтобы принести реальную пользу в нашу повседневную жизнь?".

Второе поколение

КВАНТОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

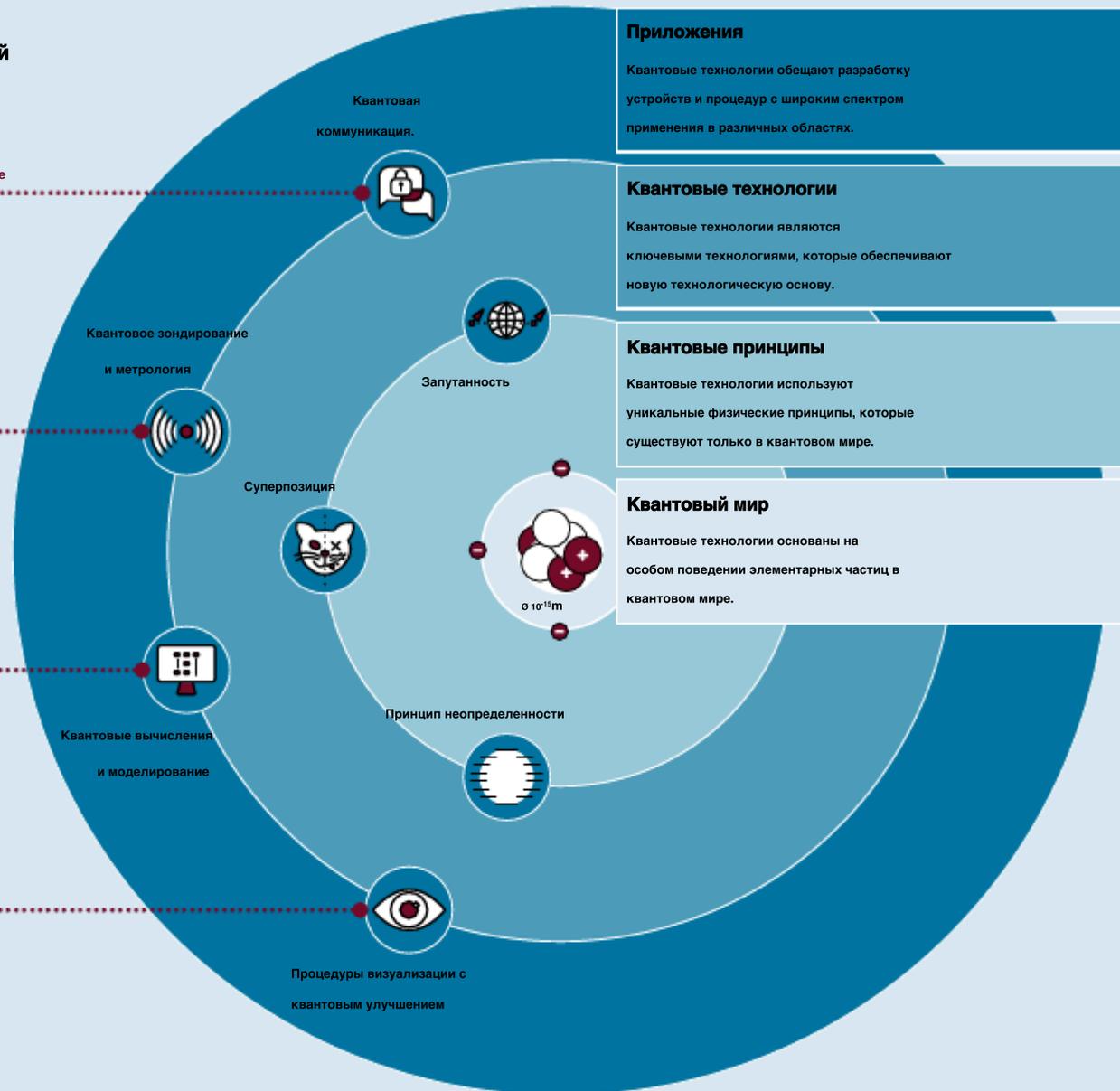
- ИТ-безопасность
- Защита данных • Зашифрованные данные
- передача

- Медицина
- технология
- Навигация • Спутник Земли
- мониторинг

- Искусственный интеллект/машина
- обучение

- Распознавание образов • Развитие материалов

- Автоматизация
- Медицинская диагностика
- Производство полупроводников



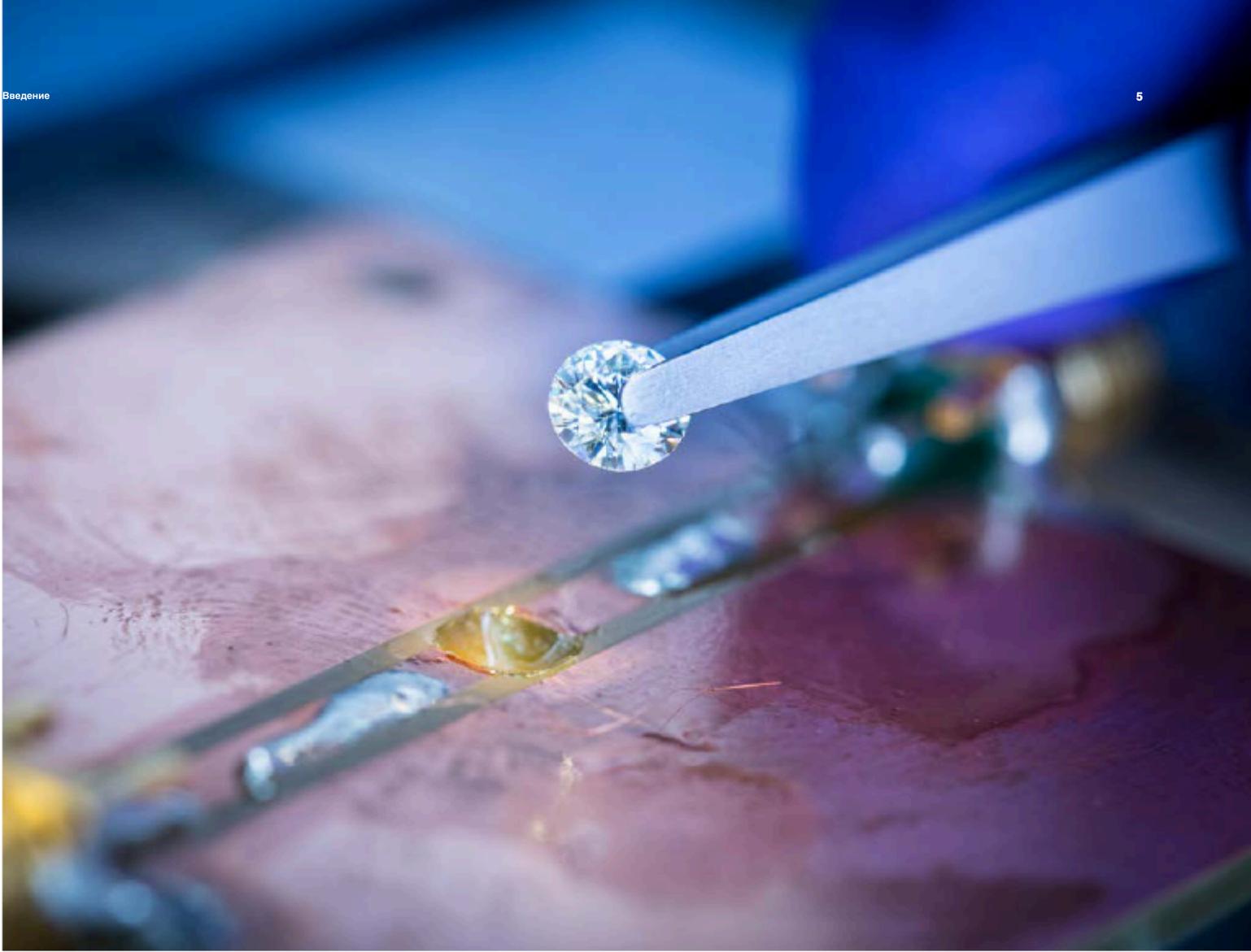
Скорость интернет-соединения зависит, среди прочего, от точности тактовых импульсов, синхронизирующих сеть. Лучшие часы в современном мире настолько точны, что их среднее отклонение составляет всего одну секунду от возраста Вселенной. Квантовая технология может быть использована для простого и надежного создания такого рода часов чрезвычайно высокой точности, чтобы их использование не ограничивалось рамками.

небольшое количество измерительных лабораторий: их можно было бы использовать для "синхронизации" наших коммуникационных сетей. Эти новые сети будут иметь гораздо более высокие скорости, что делает доступ к хорошему интернет-соединению более дешевым. То же самое относится и к навигационным системам: достаточно точные тактовые импульсы повысили бы точность настолько, чтобы мы могли, скажем, управлять строительной техникой на строительной площадке.

Наш мир - квантовый мир. Носители физических взаимодействий не могут быть разделены на сколь угодно малые единицы; скорее, они имеют физический "минимальный размер" - квант. Именно правила квантовой механики применимы на атомном и субатомном уровне - странные правила, которые иногда кажутся нам нелогичными. Однако они имеют серьезные последствия для многих сфер нашей жизни.

техника перемещается по строительной площадке.

Это всего лишь два способа, которыми квантовые технологии могли бы преобразить наш рабочий день.



В настоящее время нам требуется крупномасштабное оборудование для точного измерения магнитных полей - примером этого является оборудование для магнитоэнцефалографии (МЭГ) в больницах. Алмазные квантовые датчики могут сделать возможным создание миниатюрных устройств МЭГ, которые можно было бы использовать для мобильных приложений, таких как управление оборудованием, чтобы помочь людям с ограниченными возможностями в их повседневной жизни.

Некоторые классы проблем все еще не могут быть решены удовлетворительным образом с использованием современных методов. Например, анализ финансовых рынков или оптимизация систем поездок и дорожного движения. Ученые исследуют, можно ли решить этот тип проблем путем создания симуляций в специальных квантовых системах. Эти модели могли бы быть использованы для прогнозирования финансовых кризисов или для более эффективного управления дорожным движением. Возможно также разработать квантовые компьютеры, которые можно было бы использовать для запуска специального квантового программного обеспечения. Традиционные компьютеры привязаны к цифровым вычислительным программам, а это означает, что некоторые вычисления потребовали бы бесконечного количества времени или огромных энергетических ресурсов, или просто не могли бы быть выполнены вообще. Типичным примером является разложение больших чисел на простые, что является ключевым элементом шифрования данных. Другой пример - поиск по очень большим наборам данных.

Характеристики квантовых систем могут быть использованы для создания инновационных приложений. Например, искусственные алмазы могут быть использованы для создания очень хороших квантовых состояний для высокочувствительного измерения магнитных полей. Эти точные измерительные приборы - например, для измерения мозговых волн, - которые в настоящее время доступны только в больницах, можно было бы разработать и сделать доступными в карманном виде для личного использования.

1.2 Каков статус

квантовые технологии сегодня?

Почти все мы уже используем квантовые технологии

ежедневно: компьютеры, сети передачи данных и большинство методов медицинской визуализации не могли бы быть достигнуты без квантовых эффектов. Это связано с тем, что все компоненты, такие как транзисторы, диоды и лазеры, используют принципы квантовой физики. Германия добилась значительного успеха с этими "квантовыми технологиями первого поколения", как с научной, так и с экономической точки зрения.

Лазер является прекрасным примером этого. Начав с чисто научного явления, институты и предприятия разработали устройство, которое сегодня используется в исследованиях, для производства машин и транспортных средств, 3D-печати, измерительных технологиях, в средствах связи и во всех видах повседневных устройств. Многие высокоэффективные лазерные источники и станки производятся в Германии.

Сейчас мы выходим за рамки простого косвенного использования квантовых эффектов и работаем над непосредственным их контролем. Определенной целью федерального правительства является то, чтобы немецкие институты и компании были частью формирования этой трансформации и пионерами "второй квантовой революции". Примеры того, как можно было бы использовать "квантовые технологии второго поколения", включают создание измерительных устройств со значительно более высокой точностью, значительно улучшенную безопасность передачи данных и создание более высокопроизводительных спутников и компьютеров. Возможности этих технологий настолько велики, что они могут оказать серьезное влияние на нашу экономику и общество, а также быть чрезвычайно актуальными для политики безопасности. Международная гонка за превращением этих технологий в промышленную реальность уже началась, и мероприятия ведутся во всех ведущих странах. Несколько примеров:

- В Китае квантовые технологии представляют большой интерес с политической точки зрения и, следовательно, пользуются сильной политической поддержкой и очень хорошо финансируются. Запуск первого в мире спутника для квантового распределения ключей (QKD) в 2016 году является примером, который привлек большое внимание.
- В США институты и предприятия находятся под контролем-арендное инвестирование значительных ресурсов в продвижение разработки квантовых компьютеров. Эта деятельность частично определяется экономическими факторами

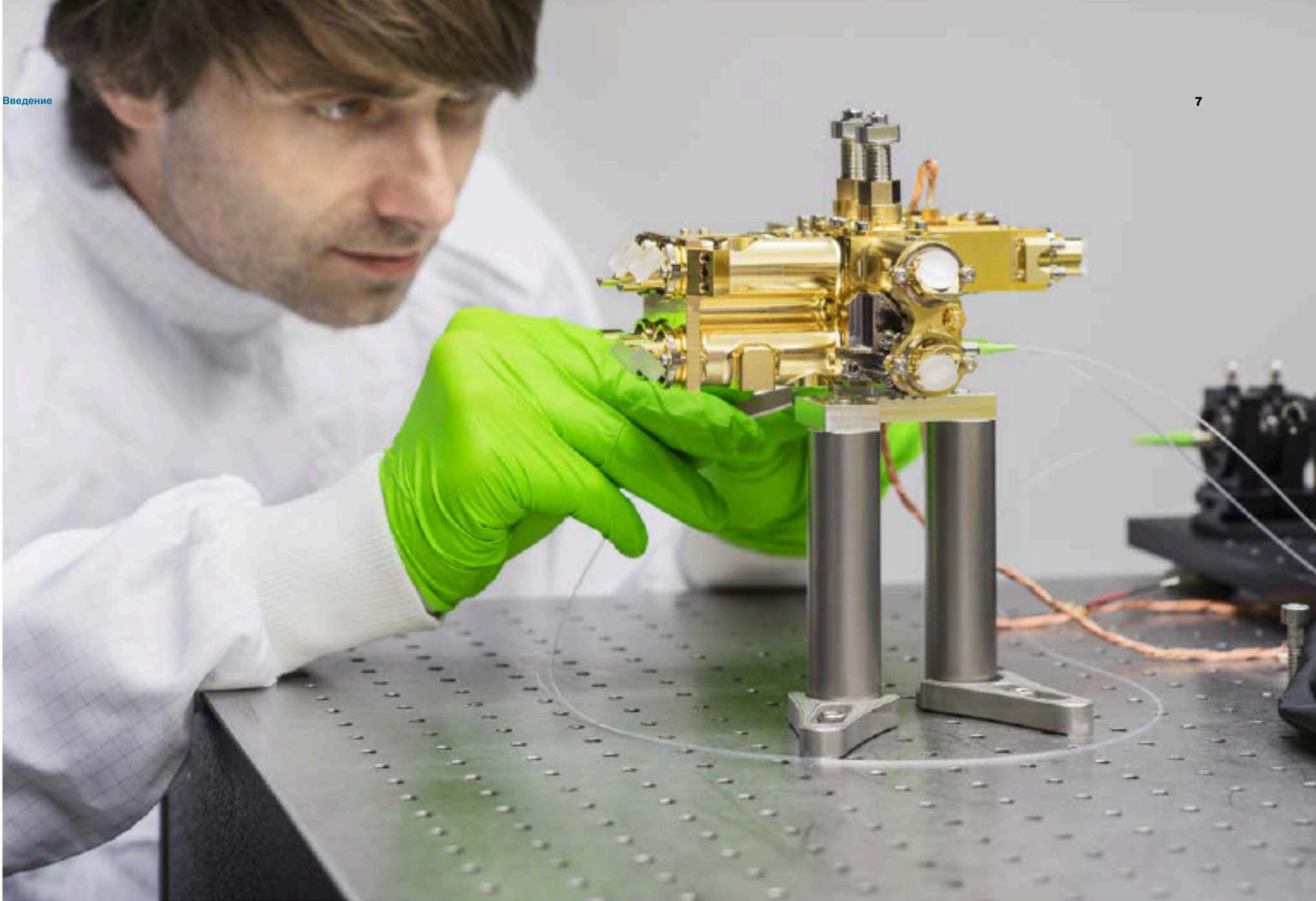
цели, но также в значительной степени военно-стратегические соображения. Япония, Сингапур

- и Канада несколько лет назад запустили свои собственные программы для исследований в области квантовых технологий и космических приложений. "Национальная программа Великобритании по квантовым технологиям" Соединенного Королевства¹ поддерживает исследования, академическую подготовку и промышленные инновации в области квантовых технологий.
- В 2016 году Европейская комиссия анонсировала "Флагманский проект FET", основанный на "Квантовом манифесте"² составлено европейскими учеными. Флагман квантовых технологий Quantum имеет четыре столпа: квантовую коммуникацию, квантовое зондирование, квантовые компьютеры и квантовые симуляторы. Руководящий комитет высокого уровня под руководством Германии был создан для разработки конкретных предложений по реализации проекта. Его окончательный отчет был опубликован в конце 2017 года.³

¹ <http://uknqt.epsrc.ac.uk/>

² Квантовый манифест: новая эра технологий, май 2016 г.;

³ <http://www.europa.eu/press-communication/infobox/quantum-technology/>; <http://ec.europa.eu/прозрачность/regexpert/index.cfm?do=groupDetail.groupDetailDoc&id=34809&no=1>



Возможности квантовых технологий настолько велики, что они могут оказать серьезное влияние на нашу экономику и общество и, более того, чрезвычайно важны для политики безопасности. На изображении показан один пример: одиночный источник фотонов для изначально безопасной передачи данных. Международная гонка за превращением этих технологий в промышленную реальность уже началась.

Германия и ЕС имеют хорошую базу для развития квантовых технологий: Европа является международным лидером в области квантовой физики, на ее долю приходится около 50% всех научных публикаций и почти 40% исследований авторов в этой области⁴, в то время как сама Германия может претендовать на сильную экспертизу в области квантовой физики, что дает ей отличные возможности стать одним из первых лидеров в области преобразования квантовых технологий второго поколения в прикладные программы и помогает формировать их международное развитие. Нынешнее положение Германии является частично результатом общих исследований и научной политики федерального правительства и штатов, поддерживаемых организациями, финансирующими НИОКР, неуниверситетскими

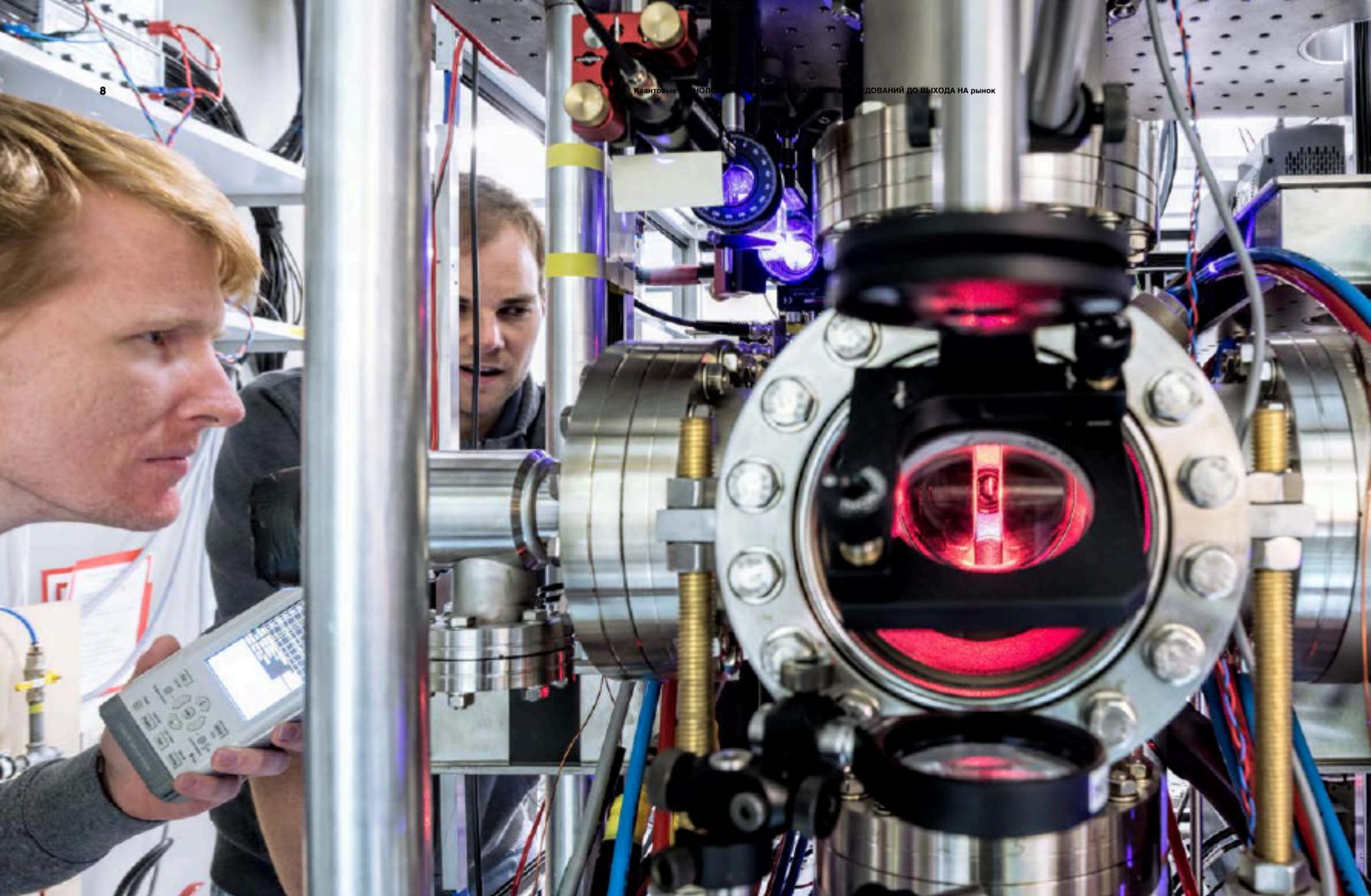
исследовательские организации и ведомственные исследовательские институты. Эти организации и институты - Немецкий исследовательский фонд, Общество Макса Планка, Ассоциация Гельмгольца, Общество Фраунгофера и Ассоциация Лейбница - уже много лет работают над фундаментальной наукой, закладывая основы для технического использования квантовых физических эффектов и систем. Их работа применима как к национальной сфере, так и к международному научному сотрудничеству. Де-партаментально научно-исследовательских институтов обеспечить конкретное сотрудничество для проведения исследований в областях, где общественные функции не влияют. В приложении к настоящему документу приводится подробная информация о сферах деятельности, связанных с каждой из организаций, финансирующих НИОКР, неуниверситетских исследовательских организаций и ведомственных научно-исследовательских институтов. Немецкие исследования и промышленность также находятся в выгодном положении с точки зрения других ключевых технологиях, необходимых для создания квантовых приложений, таких как микроэлектроника, нанотехнологии и сверхпроводники. Превосходная исследовательская и технологическая инфраструктура Германии с ее тесными связями с крупными, средними и малыми предприятиями представляет собой сильное конкурентное преимущество.

Федеральное правительство обеспечит политическую поддержку и руководство для перехода от научных исследований в области квантовой физики к новым приложениям, основанным на квантовых технологиях. Целями федерального правительства в рамках текущей федеральной программы являются:

- Укрепить сильные позиции Германии в области квантовой

физические исследования и создание условий для приложений с использованием квантовых технологий.

⁴ Согласно исследованию, проведенному по поручению Европейской комиссии, 2455 авторов публикаций по квантовой физике в период 2013-2015 годов были выходцами из ЕС, в то время как из Китая их было 1 913 и 1 564 из Северной Америки. Флагман квантовых технологий Итоговый отчет, стр. 3; Источник: см. Сноску 3



- Создать рамочные условия для подготовки к новым экономическим возможностям и рынкам
- Создать прочную основу для ведущей роли в промышленном использовании квантовых технологий
- Работать с нашими международными партнерами над обеспечением безопасности и автономии Германии и Европы в этой важной будущей области
- Информировать население Германии и вовлечь его в путь к новой ключевой технологии

Германия занимает прочные позиции в области квантовых технологий, располагая значительным опытом в исследовательском сообществе, особенно в области квантовой физики. Немецкие исследования и промышленность также занимают конкурентоспособные позиции на международном уровне с точки зрения ключевых технологий (микроэлектроника, троника, нанотехнологии и сверхпроводники) для создания приложений квантовых технологий.

Федеральная программа описывает начальную ситуацию и перечисляет цели и конкретные инициативы на период до 2022 года. Они включают, с одной стороны, создание немецких научно-исследовательских институтов, улучшение связей с предприятиями и разработку новых технологий для государственных функций, а с другой стороны, информирование и вовлечение общественности в вопросы, связанные с квантовыми технологиями. Федеральное правительство позаботится о том, чтобы больше людей могли понять потенциал квантовых технологий, обсуждать проблемы и принимать решения о том, что эти возможности означают для них - с точки зрения образования, рабочего места и их собственных целей. Федеральное правительство выделило в общей сложности 650 миллионов евро в течение этого законодательного периода на исследования в области квантовых технологий. Он будет постоянно отслеживать развитие событий в этой области, пересматривать свои инициативы и соответствующим образом их адаптировать.

2 Направления исследований в Германии

Федеральное правительство начало подготовку к программе, включив в нее комплексный программный процесс с участием промышленности и научно-исследовательских институтов. В ходе процесса был задокументирован текущий статус исследований, определены задачи для исследований и разработок (R & D) и оценены потенциальные области применения. Результаты представлены с помощью экспертных работ из двух сфер: науки⁵ и промышленности⁶. Были определены следующие области развития квантовых технологий.:

2.1 Квантовые компьютеры

Квантовые компьютеры основаны на совершенно иных принципах, чем традиционные цифровые компьютеры. В отличие от битов цифрового компьютера, мельчайшие вычислительные единицы в квантовом компьютере, называемые квантовыми битами или "кубитами", способны взаимодействовать друг с другом на основе специальных законов квантовой механики и, следовательно, принимать значительно более сложное общее состояние. Мы называем это явление "запутанностью". Это взаимодействие между кубитами с образованием запутанного состояния является уникальной характеристикой квантовых компьютеров. Множество задач, которые не могут быть удовлетворительно решены с помощью цифровых компьютеров, имеют большое количество взаимовлияющих условий, которые должны быть включены в комплекс

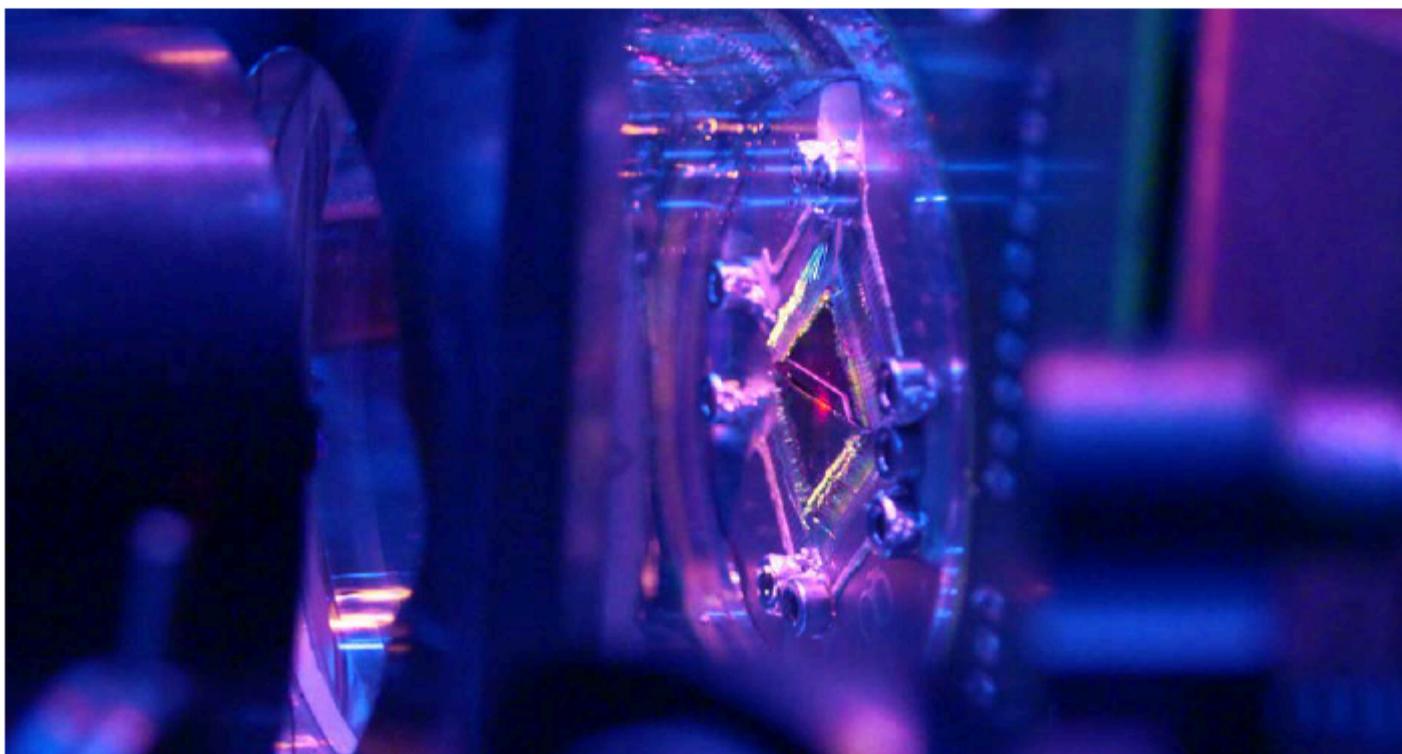
вычисления. Примеры включают выполнение быстрого поиска в огромных объемах данных или оптимизацию крупных логистических систем, таких как транспортные сети или расписания. Если нам удастся сконфигурировать квантовые состояния запутанности в квантовом компьютере так, чтобы они соответствовали одной из этих задач, квантовый компьютер мог бы тогда решить задачу намного быстрее, чем это может сделать традиционный цифровой компьютер. В дополнение к универсально программируемым компьютерам квантовые симуляторы могут также использоваться для практических квантовых явлений, например, в области химии или фармации. Хотя они менее гибки, чем универсальный компьютер, и подходят только для определенных классов задач, эти симуляторы могут принести пользу для конкретных приложений значительно раньше.

Создание квантовых компьютеров и симуляторов сопряжено с невероятными трудностями. Квантовый феномен запутанности кубитов чрезвычайно сложен.

Квантовый компьютер можно рассматривать как самую далеко идущую инновацию, которую может предложить квантовая технология. Уникальные принципы работы квантовых компьютеров означают, что они обладают потенциалом для решения задач, с которыми традиционные компьютеры не могут справиться достаточно эффективно. Существуют различные способы, с помощью которых можно реализовать необходимые "квантовые биты". Например, на рисунке показано решение, использующее отдельные атомы в ловушках частиц.

5 Концептуальный документ Национальной инициативы по квантовым технологиям - от основ к приложениям (QUTEQA) - gies (National Initiative for Quantum Technologies - Fundamentals to Applications), <http://www.quteqa.de/en/главная/>

6 Поддержка квантовых технологий - документ с изложением позиции немецкой промышленности http://www.photonikforschung.de/media/quantentechnologien/pdf/Quantentechnologie_bf.pdf



чувствителен к воздействиям окружающей среды, что означает, что эти запутанные состояния обычно разрушаются очень быстро. Реализация типичного примера применения взлома современных криптографических процессов с открытым ключом потребовала бы квантовых компьютеров со многими тысячами кубитов. Поэтому непосредственное внимание уделяется первоначальным приложениям, которые могут быть обработаны с использованием всего нескольких сотен кубитов.

Путь к созданию квантовых компьютеров

также включает в себя разработку специальных алгоритмов - это

так же важно, как и разработка аппаратного обеспечения. Для исследования квантовых алгоритмов нет

необходимости в существовании квантовых компьютеров, поскольку алгоритмы могут быть смоделированы,

по крайней мере до определенной степени (и до определенного размера), с помощью обычных цифровых компьютеров.

Фактически, есть еще одна причина, по которой моделирование важно: в настоящее время все еще

обсуждаются очень разные аппаратные платформы и

архитектуры для квантовых компьютеров, и необходимо проанализировать и сравнить их преимущества или недостатки для квантовых

алгоритмов, использующих традиционные компьютеры.

2.2 Квантовая коммуникация

Квантовая коммуникация использует запутанные квантовые состояния для обмена ключами при передаче данных. Запутанные квантовые объекты, например фотоны, отправляются в два физически удаленных друг от друга места. Путем измерения специфических характеристик двух фотонов в двух разных местах,

можно определить, был ли уже измерен один из двух фотонов. Если да, то соединение было перехвачено. Причина, по которой мы знаем это, заключается в том, что неизвестные квантовые состояния не могут быть скопированы или измерены без их нарушения. Нарушения в квантовых состояниях неизбежно обнаруживаются как ошибки передачи, что разоблачает атаку подслушивания.

В практической коммуникации эта технология используется

для обмена ключами. С помощью квантовой криптографии или квантового распределения ключей (QKD) генерируется ключ для

некоторой секретной информации на основе индивидуальных количественных состояний. Это означает, что безопасность

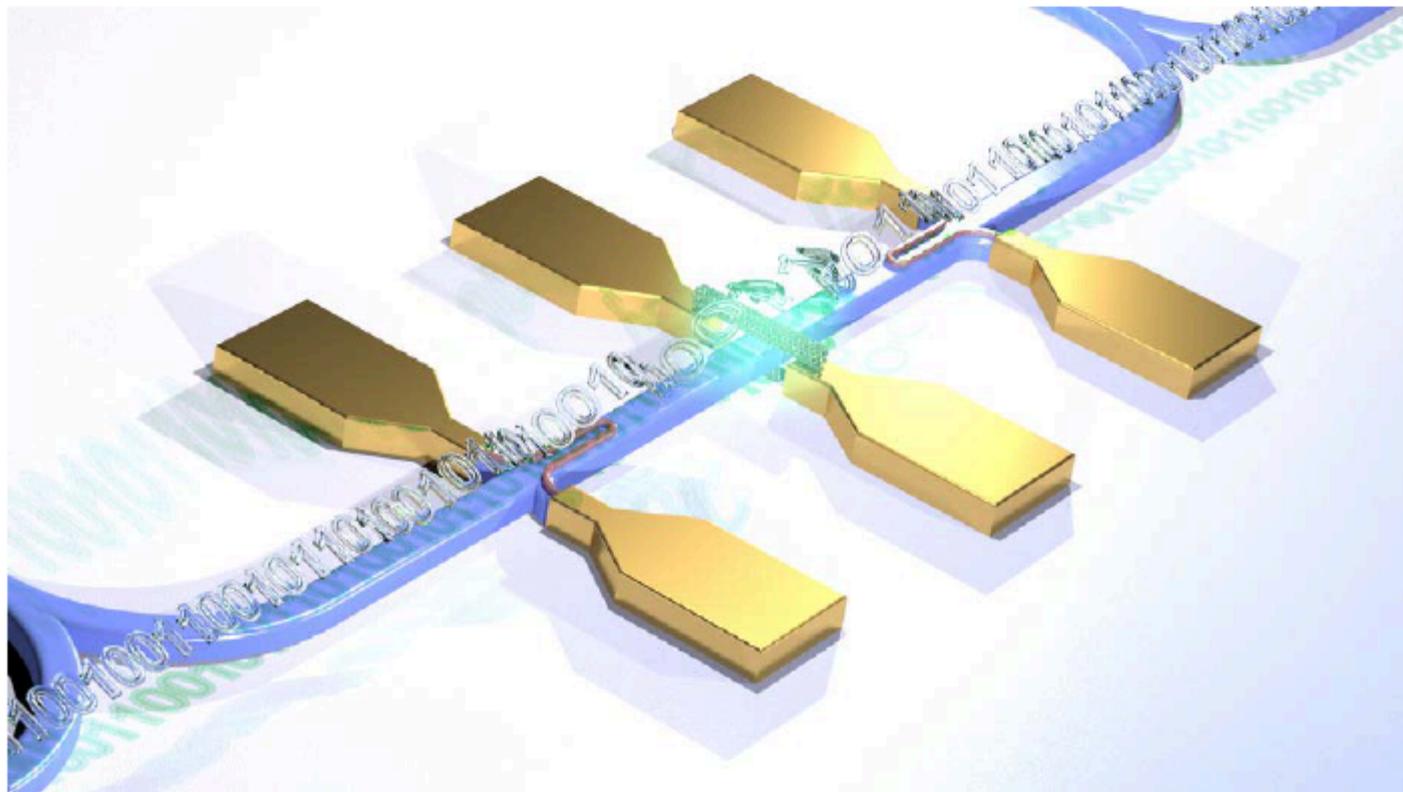
теперь основана на физическом законе природы, а не на

математических предположениях, которые применимы к криптографическим

процессам, широко используемым в настоящее время. Другими словами, теперь стало возможным устанавливать каналы связи,

безопасность которых основана на физике, а не только на

Квантовая коммуникация - это обмен квантовыми состояниями - между очень короткими расстояниями на одном чипе, как показано на изображении, или на большие расстояния по маршрутам связи, простирающимся на сотни километров. Это отличается от связи с использованием традиционных криптографических процессов тем, что передаваемые данные защищены на основе физического закона природы, а не на основе математического принципа.



математические вычисления. Однако существуют значительные устранимые технические проблемы, связанные с передачей данных, поскольку квантовые состояния очень хрупки.

Устройства QKD были коммерчески доступны для определенных нишевых рынков в течение некоторого времени. Типичными клиентами в настоящее время являются банки или правительства. Подавляющее большинство подходов к квантовому обмену ключами основаны на обмене фотонами по оптическим волокнам. Однако при текущем уровне техники возможно создавать приложения, основанные на двухточечных соединениях, только на расстояниях менее 100 километров. Космическая лазерная связь представляет собой способ преодоления проблем, связанных с разрушительными атмосферными воздействиями, и в этой области уже достигнут значительный прогресс в ходе испытаний в реальных условиях.⁷ Лазерные коммуникационные технологии с использованием квантовой криптографии были успешно испытаны летающий объект под атмосферными условиями, в далеком 2015 году.⁸ Все еще остается ряд открытых технологических вопросов о реализации на значительно больших расстояниях и создании конкретных приложений, поскольку слабые световые сигналы от квантовой связи не могут быть обработаны с помощью обычных усилителей. Однако интеграция космического квантового распределения ключей может оказаться полезной при развитии межконтинентальных связей.

Как только появится первый квантовый компьютер, это повлечет за собой серьезные последствия для безопасности данных. Они не будут ограничены коммуникационными отношениями, активными в то время, поскольку также станет возможным расшифровка записанных сообщений более ранних дат. Если учесть, что криптографическая защита часто настраивается на длительный срок службы - например, на спутниковых компьютерах, - становится ясно, что нам нужно работать **теперь** о процессах шифрования, которые защищены от атак со стороны квантовых компьютеров. Подходы к "постквантовой криптографии" в настоящее время изучаются параллельно с исследованиями в области квантовых коммуникаций.⁹

2.3 Основанные на квантах технология измерения

В то время как хрупкость квантовых состояний и систем создает огромные проблемы для разработки работоспособных технологий квантовых компьютеров и квантовых коммуникаций, именно эта хрупкость таит в себе огромные возможности для измерительных технологий - уязвимость к воздействиям окружающей среды есть не что иное, как высокая чувствительность к измерениям. Тщательно сконструированные квантовые системы могут быть использованы для чрезвычайно высокой точностью измерения физических величин, таких как давление, температура, положение, время, скорость, Ускорения, электрические и магнитные поля или гравитационные.

Атомные часы, основанные на квантовых состояниях атомов, уже десятилетиями используются в качестве отсчета времени для точных измерений, например, как часть европейской навигационной системы Galileo или глобальной системы позиционирования (GPS) для навигации. Квантовые гравиметры, основанные на интерферометрии холодных атомов, способны обнаруживать даже мельчайшие изменения в гравитационном поле Земли, вызванные различным составом материала, расположенным в земной коре. Одним из возможных применений таких сверхточных гравиметров является обнаружение природных ресурсов. Миниатюризация и значительное снижение затрат может быть на горизонте благодаря новым квантовым датчикам, которая может принимать и сохранять их Квантовое состояние даже при комнатной температуре.

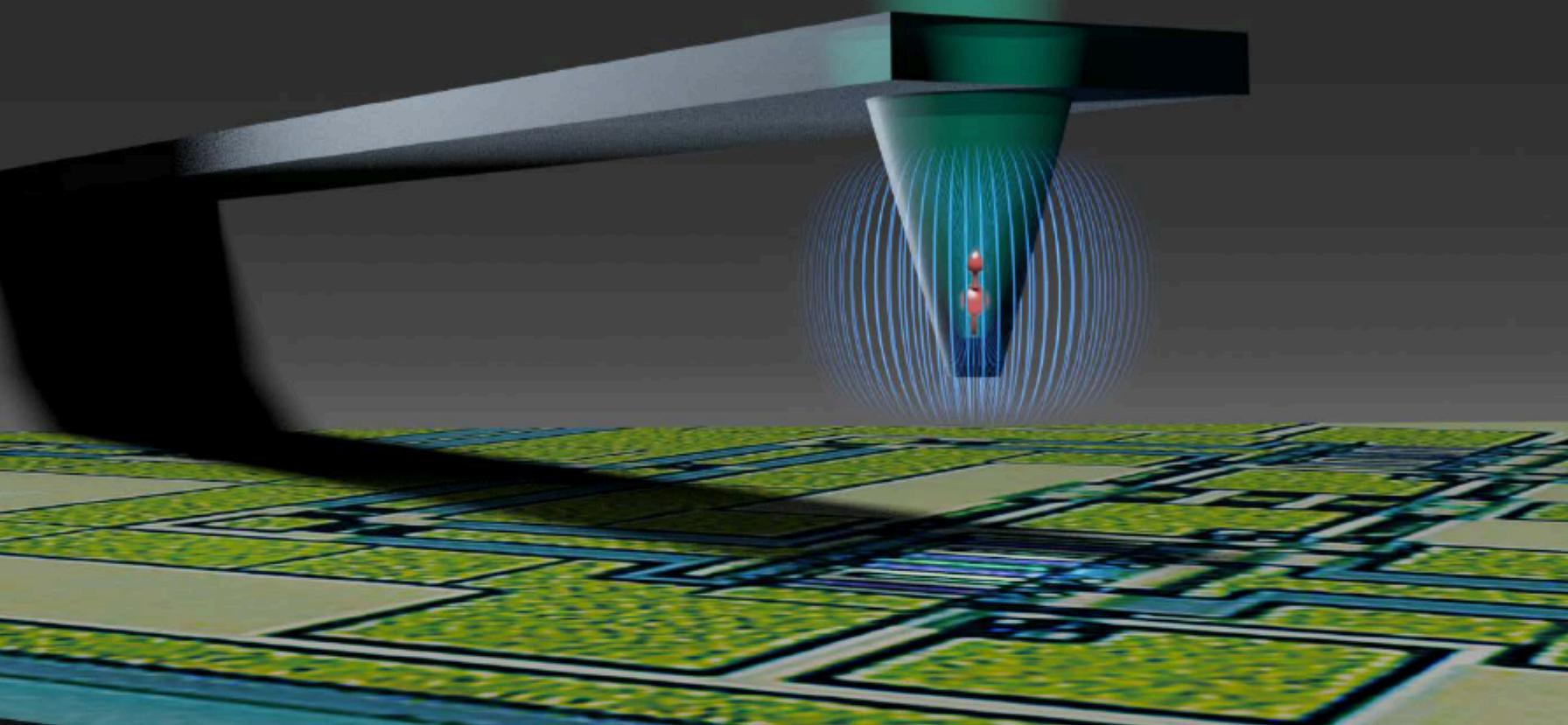
Другой областью применения квантовых явлений является оптическая визуализация (quantum enhanced imaging): квантово-механические процессы могут быть использованы для получения, например, значительно более высоких оптических разрешений, чем это может быть достигнуто с помощью традиционных процессов. Квантовая литография использует тот же принцип для создания крошечных структур.

Экономический потенциал квантовых основе измерений Инг технологии в настоящее время в думе лежит в защите технологии, промышленная точность измерений, медицинской диагностики, мониторинга Земли, геологии и обнаружения минеральных отложений и оборудованием (особенно спутниковой навигации по воздушным, морским, железнодорожным и автомобильным транспортом в кон- Джанкшн с помощью, например, автономное вождение или GPS/Галилео- приложений).

⁷ https://www.dlr.de/dlr/desktopdefault.aspx/tabid-10081/151_read-19914/#/галерея/24870

⁸ https://www.dlr.de/dlr/desktopdefault.aspx/tabid-10122/333_read-15527/год-2015/#/галерея/20972

⁹ В рамках рамочной программы исследований в области ИТ-безопасности, "Автономность и безопасность в цифровом мире", BMBF рассматривает постквантовую криптографию как область исследований: <https://www.bmbf.de/de/sicher-in-der-digitalen-welt-849.html>



В долгосрочной перспективе мы можем ожидать, что по мере того, как технология измерений, основанная на квантах, становится все меньше и становится все более интегрированной, она будет использоваться в большом количестве сложных приложений для других профессиональных областей и для потребителей.

2.4 Стимулирующие технологии для КВАНТОВЫХ СИСТЕМ

Квантовые компьютеры, квантовые коммуникации и основанные на квантах измерительные технологии обладают значительным техническим и экономическим потенциалом, хотя и не полностью развиты. Интересный рынок высоких технологий фактически уже сложился в результате значительных инвестиций в соответствующие исследовательские лаборатории и проекты. От 100 до 150 млн евро вложено в настоящее время в Германии ежегодно на лабораторном оборудовании в

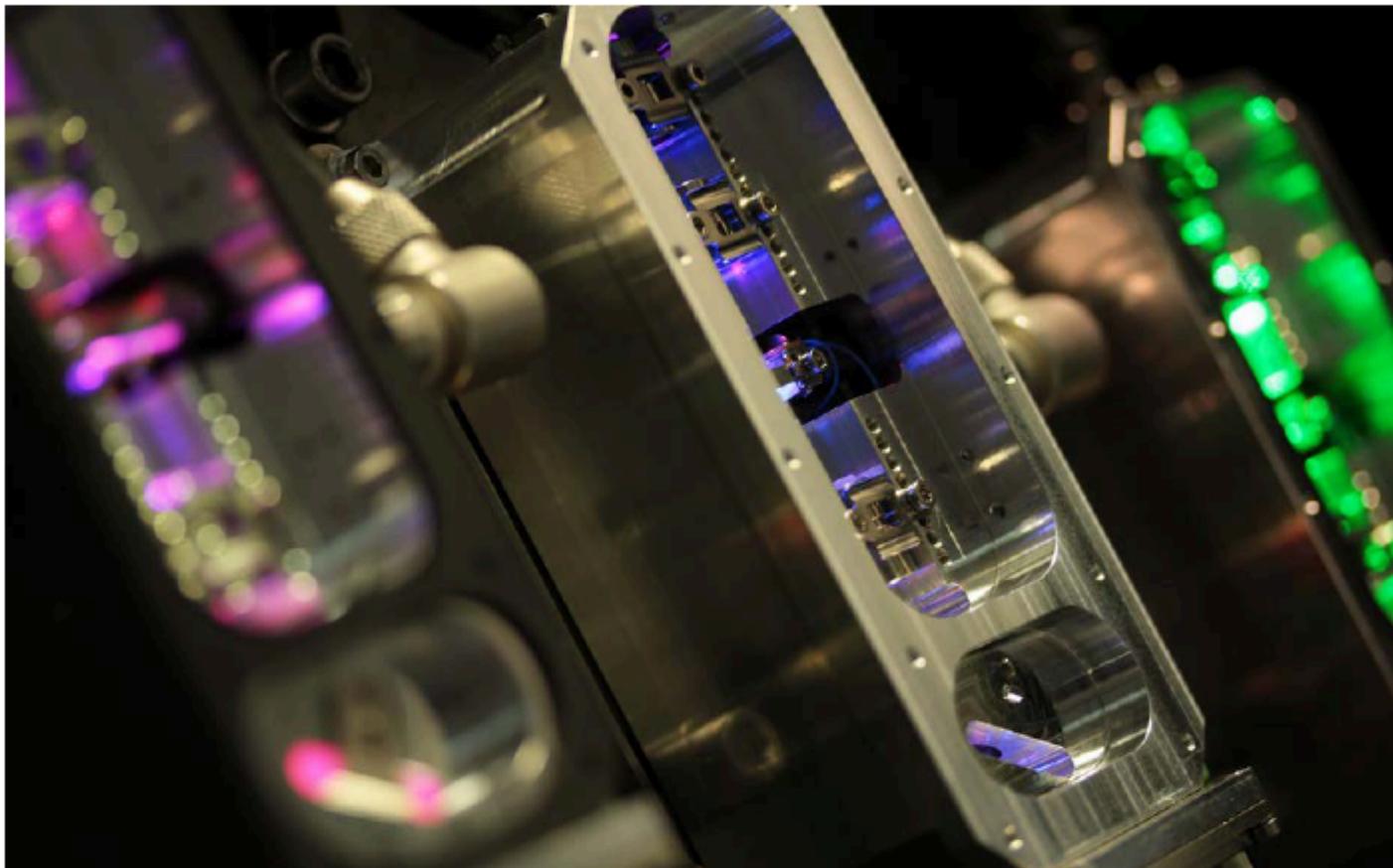
Тщательно сконструированные квантовые системы могли измерять физические величины, такие как давление, температура, положение, время, скорость, ускорение, электрические и магнитные поля или гравитацию, с точностью, которая на сегодняшний день была немислима. Это достигается за счет использования особой чувствительности квантово-механических состояний. Зонд, показанный на изображении, использует алмазный датчик для измерения магнитного поля.

квантовое поле технологий.¹⁰

Страна видела

в последние годы возник ряд малых и средних предприятий, в первую очередь благодаря проводимым в университетах фундаментальным исследованиям, ориентированным на этот специализированный международный рынок и в основном предлагающим высокоспециализированное мелкосерийное производство. В рамках этой программы быстрый рост международных исследований

¹⁰ Поддерживающих квантовые технологии - документ с изложением позиции немецкой промышленности, стр. 5, 7, 17; Источник: см. , сноску 6



Важным шагом на пути к практическому применению квантовых технологий является переход от лабораторных установок для проведения ораторских выступлений к надежному оборудованию. Лазерный модуль, показанный на изображении, заменяет ряд отдельных оптических компонентов. Прежде чем мы сможем создавать надежные технические системы (небольшие, эффективные и компактные) в промышленном масштабе, важно, чтобы мы могли справиться со сложностью квантового измерения или квантового компьютера.

приложения в области квантовых технологий, и ожидаемое использование квантовых технологий в спутниках, мы можем ожидать значительного роста спроса на подходящие устройства и системы в ближайшие годы.

Ключевым элементом этого станет переход от лабораторных устройств к надежному и экономичному производству. Первые шаги на этом пути уже маячат на горизонте. Вместе с quantum

технологии, технические системы потребуют промышленных инженерных решений, поскольку они должны стать меньше, эффективнее, компактнее и, следовательно, более надежными. Эта область "стимулирующих технологий" представляет собой технологическую основу для исследований и разработки отдельных квантовых технологий. Мы также можем предположить, что - как и для других технологических рынков, которые возникли в прошлом, - это будет область, где начнут появляться первые стандарты для квантовых технологий.

Из приведенного выше описания текущих разработок в различных областях квантовых технологий ясно, что прорывы в квантовых технологиях могут иметь значительные последствия для многих сфер нашей жизни, подобно тому, как спутниковые технологии имели место в конце шестидесятых или цифровизация в девяностых. Поэтому разработка действующих квантовых технологий важна для исследований, экономики и политики безопасности.

3 Инициативы федерального правительства

Федеральное министерство образования и исследований (BMBWF), Федеральное министерство экономики и энергетики (BMWi),

Федеральное министерство внутренних дел, строительства и общественных отношений (BMI) и Федеральное министерство обороны

(BMVg) - все они вносят свой вклад в развитие квантовых технологий в Германии в рамках своих соответствующих функций.

Рамочная программа Федерального правительства объединяет эти вклады в интегрированную стратегию. Разработка стратегии

и индивидуальные инициативы координируются через регулярные ведомственные каналы на уровне министров. В

то же время программа будет стремиться соответствовать инициативе BMWi по передаче технологий, которая направлена на

поддержку передачи технологий с использованием устоявшихся и новых инструментов.

3.1 Разработка quantum

технологический исследовательский ландшафт

Германия является отличной отправной точкой для фундаментальных

исследований в области квантовой физики. Широкий спектр

исследований в этой области, проводимых

федеральными университетами, неуниверситетскими исследовательскими

организациями, ведомственными научно-исследовательскими институтами,

и рыночными исследованиями, проводимыми предприятиями

, формирует отличную основу для квантовых технологий. В

приложении к настоящему документу организации, финансирующие НИОКР, неуниверситетские

исследовательские организации и ведомственные научно-исследовательские институты

предоставляют подробную информацию о своей текущей исследовательской работе и стратегиях

в области квантовых технологий.....

Для дальнейшего развития квантовых технологий и

создания необходимых структурных условий

эксперты от науки и промышленности определили

следующую необходимость действий:

"Исследования в области квантовых технологий

проводятся на международном уровне во многих

различных объектах по всей Германии. Это

географическое разнообразие, безусловно, можно считать

сильной стороной немецкого исследовательского

ландшафта. [...] В то же время, однако, иногда

наблюдается значительный дефицит координации:

синергетические эффекты часто используются недостаточно. Мы

должны работать над структурными улучшениями

, чтобы установить перекрестные связи и объединить

компетенции".¹¹

Это означает: расширение международного исследовательского

потенциала, с большим упором на приложения, приведены

, требуемого в Германии. Правовая база конституции Германии,

которая сочетает в себе принципы научной свободы и федеральной системы,

предусматривает, что необходимые решения должны приниматься в

условиях конкуренции и на основе экспертных критериев....."

Федеральное правительство поручит соответствующим

неуниверситетским исследовательским организациям и департаментским

исследовательским институтам разработать от его имени

предложения по реструктуризации с целью уделения

большого внимания прикладным исследованиям в области квантовых

технологий. Целью исследований с основным государственным

финансированием является увеличение поддержки совместных

научно-исследовательских проектов, исследующих темы квантовой физики, имеющие особое

значение для приложений. Поэтому основное внимание будет уделяться проектам,

которые имеют перспективы технического применения выше среднего,

особенно когда шаг от исследования к

применению делается впервые. Это должно

выходить далеко за рамки простой демонстрации технической возможности.

Следовательно, исследовательские проекты должны включать

конкретные приложения и вовлекать пользователей с ранней

стадии, например, в совместные научно-исследовательские проекты между

наукой и промышленностью или с привлечением государственных пользователей.

Также важно установить юридические условия (патентные

права и т.д.) Для любого потенциального коммерческого или промышленного

использования. Текущий набор исследовательских тем для

новых квантовых технологий¹² этот список следует рассматривать не как

исчерпывающий, а как постоянно растущий.

Ключевыми показателями для принятия важнейших структурных

решений, которые неуниверситетским исследовательским

организациям и их институтам предстоит принять в ближайшие годы,

будут успехи в исследованиях и приобретение сторонних фондов,

наряду с критериями конкурентоспособности, такими как привлечение

квалифицированных молодых исследователей, международное

сотрудничество, кооперация с предприятиями или выделение

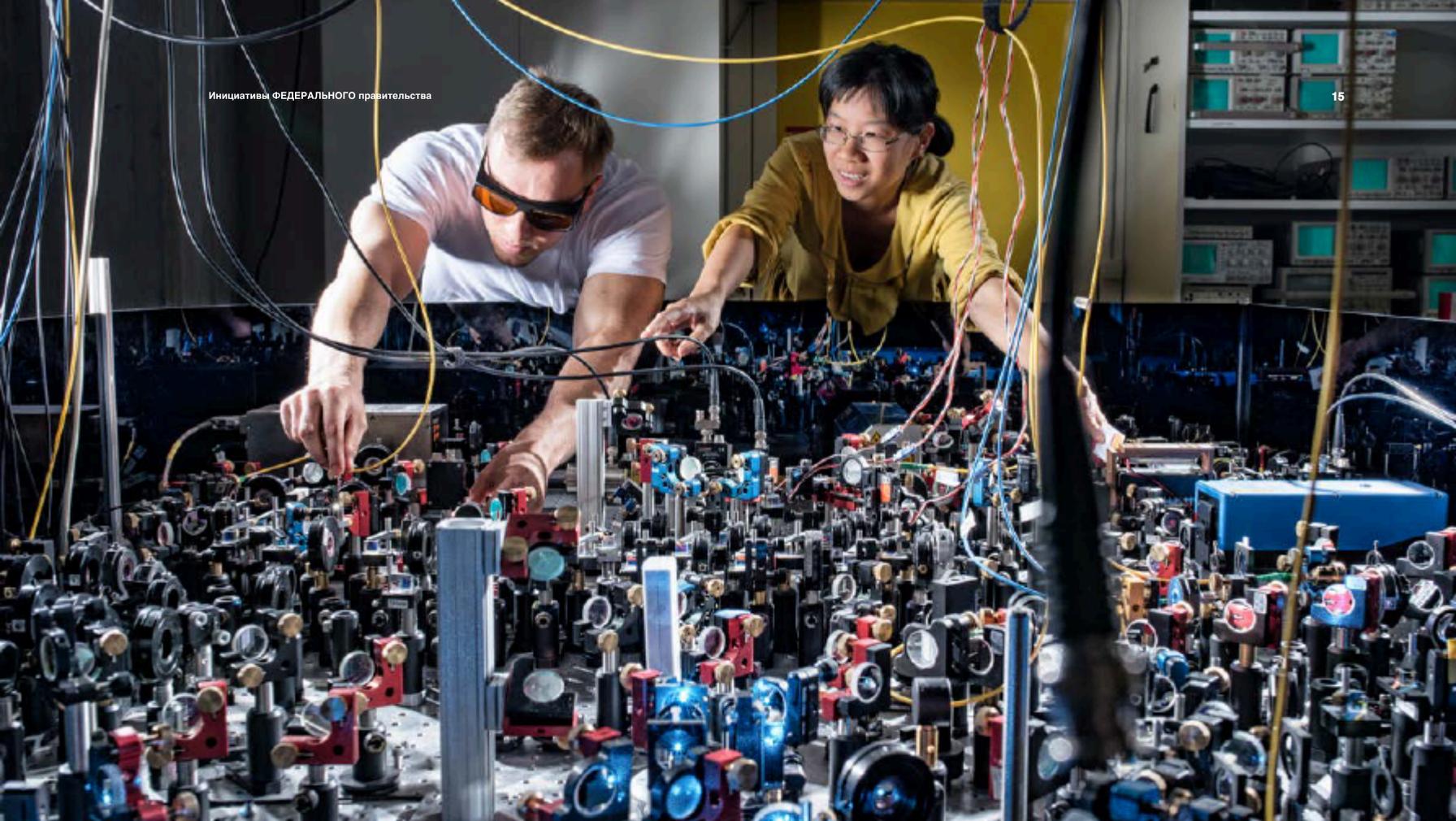
дополнительных средств. Независимо от этих структурных изменений

¹¹ (Переведено с) Концептуального документа Национальной инициативы по

Квантовым технологиям - от основ к приложениям (QUTEGA),

стр. 35; Источник: см. Сноску 5

¹² См. Раздел 2 настоящего документа



Исследовательский ландшафт Германии в области фундаментальных исследований в области квантовых технологий занимает весьма видное место на международном уровне. Сейчас важно переключить внимание на приложения и маркетинг. Это означает установление связей между базовым повторным поиском, проводимым в академических кругах, и промышленными исследованиями, чтобы результаты, которые созрели для передачи в приложения, не застаивались на лабораторной стадии. Исследовательское сообщество должно продолжать свою структурированную эволюцию, оставаясь открытым для непредвиденных научных разработок.

в рамках конкуренции ведомственные исследовательские институты продолжают выполнять свои конкретные задачи по повторному поиску в рамках своих ведомственных мандатов.

3.2 Создание исследовательских сетей для новых приложений

Квантовые технологии, конечно, в значительной степени являются областью научных исследований. Тем не менее, может произойти прямой переход от фундаментальных исследований к промышленным применениям, например, в области высокоточного определения места и времени. Из-за высокой промышленной значимости этих приложений федеральное правительство будет поощрять прикладные исследования, охватывающие все этапы, вплоть до инженерных вопросов. Федеральное правительство хочет играть свою

роль в участии в расширении поддержки научных подходов к исследованию квантовых технологий с помощью предпринимательских стратегий. Он разрабатывает различные инициативы для содействия этому процессу:

Исследовательский портал по квантовым технологиям

Все большее число предприятий в различных секторах проявляют интерес к квантовым технологиям. Они собирают целенаправленную информацию по данному вопросу и оценивают ее с точки зрения своих собственных стратегий и возможностей. Кроме того, промышленный мир уже начинает проявлять интерес к квантовым приложениям. Между тем, немецкое научное сообщество обладает компетенцией систематически тестировать и сравнивать различные подходы, продукты и процедуры в области квантовых технологий, основанные на текущем уровне развития международных национальных исследований; исходя из этих результатов, оно может предлагать нейтральные консультационные услуги заинтересованным предприятиям. Эта способность должна быть раскрыта таким образом, чтобы она была заметна и доступна для промышленности. Отчасти это связано с накоплением научного опыта, но также означает накопление целевых знаний о конкретных прикладных вопросах для отдельных отраслей.

Федеральное правительство внесет свой вклад, предоставив обзор ("Кто есть кто") немецкого научного мира квантовых технологий, который будет опубликован на онлайн-портале, где его можно будет использовать для поиска контактов и установления первоначального контакта. После того, как партнеры установят контакт с помощью поиска, они смогут пообщаться в частном порядке, чтобы договориться о конкретных консультационных услугах.

Совместные научно-исследовательские проекты под руководством предприятий в потенциальных областях применения

Области метрологии и связи сочетаются с различными ключевыми технологиями, образуя основу для квантовых приложений; эти области уже очень хорошо представлены в Германии. Федеральное правительство будет продолжать управлять этими областями вперед; первый применение в этих областях могли появиться в сравнительно короткий срок.

С 2011 года BMBF поддерживает широкий спектр совместных научно-исследовательских проектов в области квантовой коммуникации.¹³ В целом, совместные проекты

¹³ Например, в Q.com совместном проекте: <https://www.forschung-itsicherheit-kommunikationssysteme.de/projekte/q.com>

Возможности, которые квантовые технологии могут предложить немецкой промышленности, должны быть использованы быстро и эффективно. С этой целью в тесном сотрудничестве с наукой и промышленностью были выдвинуты инициативы, которые направлены на то, чтобы избежать ограничений, связанных с ограниченными точками зрения. Например, пилотный проект "BrainQSens", в рамках которого упрощенные высокочувствительные магнитные датчики облегчают улучшенную медицинскую диагностику при исследованиях мозга. В долгосрочной перспективе это также обеспечит новые, более простые способы управления протезами и даже техническими устройствами как частью повседневной жизни.

охватывающий более 70 подпроектов в этой области, был одобрен BMBF. В 2017 году впервые появилась возможность включить возможный сценарий подачи заявки, предполагающий участие предприятия в запросе предложений¹⁴. Сценарий предусматривал разработку систем, которые можно было бы использовать для безопасного обмена информацией (без подслушивания) по оптическим волокнам на большие расстояния. Первые процессоры обработки квантовых сигналов, или "квантовые повторители", в настоящее время разрабатываются в рамках проекта "Расширение квантовой связи" (Q.Link.X)¹⁵, запущенный в 2018 году с целью передачи квантовых сигналов на расстояние более 100 километров с помощью обычной волоконной оптики.

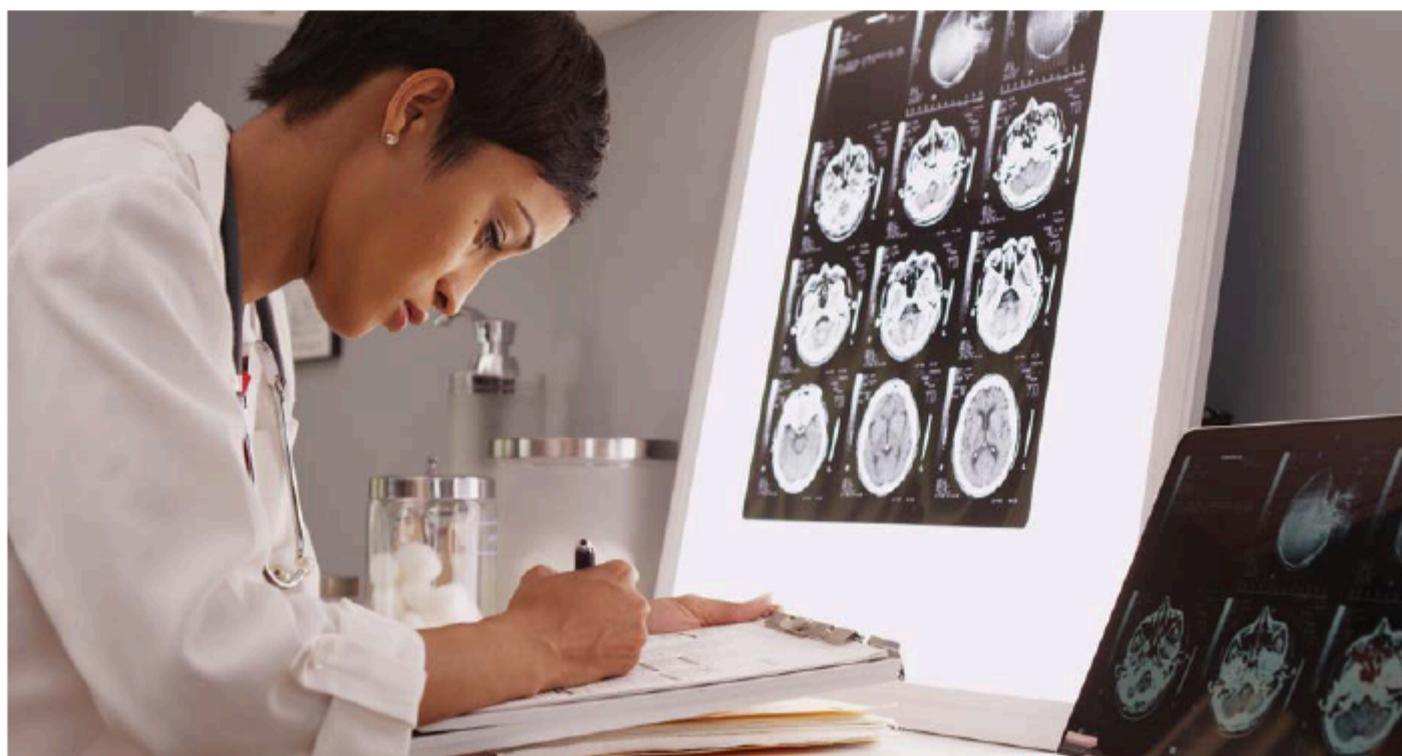
Фонд BMBF начал новый этап финансирования в 2017 году с трех пилотных проектов и еще трех конкурсов предложений. Это совместные проекты науки и промышленности в области квантовой метрологии, связи и ключевых технологий: • Пилотный проект "BrainQSens"¹⁶: благодаря этому сотрудничеству-

проект с участием промышленных предприятий, запущенный в 2017 году, BMBF финансирует разработку прототипа квантового датчика на основе алмазов. Датчик сможет очень точно измерять магнитные поля нейронов - аналогично тому, как работает МЭГ, но гораздо компактнее и точнее.

¹⁴ <https://www.forschung-itsicherheit-kommunikationssysteme.de/foerderung/bekanntmachungen/quantenkommunikation>

¹⁵ <https://www.forschung-itsicherheit-kommunikationssysteme.de/projekt/q-link.x>

¹⁶ <https://www.photonikforschung.de/projekte/quantentechnologien/projekt/brainqsens.html>



- Пилотный проект "Opticlock"¹⁷ : в рамках пилотного проекта проект "Оптические одноионные часы для пользователей", Национальный институт метрологии Германии (Physikalisch-Technische Bundesanstalt) с 2017 года работает совместно с промышленными предприятиями над исследованием и разработкой демонстратора компактных, надежных оптических часов, которые можно использовать для синхронизации крупных сетей связи.
- Пилотный проект "QUBE"¹⁸: совместный проект "Quantum key distribution with Cube Sat" (QUBE), запущенный в 2017 году, занимается разработкой оборудования для глобальной системы связи с защитой от прослушивания с использованием технологии QKD, интегрированной в очень компактную и экономичную эффективную спутниковую платформу, известную как CubeSat. Конкурс предложений "QuantERA Call 2017"¹⁹: инициатива соfund ERA-NET "QuantERA" поддерживает совместные, ориентированные на применение европейские исследования по всем фундаментальным квантовым технологиям
- Темы. Как крупнейший партнер консорциума, BMBF оказывает поддержку немецким исследователям в 18 из 26 европейских проектов.
- Конкурс предложений "Ключевые компоненты для квантовых технологий"²⁰: квантовые эффекты чувствительны, и устройства, применяющие их на практике, как правило, все еще большие и дорогие. Инициатива BMBF "Ключевые компоненты для квантовых технологий" финансирует ряд консорциумов с участием промышленных предприятий с целью укрепления существующих компетенций в области разработки устройств. Ожидается, что это создаст более прочную основу для эффективных исследований в области квантовых технологий и ускорит использование квантовых эффектов.
- Прием предложений "Quantum Futur"²¹: с 2018 года BMBF обеспечивает будущее исследований в области квантовых технологий & развитие в Германии путем поддержки различных младших исследовательских групп, специализирующихся на прикладных темах в области квантовых технологий.

Будущие конкурсы предложений находятся на стадии подготовки.

Финансирование совместных проектов не только стимулирует изучение областей исследований, но и способствует налаживанию сотрудничества между наукой и промышленностью. Эти сети

составляют важную основу для долгосрочной эволюции технологий в новые, коммерчески значимые продукты. Последствия не ограничиваются предприятиями и исследовательскими проблемами в промышленном секторе; они также актуальны для проблем, возникающих в других секторах - например, в финансовом.

Центр передового опыта в области квантовых технологий при РТВ

Важная основа для промышленных разработок будет создана с созданием Центра превосходства в области квантовых технологий при Национальном институте физики Германии (Physikalisch-Technische Bundesanstalt, PTB).)..... В Германии будет создан Центр превосходства в области квантовых технологий. РТВ сочетает в себе признанный на международном уровне опыт в области квантовой метрологии и сенсорики с уставными полномочиями по поддержке немецкой промышленности в области измерений. Чтобы выполнить этот мандат, он должен построить и эксплуатировать ключевые инфраструктуры для удовлетворения текущих потребностей и предоставления основных услуг. Одной из ключевых задач Центра передового опыта является поддержка промышленности путем передачи результатов исследований в приложения, уделяя особое внимание стартапам и малым и средним предприятиям (МСП). BMWi поддерживает создание и развитие Центра передового опыта и рассматривает его как часть текущей работы в рамках инициативы по передаче знаний. Ключевыми специализациями центра являются:

- Компоненты и технологии: разработка и сборочно например однофотонные источники и генераторы, или промышленность-готовые часов, контрольно-измерительных приборов и датчиков, тарировки
- и услуги: строительный измерительный станций, которые могут определить и откалибровать компоненты и технологии, перечисленные выше, например, в качестве услуги для МСП пользователей платформы
- ("пользовательские объекты"): создание волоконно-оптических сетей и технологических платформ, доступный для опытных прототипов и мелкосерийного производства
- бизнес-инкубаторы, обучение, общественные отношения, поддержка технологий передачи данных: обеспечение и операционная инкубатор, лаборатория для передачи квантовых технологий для применения; учебные центры для инженеров

¹⁷ <https://www.photonikforschung.de/projekte/quantentechnologien/projekt/opticlock.html>

¹⁸ <https://www.forschung-IT-sicherheit-kommunikationssysteme.de/projekt/qube>

¹⁹ <https://www.quantera.eu/calls-for-proposals/call-2017>

²⁰ <https://www.bmbf.de/foerderungen/bekanntmachung-1372.html>

²¹ <https://www.bmbf.de/foerderungen/bekanntmachung-1371.html>

Ведущая рыночная инициатива в области лабораторий и оборудования технологии

Как и в случае с другими технологиями в прошлом, многие приложения квантовых технологий, вероятно, смогут найти свои первые рынки сбыта очень близко к исследовательской среде:

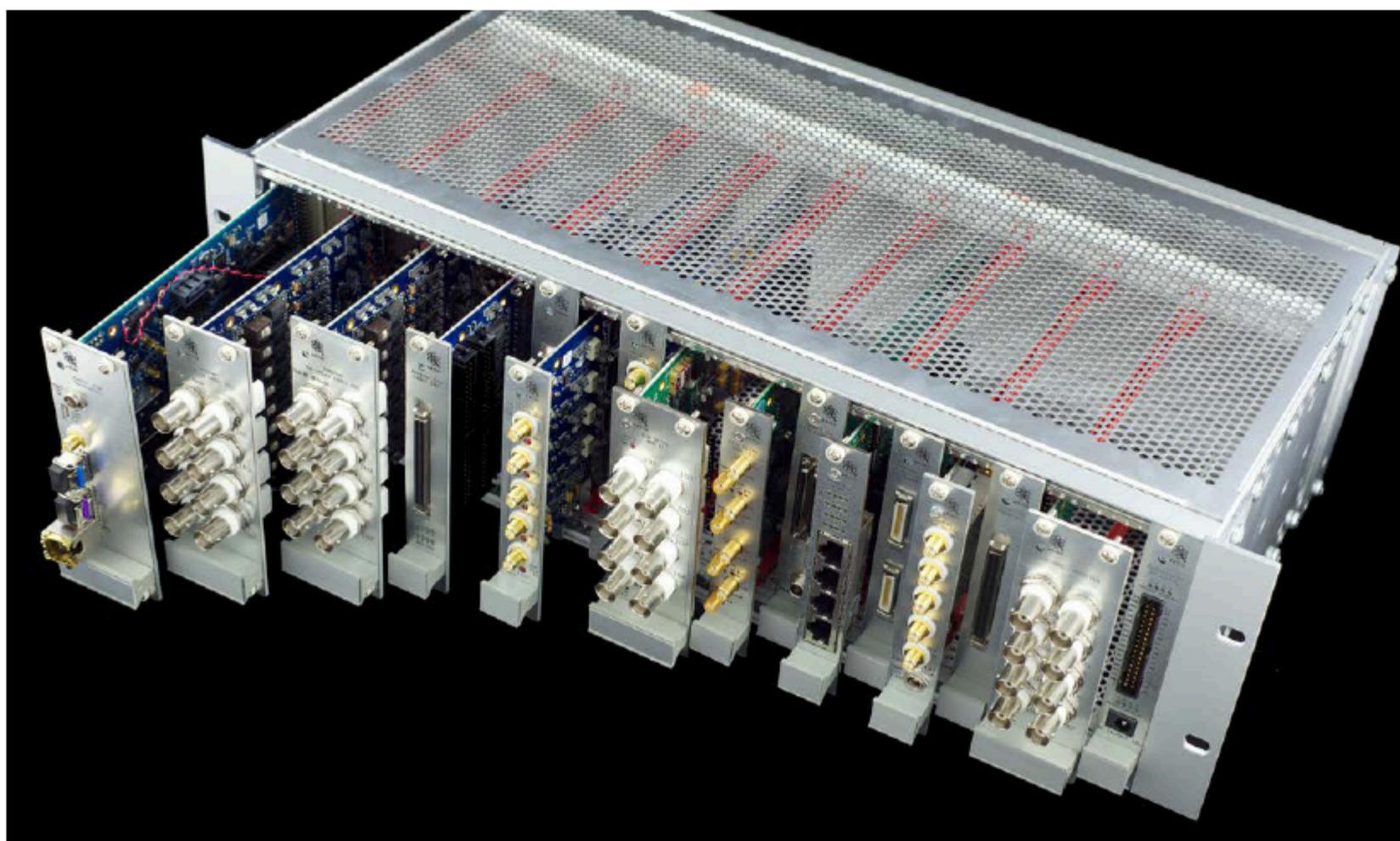
"Крупнейшим известным рынком квантовых технологий в настоящее время являются государственные академические исследования. Мы также можем ожидать значительного непубличного рынка в секторе безопасности, который, по нашему мнению, по-прежнему очень силен в области исследований и разработок. На обоих рынках существует спрос на широкий спектр "квантовых технологий"; в Германии этот спрос в значительной степени удовлетворяется малыми и средними предприятиями. Основываясь на данных по Соединенному Королевству, наша текущая оценка составляет около 30 000 человек по всему миру, а ежегодный бюджет на исследования превышает 1,5 миллиарда долларов. Доля Германии в этом оценивается примерно в 6-10%"²².

²² (Переведено с) Поддержка квантовых технологий - немецкий язык документ с изложением позиции отрасли, стр. 4; Источник: см. сноску 6

Примеры применения могут включать лабораторное оборудование, лазерные системы, вакуумное или криогенное оборудование, оптические компоненты, специализированные камеры, детекторы, с подходящей дисплейной электроникой, радиочастотные источники и общие измерительные технологии, встроенную управляющую электронику или специализированное программное обеспечение.

Исследовательские проекты и другие инициативы, перечисленные здесь, могут привести к увеличению процессов закупок для этого типа продукции. Федеральное правительство стремится объединить-

Аппаратное обеспечение для квантовых устройств можно рассматривать как отдельный рынок, поскольку только лабораторное оборудование для международных исследовательских институтов представляет значительный объем рынка. Это открывает отличные возможности сбыта для немецких предприятий на международных рынках - даже для очень высокотехнологичных продуктов, таких как система управления для оптических одноионных часов, изображенных на фото. Этому способствует тот факт, что использование этих технологий не ограничивается квантовыми технологиями, они также могут быть использованы для всех видов других работ в области экспериментальных исследований.



координировать эти разработки, чтобы гарантировать, что появляющиеся ведущие рынки для квантовых технологий будут доступны для малых и средних предприятий и дочерних компаний или стартапов.

Рынки свинца также требуют стандартов. Поэтому федеральное правительство будет оказывать поддержку там, где это необходимо, для разработки стандартов, ориентированных на исследования, в проектах финансирования НИОКР.

Стимулирование инноваций в секторе квантовых технологий

Федеральное правительство поддерживает инновации в бизнесе, создавая рамочные условия, способствующие инновациям, в сочетании с широким спектром возможностей финансирования: как ориентированных на рынок, отраслевых программ, так и программ, открытых для всех видов технологий во всех секторах. Различные аспекты поддержки стартапов, например, предлагаются через "EXIST"²³, "Высокотехнологичные фонды Gründerfonds"²⁴ и "Грант на ИНВЕСТИЦИОННЫЙ капитал".²⁵ Различные венчурные новые возможности доступны из ERP специальные фонды (Европейской программы восстановления) для более поздних фаз развития растений, когда молодого предприятия часто борются, чтобы получить финансовые ресурсы для разработки своей инновации. Гранты выделяются совместно с банком KfW или Европейским инвестиционным фондом (EIF) и частными инвесторами. Примерами программ финансирования развития навыков и создания сетей являются "go-Inno"²⁶ и "go-кластер"²⁷. Инициативы по финансированию доконкурсных исследований и разработок включают "WIPANO"²⁸, совместная программа промышленных исследований (IGF)²⁹ и "ИННО-КОМ"³⁰. Исследования и разработки, ориентированные на рынок, финансируются в рамках Центральной инновационной программы для МСП (ZIM).³¹ Финансовая поддержка инноваций и проекты по цифровизации доступны через "ERP"

Программа кредитования цифровизации и инноваций".³²

Национальная программа в области космоса и инноваций³³ средства были направлены на проекты по разработке квантовых технологий для будущего применения в аэрокосмической промышленности.

Этот широкий, междисциплинарный ландшафт финансирования является ключевой опорой инноваций в Германии. Молодые предприятия и МСП могут извлечь из этого особую пользу.

Если мы хотим разрабатывать приложения для квантовых технологий, чем часто занимаются стартапы и малые и средние предприятия, важно, чтобы мы продолжали развивать этот ландшафт и делали его максимально эффективным.

Федеральное правительство создаст соответствующие консультационные службы по инновациям. Чтобы дополнить этот многопрофильный ландшафт финансирования, планируется запуск инициатив, ориентированных конкретно на квантовые технологии и предназначенных для стартапов и малых и средних предприятий - например, путем предоставления соответствующей инфраструктуры (см. Центр превосходства в области квантовых технологий при РТВ). Конкурс предложений "КМУ-инноватив": фотоника и квантовые технологии³⁴ это возможность финансирования, нацеленная конкретно на МСП. Предложения принимаются два раза в год, первый конкурс состоится в июле 2018 года.

Передача технологий с рынка в приложения, основанные на квантовых технологиях, является одним из ключевых интересов программы. Это включает постоянное развитие необходимой инфраструктуры качества и ее основных элементов (измерение, аккредитация, оценка соответствия, стандарты и калибровка).

²³ <https://www.exist.de>

²⁴ <https://high-tech-gruenderfonds.de>

²⁵ <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Dossier/invest.html>

²⁶ <https://www.innovation-beratung-foerderung.de/INNO/Navigation/DE/go-Inno/go-Inno.html>

²⁷ <http://www.go-cluster.de>; <https://www.clusterplattform.de>

²⁸ <https://www.innovation-beratung-foerderung.de/INNO/Navigation/DE/WIPANO/Patentierung-Unternehmen/patentierung-unternehmen.html>

²⁹ <https://www.aif.de/innovationsfoerderung/igf-industrielle-gemeinschaftsforschung.html>

³⁰ <https://www.innovation-beratung-foerderung.de/INNO/Navigation/DE/INNO-KOM/inno-kom.html>

³¹ <https://www.zim.de>

³² [https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/Unternehmen/Innovation/F%C3%B6rderprodukte/ERP-Digitalisierungs-und-Innovation-skredit-\(380-390-391\)](https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/Unternehmen/Innovation/F%C3%B6rderprodukte/ERP-Digitalisierungs-und-Innovation-skredit-(380-390-391))

³³ <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Dossier/luft-und-raumfahrt.html>

HTML

³⁴ <https://www.photonikforschung.de/projekte/kmu-innovativ/foerderungsmassnahme/kmu-innovativ-photonik-und-qt.html>

3.3 Становление промышленности конкурентоспособность благодаря проектам lighthouse

Сохраняется (переменный) разрыв между результатами научных исследований и промышленным внедрением. В этом контексте немецкой промышленности (крупным предприятиям, МСП и стартапам) необходимо превратиться из простого наблюдателя и поставщика в стратегическую силу для разработок в области квантовых технологий.

Эксперты из немецких предприятий предложили³⁵ что проекты lighthouse могли бы помочь поддержать этот процесс. Эти проекты будут призваны продемонстрировать заинтересованным сторонам из числа общественности, политиков и предприятий, что квантовые технологии - это не просто абстрактные научные концепции, они посвящены новым технологиям и процессам, имеющим последствия и потенциал для широкого спектра секторов экономики. Федеральное правительство рассматривает это предложение, и BMWF возглавит два первоначальных проекта по созданию маяков.

³⁵ Поддержка квантовых технологий - документ с изложением позиции немецкой промышленности, стр. 21; Источник: см. Сноску 6

Конкуренция в области квантовых коммуникаций

В исследованиях квантовых коммуникаций в настоящее время возможно сформулировать важные цели с точки зрения технических параметров. Например, улучшение времени когерентности квантовой памяти является ключевым фактором на пути к конечной цели устойчивой безопасной связи. Параметры такого рода также представляют собой важный шаг для безопасной аутентификации пользователей системы. На данный момент аутентификация пользователей обычно осуществляется с помощью аппаратных компонентов, токенов безопасности или чиповых ключей. Однако мощные квантовые вычисления-

Безопасные протоколы связи представляют собой важную основу экономической системы нашего общества. Таким образом, исследование, разработка и внедрение компонентов и систем, обладающих реальной полезной ценностью, является насущной проблемой. Крупные проекты lighthouse, такие как спутниковая квантовая связь с наземными станциями (показано на рисунке), посылают мощный сигнал о запуске квантовых технологий. Они обладают потенциалом для повышения конкурентоспособности системных и инфраструктурных решений.



они представляют угрозу для безопасности этих традиционных методов аутентификации. Квантовые токены могут представлять собой техническую альтернативу квантовой коммуникации в будущем. Улучшая ключевые компоненты такого рода, мы также создаем дополнительную ценность. Поэтому ВМБФ будет сотрудничать с учеными и промышленностью в процессе определения "грандиозной задачи" в этой области: целью будет внедрение новых концепций решений для улучшения ключевых технологических факторов квантовой связи в контексте конкуренции. Идея состоит в том, чтобы преследовать конкретные технологические цели, в то же время создавая структурные синергетические эффекты для академических и промышленных исследований.

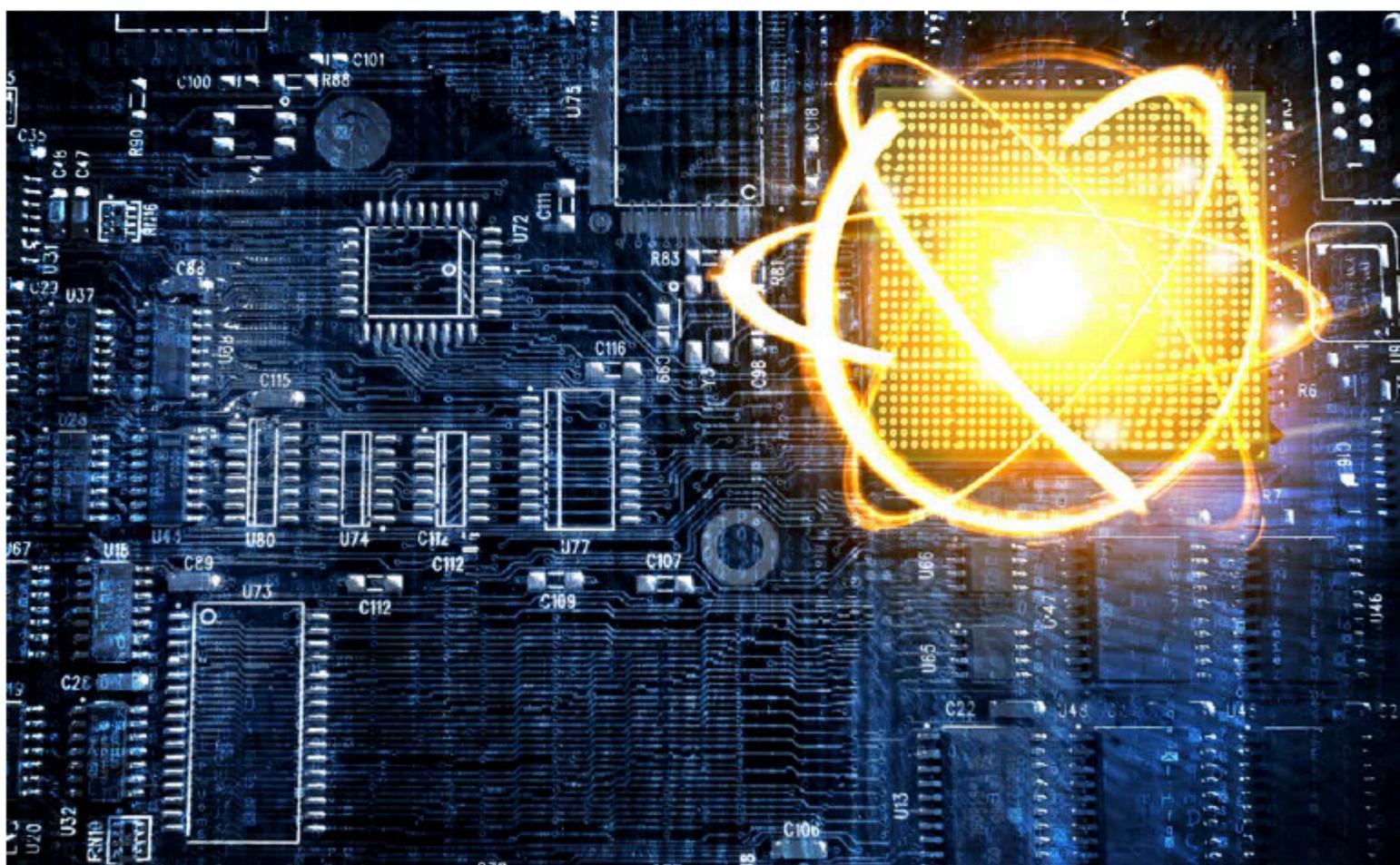
Европейская миссия в области квантовых вычислений

Гонка за превращением квантовых вычислений из идеи в реальность быстро набирает обороты в последние годы, о чем свидетельствуют крупные инвестиции в США и Китае. Однако даже самые многообещающие из многих концепций, исследуемых в этой области, все еще находятся на очень ранних стадиях разработки. Мы пока не знаем, какие идеи в конечном итоге оправдают себя, и остается неясным, насколько эффективна добавленная стоимость по сравнению с традиционными микропроцессорами. По этой причине Европа надеется стать системным поставщиком для промышленности и твердо намерена привести свои собственные подходы для участия в гонке. Федеральный центр

Правительство осуществляет по трем направлениям посвя- онных, чтобы помочь с этим: •
определение программы исследования контентом

- руководят пользователями и создателями систем представители науки, промышленных кругов и общественные потребители. Исследовательская программа будет организована таким образом, что участвующие партнеры будут правообладателями.
- которые могут стать акционерами потенциальных дочерних компаний. Организация и финансирование
- до трех кластеров передового опыта в области квантовых вычислений в Германии. Привлечение международных партнеров будет иметь важное значение

Создание универсального квантового компьютера - это проект, характеризующийся серьезными рисками, но в равной степени имеющий огромный потенциал применения. Хотя разработки в области квантовых вычислений за последнее десятилетие оставались почти исключительно внутри исследовательских учреждений, сейчас становится все более актуальным привлечение потенциальных пользователей. Задачи и вызовы могут быть определены в контексте тесного сотрудничества; затем исследования могут быть сосредоточены на поиске целевых алгоритмов для решения этих задач и оценке аппаратных ограничений.



предпосылка для последующего перехода к европейским научным и, что наиболее важно, промышленным структурам. Кластеры при существенном участии коммерческих предприятий будут исследовать наиболее перспективные подходы к квантовым вычислениям, определять практические приложения и разрабатывать аппаратные платформы для их демонстрации. Важные разработки на технической периферии и подсистемах будут использованы, как только ИС будет защищена и станет коммерчески доступной для исследователей по всему миру. Ключевыми показателями успеха кластеров будут: развитие промышленно значимых навыков в области квантовых информационных технологий, международных сетей, коммерческих стратегий и привлечения промышленных партнеров.

Основатели (побочные) компаний в области квантовых вычислений. Компании будут нести ответственность за передачу результатов исследований в промышленность. Эта передача может происходить постепенно и в рамках подполей и должна быть ориентирована на международный рынок. Государственный сектор может сохранить за собой права на долю в дочерних компаниях, получающих финансирование, и, таким образом, извлечь выгоду из подходящей организационной формы, имеющей опыт создания стартапов и управления долями. Привлечение стратегических инвесторов также является частью этого процесса.

3.4 Обеспечение безопасности и технологического суверенитета.

Квантовые технологии для спутников

Квантовые технологии найдут все большее применение в мониторинге Земли, спутниковой связи и спутниковой навигации. Эти поля относятся к суверенным ВХСУ-Риты и интересы являются определяющими основы для высоко развитого индустриального общества. Квантовых технологий в этих областях находятся на грани применения. США и Китай интенсивно работают над модернизацией своей спутниковой инфраструктуры на основе квантовых технологий. Важно будет также модернизировать Европы спутниковой инфраструктуры быстро и системно, для того, чтобы обеспечить Европы технического суверенитета в этой сфере и избежать зависимости. Ключевой вклад в это должны внести немецкая наука и промышленность.

Мониторинг земли является частью политики в области охраны окружающей среды, безопасности и обороны, не говоря уже о многочисленных отраслях промышленности - поиск месторождений полезных ископаемых, планирование землепользования, градостроительство, управление дорожным движением, и сельское и лесное хозяйство, и это лишь некоторые из них. Защищенная от прослушивания спутниковая связь так же важна для гражданского сектора, как и для военного. Спутниковая навигация используется для точного определения местоположения (например, на воздушном, автомобильном, железнодорожном и морском транспорте), для международной связи, систем энергоснабжения и банковских переводов, а также электронной фондовой биржи и в будущем будет иметь важное значение для нашего универсального стандарта времени. Разработав систему Galileo, Европа создала свою собственную навигационную систему, которая может дополнить американскую GPS и имеет стратегическое значение для суверенитета Европы как в гражданской, так и в военной сферах. Когда будут применены разработанные на сегодняшний день квантовые технологии, мы можем предсказать десятикратное повышение точности измерений расстояний, положений и времени, используемых в спутниковой технике, что представляет собой значительное улучшение производительности приложений на базе спутников.

Этот значительный прогресс в работе спутниковой навигации, по сути, является следствием новых квантовых методов измерения времени и частоты, основанных на квантах, в сочетании с квантовой передачей оптического сигнала. Уже разрабатываются прототипы высокоточных оптических одноионных часов. Крайне важно, чтобы сейчас мы провели целенаправленную разработку этих новых технологий и обеспечили, чтобы они могли выдерживать огромные нагрузки при запуске ракеты и работать удовлетворительно при экстремальных температурах и мощном излучении, которому они будут подвергаться на орбите. Это важная предпосылка для того, чтобы Германия и Европа могли в будущем использовать спутниковые системы, использующие новейшие и наилучшие технологии.

Немецкий аэрокосмический центр (DLR) обладает десятилетним опытом и доказанной компетентностью в области разработки спутников. Чтобы добиться прорывов, необходимых для вывода квантовых технологий на орбиту и закрепления роли Германии как технологического пионера в этом секторе, федеральное правительство рассматривает варианты развития институциональной исследовательской деятельности в DLR и его партнерах по сотрудничеству. PTB, в частности, представляет собой важного стратегического партнера по развитию, обладающего уникальными возможностями в области квантовой метрологии и зондирования, а также своими суверенными задачами во времени и в секторе частотной передачи. Потенциальные проекты



Существует широкий спектр возможностей применения квантовых технологий на спутниках..... К примеру, используя квантовые состояния, обеспечивает намного большую точность измерения, которые могли бы Ан- возможность экологические параметры должны быть измерены в гораздо большей точностью, чем когда-либо прежде. Однако создание компонентов, достаточно надежных для работы в космической среде, представляет собой значительные практические проблемы.

будет охватывать, в частности, области геодезии, метрологии и сенсорных технологий, разработку приборов квантовой точности, пригодных для использования в космосе, и проектирование будущих спутников Galileo. Для этой цели в DLR можно было бы создать два новых института и центр передового опыта Galileo. DLR предоставит квалифицированные контракты для поддержки параллельного развития промышленной базы в области спутниковых квантовых технологий. В последние годы финансовые инициативы под эгидой "Национальной программы космоса и инноваций" позволили Германии не просто сохранить свое ведущее международное положение в области квантовой оптики, но и фактически увеличить свое лидерство в некоторых областях. Совместный проект "QUANTUS" создал сеть объектов, которая за последнее десятилетие не только достигла видимых с внешней стороны вех на ранних этапах развития квантовых технологий, связанных с космосом, но также вышла за рамки фундаментальных физических исследований, привлекая все большее внимание к прикладному аспекту квантовых технологий. Параллельно с постепенным доведением технологии до совершенства уже начались долгосрочные испытания вновь разработанных технологий на Низкой околоземной орбите (на спутниковых платформах и международной космической станции). Первые практические космические приложения также маячат на горизонте - оптические часы для точной навигации, квантовые гравиметры для точного измерения временных изменений гравитационного поля Земли.....

Безопасная связь и передача данных

Перед лицом многочисленных угроз внутренней и внешней безопасности Германии жизненно важно вооружить федеральные органы безопасности и Вооруженные силы Германии (Bun- deswehr) наилучшими возможными навыками и технологиями, чтобы гарантировать, что они смогут выполнять свои юридические и конституционные мандаты, в то же время делая Германию ведущим центром безопасности, где могут быть гарантированы конфиденциальность и целостность ИТ-систем и цифровых коммуникаций. катионы.

Создание эффективной защиты от кибератак и обеспечение высоких стандартов качества в области кибербезопасности будет зависеть от расширения участия в непрерывном динамичном инновационном процессе, которым в настоящее время пользуются технологии кибербезопасности, плюс от более глубокого вовлечения в соответствующие ключевые технологии. В федеральном Министерстве внутренних дел, строительства и Комму- нитый (ИМТ) и федеральное Министерство обороны (BMVg)

рассматривайте квантовые технологии как обладающие особенно высоким потенциалом для инноваций и приложений из-за заметной роли, которую они будут играть в продвижении цифровых преобразований, шифровании цифровых коммуникаций и машинных операций в целом. Федеральные агентства безопасности и Вооруженные силы Германии поэтому считают особенно важным активное, ориентированное на потребности финансирование исследований, инноваций и разработок в области квантовых технологий. Инициативы по целевому финансированию могли бы также способствовать разработке конкретных приложений двойного назначения и побочным эффектам.

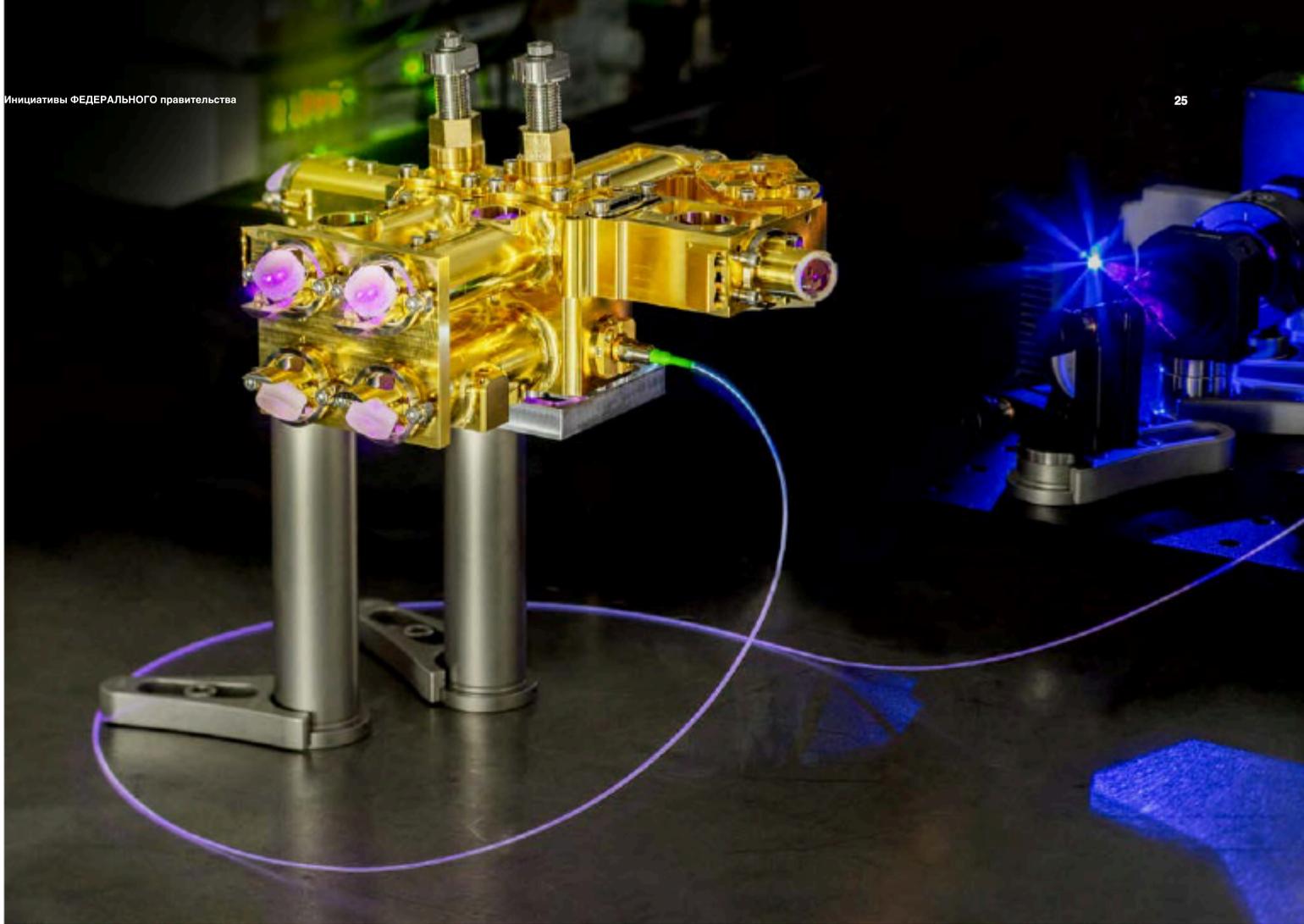
Федеральное правительство считает, что особенно важно разработать квантово-устойчивые криптографические системы; эти системы должны быть способны противостоять атакам со стороны квантовых компьютеров, а также традиционным методам, а также работать с существующими коммуникационными протоколами и сетями. Федеральное правительство намерено проявлять активность в этой области, чтобы гарантировать сохранение Германией своих позиций как ведущей страны мира в области шифрования. Это означает решение задачи перехода к новым криптографическим инфраструктурам, требующим сосредоточения внимания на своего рода "крипто- гибкости".

Квантовая коммуникация, включая квантовый обмен ключами, считается безопасным, поскольку попытки сбрасывания карнизов наблюдаются как потери данных. Однако превращение квантовой связи из теории в реальность зависит от поиска подходящих технических решений - например, адаптации волоконно-оптической связи. Федеральное правительство хочет поддержать это исследование.

В то же время взлом традиционных криптографических технологий может открыть новые возможности для правоохранительных органов. Появление новых технологий может повысить вероятность возобновления уголовных процессов (при условии, что у них еще не истек срок давности), связанных с зашифрованными цифровыми доказательствами, которые в то время не могли быть исследованы, но могли быть расшифрованы с использованием новых методов и оценены. Следовательно, поле также должно отслеживаться с точки зрения правоохранительных органов. Ответственность за исследование и разработку технических решений для органов безопасности, которые входят в сферу деятельности ВМІ, лежит на ZITiS (Центральный офис



Достижения в превращении квантовых технологий в реальность имеют огромные последствия, особенно для безопасности данных. Опираясь на прогресс в области квантовой криптографии, мы сможем создавать безопасные коммуникационные сети. Однако в будущем третьи стороны также могли бы иметь доступ к квантовым компьютерам для расшифровки, и наши важные коммуникации должны продолжать оставаться безопасными при таком сценарии.



Технологические подходы к квантовому ключу

биржи в основном основаны на фотонике.

Фундаментальная причина этого заключается в том, что фотоны (легкие частицы) можно не только генерировать и предварительно обрабатывать со сравнительно низкими технологическими затратами, их также можно транспортировать на большие расстояния без потери их квантовых характеристик. Источники одиночных фотонов (такие, как те, что показаны на изображении) используются для генерации этих специально подготовленных фотонов.

для информационных технологий в сфере безопасности).

ЗИТиС определяет свои ключевые сферы интересов как телекоммуникационный мониторинг катионов, цифровую криминалистику, криптоанализ и анализ больших данных, на все из которых повлияет прогресс в области квантовых вычислений. ЗИТиС планирует сотрудничать с исследовательским институтом КОДА, чтобы использовать квантовый компьютер на своей будущей площадке в Мюнхенском университете Бундесвера. Этот интерфейс облегчит текущий обмен данными с BMVg, поскольку шифрование существующих систем ИТ-безопасности имеет большое значение для обоих ведомств.

BMVg определила свою стратегическую направленность на следующие несколько лет, основываясь на компетенции Вооруженных сил Германии в области "Кибернетических и информационных технологий": ключевыми темами будут исследования, связанные с обороной, и

технологии, включая разработку потенциальных военных приложений для квантовых технологий. Стратегия будет двойной. Одной из целей является систематическое удовлетворение потребностей Вооруженных сил Германии в навыках для проведения прикладных фундаментальных исследований с точки зрения информатики, в частности, информационной безопасности, в тесном сотрудничестве с различными внутренними учреждениями. Другая цель состоит в том, чтобы BMVg использовала свои собственные исследовательские фонды для разработки конкретных технических областей, таких как квантовые технологии, которые считаются полезными для ожидаемых потребностей и оперативных возможностей Вооруженных сил Германии, и сделала эти технологии более доступными быстрее. Эти проекты в будущем получат институциональное подкрепление за счет создания и расширения собственных центров передового опыта BMVg, а также ее исследовательских и инновационных центров. В частности, планируется создать новое Агентство по инновациям в области кибербезопасности. Он будет управляться совместно с ВМІ и обеспечивать финансирование высокорисковых проектов с большим инновационным потенциалом.

Проекты, которые особенно актуальны для немецких Вооруженных Сил включают в себя, например, приложение-ориентированные научные исследования по безопасной передаче данных, основанный на систематической разработки безопасной коммуникационные технологии, основанные на квантовой криптографии. В области квантовых вычислений и моделирования шифрование и дешифрование систем безопасности, которые в настоящее время широко используются в компьютерах и информационных технологиях, имеет стратегическое значение. Мюнхенский университет Бундесвера сделал первый шаг в этом направлении, подписав соглашение о сотрудничестве с IBM по созданию квантового центра IBM в научно-исследовательском институте CODE Cyber Defence в Мюнхене. Другая область, представляющая интерес, - это приложения, которые можно было бы использовать для создания сложных военных симуляций для планирования миссий, учений и подготовки. Наконец, в области позиционирования, навигации и определения времени существует значительный интерес к ряду научных исследований и готовых к применению решений, основанных на квантовом зондировании и метрологии, которые уже близки к достижению требуемой зрелости даже для военных условий.

Тестовый маршрут для квантовой криптографии по волоконно-оптическим кабелям является одним из объектов, которые будут построены в Центре передового опыта РТВ в области квантовых технологий. Это будет использовано, среди прочего, для построения признанной структуры тестирования и разработки соответствующих стандартов. Недавно РТВ смог похвастаться демонстрацией самой точной передачи частот в мире по оптическим волокнам между Парижем и Брауншвейгом. Эта линия связи, которая доступна примерно через каждые сто километров, может быть расширена для формирования тестовой среды для квантового шифрования на больших расстояниях. Не так давно был добавлен узел в Лондоне, а на ближайшее будущее запланирован еще один узел в северной Италии. Европейские метрологические институты предположили, что эта линия связи могла бы стать основой европейской волоконной магистрали для частотного распределения, которая также могла бы использоваться для квантового шифрования. Космические технологии для распределения квантовых ключей, при которых сигнал значительно ослабевает, могут оказаться идеальным аналогом наземных наземных разработок и позволить учитывать в картине большие расстояния.

Квантовый обмен ключами через спутники представляет собой интересный взаимодополняющий подход. Технология космических путешествий имеет преимущество перед волоконно-оптической связью в том, что она способна преодолевать расстояния, намного превышающие всего 100-200 километров. Таким образом, бюджет финансирования космического управления DLR предусматривает усиление внимания к спутниковой квантовой связи.

3.5 Формирование международной деятельности сотрудничество

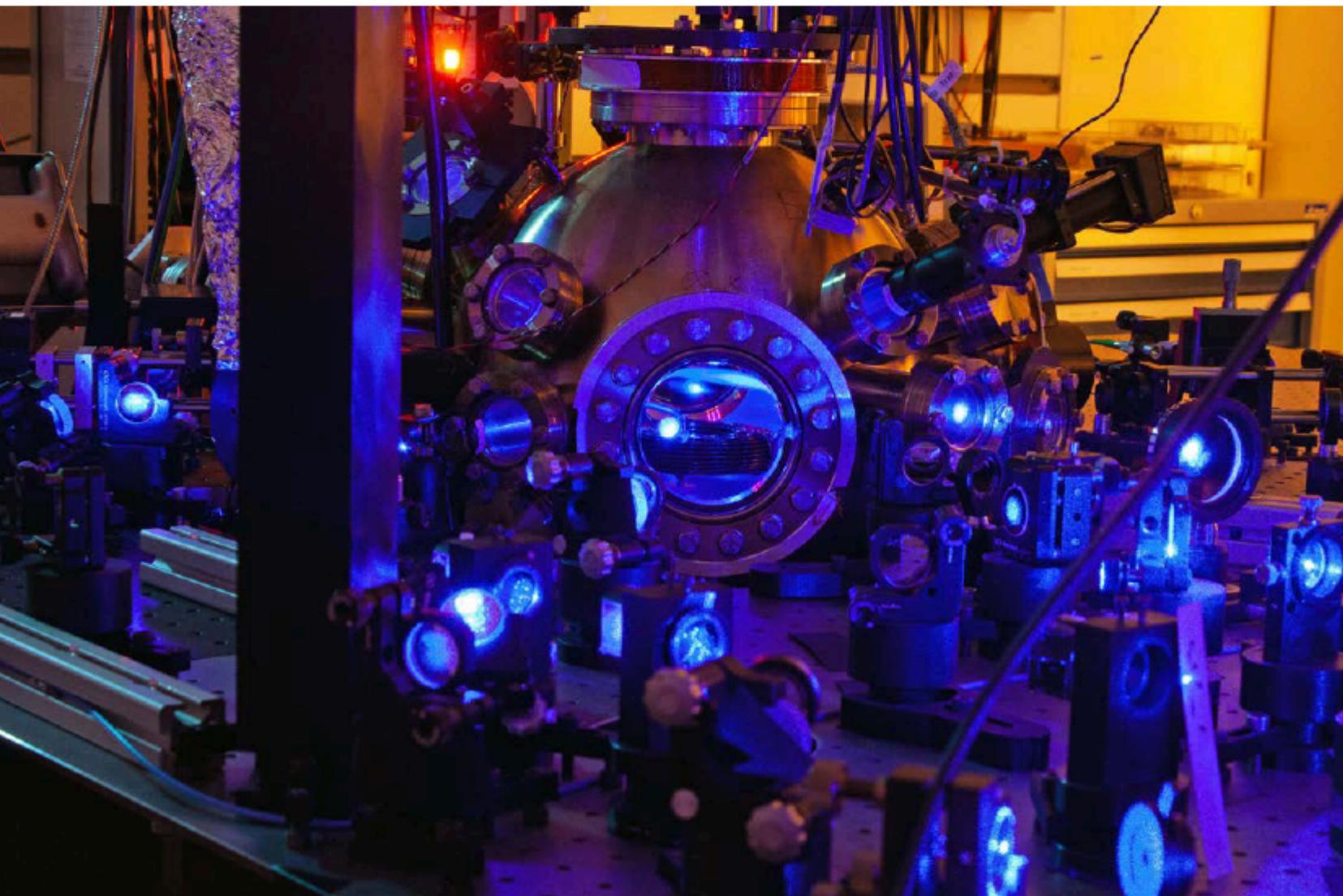
Метрология и стандарты

Несмотря на растущую конкуренцию в научной, промышленной сфере и сфере безопасности, важно, чтобы исследования в области квантовых технологий оставались открытыми для сотрудничества

Определение стандартов требует чрезвычайно высокой точности измерений, которые затем могут быть использованы в качестве эталона для других устройств. Международные стандарты времени на протяжении десятилетий основывались на мониторинге квантовых состояний атомов, и требования к точности постоянно становились более жесткими. Атомные часы, основанные на квантовых системах, подобных той, что показана на рисунке, действуют как временные ориентиры для точных измерений, таких как Глобальная система определения местоположения (GPS) или циклическая частота для более быстрого Интернета.

Поэтому федеральное правительство будет работать над укреплением сотрудничества в области квантовых технологий, как в Европе, так и за ее пределами. Проекты будут охватывать ранние стадии разработки приложений, стандартизации и государственные полномочия.

Национальный институт метрологии Германии (PTB) интенсивно сотрудничает с ведущими международными метрологическими институтами в области квантовой метрологии и зондирования. Партнерами по сотрудничеству являются Национальный институт стандартов и технологий (NIST) в США, Национальный институт метрологии Японии (NMI) и Национальный институт физических и химических исследований (RIKEN) в Японии, национальная лаборатория метрологии и эссе (LNE) и Системы управления темпами развития (SYRTE) во Франции, ИСТИ-Национальное управление метрологии Ричерка (INRIM) в Италии, и Британская национальная физическая лаборатория (NPL). Также важной темой для такого сотрудничества является разработка- ную следующее поколение оптических часов и оптических резонаторов. Благодаря недавней демонстрации самой точной частотной передачи в мире по волоконной оптике между Парижем и Брауншвейгом, она



впервые становится возможным быстрое и точное сравнение оптических часов. Сотрудничество будет укрепляться в течение следующих нескольких лет.

Международное сотрудничество в изучении квантовых эффектов будет иметь важное значение для пересмотра Международной системы единиц измерения (СИ) с использованием новых, основанных на квантах, определений для единиц измерения массы (килограмм), количества вещества (Моль), температуры (Кельвин) и единиц измерения, используемых в электротехнике. РТВ помогает продвигать эту работу на международном уровне.

Расширение европейских исследований

Чтобы бороться за свое место в конкурентной борьбе за умы и инвестиции, Германии и Европе нужны первоклассные гражданские исследовательские инфраструктуры. Германия обратится к ключевым странам-партнерам с целью разработки совместных проектов для повышения узнаваемости и привлекательности Европы для исследований в области квантовых технологий. Германия и Европа должны привлекать выдающихся людей, любого происхождения и пола, обладающих особым опытом и интересом к исследованию и разработке квантовых технологий

В рамках своего вклада в совместные исследования в Европе Германия является участником программы ERA-NET QuantERA³⁶. В рамках программы BMBF и 31 другой партнер из ЕС, Израиля, Турции и Швейцарии работают вместе с весны 2018 года над поддержкой совместных проектов по поиску, объединяющих институты и предприятия из стран-участниц. Германия представлена в (на сегодняшний день) львиной доле проектов "QuantERA".

Исследовательский проект ЕС в области квантовых технологий ("Квантовый флагман ЕС") направлен на превращение Европы в ведущий регион для промышленного внедрения квантовых технологий. Германия внимательно сопровождала этот крупный европейский проект с самого начала - например, оказывая личную и финансовую поддержку Руководящему комитету высокого уровня, который в конце 2017 года представил всеобъемлющий позиционный документ со своими рекомендациями.³⁷ Программа мероприятий и конкурс предложений по первому этапу европейского флагманского проекта были опубликованы в конце

2017 года. Многочисленные немецкие заявители успешно участвовали в этих процессах. Запуск проектов начался осенью 2018 года, а начало основного этапа в настоящее время запланировано на 2020 год. Еще одной целью является установление тесной связи посредством совместных проектов с успешной "Европейской метрологической программой инноваций и исследований" (EMPIR) или ее преемницей.

3.6 Привлечение населения Германии Вовлечение

Создание основ для понимания

квантовых технологий

Новые технологии всегда вызывают вопросы, касающиеся их этических основ и экологических, экономических, политических и социальных последствий новых применений. Эти вопросы обсуждаются среди широкой общественности. Решения по ним принимаются парламентом. В рамках этой программы федеральное правительство внесет свой вклад в создание необходимых специализированных фондов.

С этой целью важно сделать тему квантовых технологий как можно более доступной для широкой общественности. Современные навигационные системы основаны на технологии satel- lite, но для использования навигационной системы нет необходимости разбираться в спутниковых технологиях. Аналогично, для использования квантовых технологий никоим образом не обязательно изучать физику. В будущем общедоступные подходы и конкретная информация о применении квантовых технологий должны стать частью общего образования и школьной программы и быть включены в другие курсы, помимо физики, такие как инженерные исследования. Федеральное правительство намерено участвовать в создании необходимой основы для профессионального обучения, информированных дискуссий и ответственного использования этих технологий.

Федеральное правительство уже сделало первый шаг:

с 2016 года оно работает с экспертами в рамках процесса составления повестки дня, предлагая рекомендации, которые будут реализованы в рамках этой программы:

- Преподавание: квантовая физика в настоящее время преподается с теоретической точки зрения, почти полностью математически. Важно разработать концепции для а

более интуитивный подход с использованием обучающих инструментов, которые демонстрируют квантовые эффекты настолько непосредственно, насколько это возможно-

³⁶ https://cordis.europa.eu/project/cn/207196_en.html;

<https://www.quantera.eu>

³⁷ Флагманский итоговый отчет по квантовым технологиям; Источник: см. Сноску 3



Сохраняется потребность в четких объяснениях фундаментальных физических принципов квантовой технологии - квантовые характеристики, такие как суперпозиция и запутанность, по-прежнему крайне недоступны неспециалисту. Таким образом, важно начать диалог с широкой общественностью. Таким образом, важно начать диалог с широкой общественностью. Это могло бы начаться еще в школе: на изображении изображен модельный эксперимент по квантовой криптографии, который получил награду в национальном конкурсе "ИЗОБРЕТИ ЧИП". Физический фон и связанные с ним принципы также могут быть объяснены и сообщены в рамках выставок.

упрощают и допускают практический, даже игровой подход к квантовой физике.

- Доступ: технические музеи и выставки в Германии должны включать больше экспериментов и приложений квантовых технологий.
- Участие: создавать вещи для себя - это еще один способ найти пути к новым технологиям и способствовать ответственному использованию. Поэтому федеральное правительство будет развивать инициативы в области квантовых технологий, ориентированные на производителей, такие как открытые технологические платформы для энтузиастов DIY и малых и средних предприятий. Соревнования успешно используются в других технических областях для повышения наглядности, улучшения понимания и повышения мотивации молодых академических и промышленных талантов - например, "Начни кодировать" для программистов или "RoboCup" для робототехники. Федеральное правительство рассмотрит вопрос о том, как конкурсы такого рода могли бы быть организованы на арене квантовых технологий.

Пробуждение интереса к квантовым технологиям среди следующего поколения

Понимание квантовых технологий основано на тех же ключевых квалификациях, которые важны для нашего экономического статуса: математике, информационных технологиях, естественных науках и технологиях (MINT). Федеральное правительство, немецкие исследовательские организации и промышленность привержены совместной работе для содействия приобретению знаний и навыков в области MINT, демонстрации различных точек зрения и борьбы с надвигающейся угрозой нехватки квалифицированных кадров. Двумя многообещающими путями улучшения ситуации с квалификацией являются большее использование потенциала нашей страны (например, ориентация на изучение предметов MINT в школах на раннем этапе карьеры) и поощрение иммиграции специалистов из-за рубежа. Международные специалисты уже вносят важный вклад в развитие монетного двора. По данным ОЭСР, Германия входит в число стран с наиболее либеральными иммиграционными правилами для специалистов академической квалификации из третьих стран.³⁸ Официальный информационный портал "Сделай это в Германии"³⁹ предоставляет рекомендации заинтересованным специалистам и предприятиям, а также индивидуальные консультации по горячей линии "Живи и работай в Германии". KOFA - это центр компетенций для подбора специалистов⁴⁰: он предлагает МСП рекомендации о том, как повысить свою привлекательность как работодателя и оставаться конкурентоспособными за счет привлечения квалифицированной рабочей силы.

Важность привлечения новых талантов в научные области является еще одной ключевой заботой федерального правительства-

³⁸ ОЭСР (2013), Набор рабочих-иммигрантов: Германия, OECD Publishing, стр. 15; <http://dx.doi.org/10.1787/9789264189034-en>

³⁹ <https://www.make-it-in-germany.com/en>

⁴⁰ <https://www.kofa.de>

улучшение. По этой причине он финансирует - прямо или косвенно - значительную часть немецкой программы поддержки молодых научных талантов. Это включает в себя институциональное финансирование научных и посреднических организаций, наряду с крупными проектами, такими как новая программа поддержки молодых ученых "Tenance Track"⁴¹, Инициатива передового опыта и "Пакт об исследованиях и инновациях". Правящие партии заявили о намерении

⁴¹ <https://www.bmbf.de/de/wissenschaftlicher-nachwuchs-144.html>

В такой сложной области, как квантовые технологии, срочно требуются высоко образованные специалисты как в научной, так и в промышленной сферах. Высокий уровень образования необходим не только для исследований, но и для того, чтобы использовать эти квантовые технологии.

Поэтому важно знакомить студентов смежных инженерных дисциплин с квантовыми технологиями во время их учебы. Одним из примеров того, как это можно сделать, является академия BMBF "Quantum Futur" - практическая неделя семинаров, мастер-классов по творческим инновациям и инсайдерских мнений научно-исследовательских институтов и предприятий.

в их коалиционном договоре говорится о создании предсказуемых, надежных путей карьерного роста в университетской системе и о работе с научными организациями над конкретными целями, направленными на поощрение молодых талантов.

Успешное и широкое внедрение квантовых технологий в промышленность и приложения в общественном достоянии возможны только в том случае, если у нас будет достаточно специалистов, обладающих опытом в области квантовых технологий. Квантовые технологии лежат на границе между сложными дисциплинами физики, инженерии и информатики - и всеми дисциплинами, для которых Германия традиционно была привлекательным местом. Нам необходимо объединять эти субдисциплины и создавать соответствующие междисциплинарные и международные исследовательские проекты и учебные программы. В этом контексте были запланированы или уже начаты следующие инициативы:

- В 2017 году BMBF создал младшие исследовательские группы

, таким образом, публикуя свою первую инициативу, которая будет создана⁴²

специально ориентирован на обучение будущих руководителей квантовым технологиям. Для BMBF это способ поддержать отличные молодые таланты в продвижении перспективных исследовательских проектов, которые могут преодолеть разрыв между фундаментальными исследованиями и инновационными приложениями.

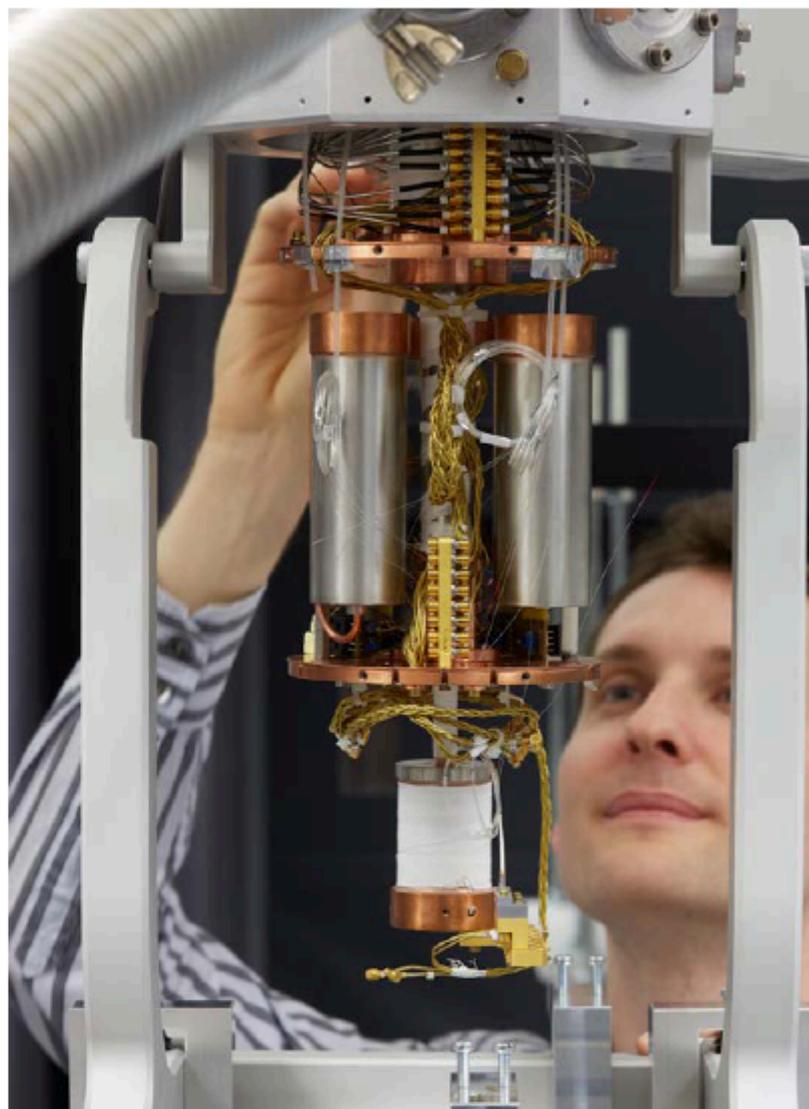
⁴² <https://www.bmbf.de/foerderungen/bekanntmachung-1371.html>



Молодые ученые должны претендовать на руководящие должности в промышленности и науке. В 2018 году для первых групп было выделено около 25 миллионов евро. Младшие исследовательские группы будут регулярно проводить совместные семинары, на которых они смогут обмениваться информацией, идеями и налаживать контакты друг с другом.

Второй тур отбора состоится в 2020 году.

- В марте 2018 года BMVF объединился с партнерами из науки и промышленности, чтобы провести первую академию Quantum Futur. Это недельное мероприятие для продвинутых студентов университетов. Программа, состоящая из лекций, практической работы и экспертных групп на уровне руководства, позволяет получить представление о последних разработках и индивидуальных возможностях в области квантовых технологий. Помимо повторного проведения академии "Квантовое будущее" в 2019 году, BMVF работает над дальнейшим развитием концепции, планируя запустить аналогичные инициативы на европейском уровне. Они будут запущены с 2020 года и направлены на то, чтобы укрепить репутацию Европы в плане поощрения новых талантов в области квантовых технологий.
- Проекты по финансированию исследований и разработок в области квантовых технологий уже вносят заметный вклад в поддержку молодых талантов в этой области. Десятки бакалаврских, магистерских и докторских диссертаций были завершены в рамках совместных проектов и проектов по разработке технологий в рамках программы космического управления DLR." Молодые ученые и инженеры, кроме того, смогли развить свои докторские и постдокторские работы в этих проектах, тем самым создав хорошую позицию для последующей научной карьеры или получив квалификацию для дальнейшей работы в промышленных условиях. В течение следующих нескольких лет национальная аэрокосмическая программа продолжит эту успешную стратегию поддержки молодых талантов.
- Федеральное правительство планирует создать каталог лучших практик по интеграции квантовых технологий в другие курсы, помимо физики, и поддержать испытания новых концепций. Цель здесь состоит в том, чтобы создать более прочные связи между кафедрами и разработать программы деятельности, дополняющие, например, исследовательскую подготовку PhD.



Проекты прикладных исследований, которые уже вырисовываются на горизонте, поглотят большую часть имеющихся человеческих ресурсов в области квантовых технологий

Сообщество. Молодые ученые-новаторы могут создавать свои собственные рабочие группы и расширять профессиональную сферу. Таким образом, младшие исследовательские группы в области квантовых технологий представляют собой расширение существующего исследовательского ландшафта с точки зрения как умов, так и тем.

4 Планирование ресурсов

Затраты на исследования, разработка и применение квантовых технологий в настоящее время финансируются в основном в контексте основного финансирования со стороны исследовательских организаций или в рамках отдельных инициатив по финансированию проектов. В настоящее время Германия располагает поддающимися количественной оценке ресурсами в размере около 100 миллионов евро в год. С учетом новых инициатив, описанных в этой программе (см. Раздел 3), федеральное правительство будет располагать запланированными ресурсами в размере около 650 миллионов евро на период с 2018 по 2022 год. Ожидается, что программа продлится до 2028 года. Федеральное правительство и парламент будут принимать решения о его направленности, обязанностях, содержании и финансовой структуре на период с 2022 года на основе научных и коммерческих разработок в области квантовых технологий и их приложений.

Квантовые технологии обещают Германии огромные возможности для роста как промышленного центра. Для того чтобы разработать эти технологии как можно раньше и привести их к плодоношению, важно, чтобы промышленность и наука, политика и общество работали сообща.



5 Приложение: Организации, финансирующие

НИОКР,

неуниверситетские исследовательские

организации и ведомственные исследовательские

ИНСТИТУТЫ 5.1 Немецкий исследовательский фонд

Немецкий исследовательский фонд (DFG) начал много лет назад финансировать исследования, непосредственно связанные с квантовыми технологиями. Здесь стоит отметить, что темы в предложениях часто будут играть заметную роль. Практически невозможно делать прогнозы относительно будущего развития событий, поскольку у заявителей есть свободный выбор тем для подачи заявок и инициатив, и DFG не выдвигает здесь никаких конкретных требований. Ответственный департамент не считает, что есть какие-либо признаки того, что нам следует ожидать сокращения ресурсов, запрашиваемых в этой области исследований, или объема финансирования.

В 2018 году DFG профинансировала исследования, непосредственно связанные с квантовыми технологиями, предоставив гранты на сумму 52,9 миллиона евро ежегодно. Из них 35,6 млн. евро выделяются на скоординированные программы (исследовательские группы, приоритетные программы, специальные области исследований, программы последипломного образования, кластеры передового опыта). Оставшиеся 17,3 млн. евро представляют собой индивидуальное финансирование (материальные гранты, исследовательские гранты, программа Эмми Нетер, программа Гейзенберга, проекты Рейнхарта Козеллека), премии и программу "Международные научные контакты".

Эти данные основаны на проектах, которые получали текущее финансирование по состоянию на 30 апреля 2018 года.

5.2 Общество Макса Планка

Общество Макса Планка (MPG) было одним из первых сторонников фундаментальных исследований в области квантовых технологий, в смысле второй квантовой революции. Институт квантовой оптики Макса Планка (MPI) в Гархинге был основан в 1981 году. Экспериментальный филиал MPI по гравитационной физике в Ганновере был основан в 1993 году, за ним в 1994 году последовал Дрезденский MPI по физике сложных систем, а затем в 2009 году Erlangen MPI по науке о свете. В дополнение к этому, Институты исследования твердого тела Макса Планка (Штутгарт), Химическая физика твердого тела (Дрезден),

Институт структуры и динамики материи (Гамбург), физика микроструктуры (Галле) и Институт Фрица Хабера в Берлине - все они в той или иной степени работают над аспектами этой темы. В свете фундаментальных исследований по квантовой технологии, проходящих через эти институты-денция, в миль на галлон считает себя пионером в области квантовых технологий и сторонник нынешней специалист программы для квантовых технологий. MPG рассматривает квантовые технологии как стратегически важную тему не только в связи с фундаментальными исследованиями, но и в свете их потенциальных экономических выгод. Германия занимает выгодное положение с точки зрения фундаментальных исследований и может взять на себя ведущую роль в международной гонке за квантовыми технологиями. Достижение этой должности требовало долгосрочной стратегии, и программа позволит реализовать эту стратегию. MPG предоставляет ключевые экспертные знания для участия в этом процессе, особенно в областях:

- Квантовых вычислений и квантового моделирования

(Берлин, Дрезден, Гархинг, Галле, Гамбург и Штутгарт) Квантовая

- коммуникация, включая спутниковую связь (Гархинг и Эрланген) Квантовая метрология, в частности технология сверхчувствительных интерферометрических датчиков (Ганновер и Эрланген)

MPG рассматривает свой вклад в национальную стратегию прежде всего в продвижении и расширении фундаментальных исследований мирового уровня. Это включает в себя открытие новых областей, патентование новых идей и участие в национальных и международных исследовательских сетях. MPG также заинтересована в участии в создании прикладных технологий, основанных на фундаментальных явлениях второй квантовой революции. В этой работе будут задействованы такие организации, как независимые исследовательские группы Макса Планка и Международные исследовательские школы Макса Планка. Представители MPG внесли значительный вклад в концептуальный документ, подготовленный научным сообществом (QUTEGA), и стремятся поддержать инициативы, которые выходят за рамки установленной программы и используют инструменты грантов на исследования, рекомендованные в руководстве. -

исправлено в рамках статьи, например, создание консорциумов и младших исследовательских групп. Эти консорциумы должны опираться на проверенный опыт в своих различных областях, чтобы внедрять максимум инноваций в конкретных местах или по всем направлениям.

5.3 Fraunhofer Society

Общество Фраунгофера рассматривает квантовые технологии как важную возможность для будущего

Германии и Европы как ключевого региона высоких технологий.

Чтобы обеспечить себе место в международной гонке за прикладными квантовыми технологиями, Общество выделило инвестиции в размере около 20 миллионов евро для финансирования обширной исследовательской деятельности; финансирование является частью приоритетной стратегической инициативы "Фраунгоферская повестка дня на 2022 год". Для немецкой и европейской экономической зоны будет создана структура передачи и эксплуатации, объединяющая многопрофильный пул специалистов, привлеченных из двенадцати институтов Фраунгофера. Цифровая трансформация и суверенитет цифрового общества в Германии и Европе являются ключевыми факторами для этой стратегии финансирования.

Основным проектом финансирования в рамках приоритетной стратегической инициативы является флагманский проект "QUILT" ("Квантовые методы для передовых решений в области визуализации"), координируемый IOF Фраунгофера и IPM Фраунгофера и с участием еще четырех институтов Фраунгофера (ILT, IMS, IOSB, ITWM). Ведущие международные эксперты в области квантовой оптики будут работать с Институтом квантовой оптики и квантовой информации (IQOQI) Австрийской академии наук и Институтом науки о свете Макса Планка (MPG-MPL) для разработки сценариев применения и демонстраторов в области квантовой визуализации. Ключевыми направлениями этой работы будут призрачные изображения для биомедицинской визуализации и оптическое дистанционное зондирование в сочетании с производственными методами, основанными на квантовой оптике для области литографии с высоким разрешением. В консультативный совет по флагманскому проекту также войдут ключевые представители сектора оптики и фотоники немецкой промышленности.

Центральная инициатива по использованию квантовых датчиков принимает форму целенаправленного проекта с участием трех институтов Фрайбурга: IAF, IPM и IWM. Проект был запущен в 2018 году и совместно финансируется штатом Баден-Вюртемберг. Он закреплен в одном из

ведущие регионы в области квантового зондирования в немецком и европейском исследовательском пространстве, объединенные с центрами передового опыта в университетах Штутт-Гарта и Ульма. Проект затрагивает одно из самых перспективных направлений квантового зондирования, развивая его и превращая в приложения. Его основные исследования сосредоточены на процессах создания индивидуальных NV центров дефектов в алмазных решетках и производстве оптических магнитометров, основанных на манипулировании спиновыми состояниями в паровых ячейках. Их можно использовать для проведения измерений мельчайших токов и магнитных полей с высоким разрешением вплоть до самого низкого наноразмерного уровня. Предусмотрен широкий спектр прикладных сценариев - от микроэлектроники и медицинских технологий до геодезии или химического и биомедицинского анализа. Проект фокусируется на анализе и разработке микро- и нанoeлектронных компонентов, и его цели соответствуют компетенции объединения "Research Fab Microelectronics Germany".

Исследовательские партнерства Фраунгофера и Макса Планка также играют важную роль в совместной работе с передовыми партнерами в области исследований в области квантового зондирования и метрологии. IAF Фраунгофера работает с MPI по исследованию твердого тела (MPG-FKF) и Штуттгартским университетом над технологией датчиков магнитного поля высокого разрешения для спектроскопии ядерного магнитного резонанса в наноразмерных масштабах. Fraunhofer IPM и MPI для квантовой оптики (MPG-MPQ) проводят совместные исследования в области сверхточной спектроскопии для квантовой метрологии с использованием частотных гребенок. Партнеры MPQ закладывают основы для различных приложений квантового зондирования в рамках высокоточных технологий синхронизации в сочетании с измерениями ускорения и силы тяжести с высоким разрешением.

Программа "Привлечь" предоставляет возможность выдающимся ученым, работающим в области передовых исследований, привнести свои навыки во Фраунгоферовское общество для работы по выбранным направлениям исследований. Дочерняя исследовательская группа (Quantum Technology Laboratories GmbH) из IQOQI уделяет особое внимание квантовой коммуникации наряду с деятельностью по квантовой оптике во флагманском проекте Fraunhofer IOF. Исследовательская группа работает над переплетением фотонных пар по нескольким характеристикам, чтобы повысить эффективность передачи для спутниковых сетей электронной и волоконно-оптической квантовой связи. Сети..... Это укрепит сотрудничество между

IOF Фраунгофера и IQOQI как международно признанный центр квантовой теории информации. Совместная лаборатория, которой будут управлять два объекта, в настоящее время находится в стадии разработки.

Стимулирующие технологии как модульные квантовые инструменты

Многие приложения, основанные на квантовых технологиях, могут разрабатываться как модульные комбинации различных стимулирующих технологий. Полный технологический спектр универсальных квантовых инструментов рассматривается в областях знаний и портфолио институтов Фраунгофера на основе приоритетных стратегических инициатив в области материаловедения, фотоники и микроэлектроники, микросхем, а также информационных и коммуникационных технологий. Среди текущих проектов развития можно выделить несколько лидеров:

- Однофотонные технологии: источники для определения-

- тис-фотоны, запутанные фотонные пары и платформы для интегрированного параметрического преобразования частоты (Fraunhofer CAP-UK, НИИ, IAF, ILT, IMM, IOF, IOSB, IPM, ITWM) Фотонные интерфейсы,
- технологии интегрированных волноводов и микрооптики (Fraunhofer CAP-UK, НИИ, IAF, ILT, IOF)
- Материаловедение и высокоточные процессы изготовления квантовых сред в форме изолированных квантовых точек и протяженных оптических систем....., векторные и матричные схемы расположения квантовых точек с заданными характеристиками (IAF Фраунгофера, IMM, IWM).

Эти элементы лягут в основу модульной технологии- логии платформах включение системного, комплексного представления sys- тем интеграции в различных областях применения.

Предусматриваемые вспомогательные технологии включают:

- Спектрально перестраиваемые источники одиночных фотонов
- Фотонные платформы и фотонные интегральные схемы.

- для управления и отображения изолированных квантовых центров и квантовых массивов в системах обработки квантовой информации и

- квантового зондирования, детекторах и архитектурах микроэлектронной среды для записи, усиления и оцифровки крошечных сигналов

Институты Фраунгофера вносят свой вклад в прогресс в области перспективных технологий, проводя исследования в областях информатики, математики и моделирования материалов.

Ключевыми темами здесь являются виртуализация квантовых физических процессов с целью оптимизации модульных приложений и обеспечение безопасности традиционных сетей связи

в рамках существующих архитектур безопасности. Для обеих областей были определены конкретные цели : • Моделирование сложных квантовых систем в терминах

декогеренция и энергетическом уровне структуры, теоретический анализ квантовых механизмов заражения и квантовой информации транспортом (Фраунгофера ITWM, CPC, SCAI)

- с использованием искусственного интеллекта и методов машинного обучения для анализа сложных взаимодействий между отдельными компо- нент в модульном квантовых технологий, к системе оптимизации и тестовых сценариев (Институтом Fraunhofer ITWM, SCAI)
- внедрение квантового распределения ключей в традиционные криптографические протоколы, связывающий квантовую связь- телекоммуникационные сети к традиционным безопасности архитектурной TypeC (Институтом Fraunhofer AISEC, сидеть)
- Пост-квантовой криптографии (Институтом Fraunhofer AISEC, сидеть)

Эти модульные технологии закладывают основу для общей стратегии эксплуатации Общества Фраунгофера. Пул стимулирующих технологий будет разрабатываться синергетически посредством скоординированной исследовательской деятельности, и ориентирована на конкретные сценарии применения. Данная стратегия разработки является основой широкой инфраструктуры- структуры для передачи и эксплуатации технологий.

Инфраструктура для передачи технологий и эксплуатации

Компетенции в области квантовых технологий будут объединены в рамках приоритетных стратегических инициатив, создавая организационную основу для обширной инфраструктуры для передачи и использования технологий. Многочисленные междисциплинарные исследовательские проекты в различных прикладных областях в институтах будут связаны между собой. Этот подход согласуется с ведущей инициативой Европейской комиссии FET, и предполагается, что цели "Европа- ап" будут активно поддерживаться с помощью структуры эксплуатации, разработанной Обществом Фраунгофера.

Область исследований в области квантовой визуализации

IOF Фраунгофера в Йене координирует флагманский проект "QUILT" в одном из ведущих центров Германии в области оптики и фотоники. Участвующие институты (ILT, IMS, IOF, IOSB, IPM, ITWM) участвуют в исследовательских проектах, ориентированных на высокий потенциал применения запутанных фотонных пар для получения оптических изображений, спектроскопии и литографии. Центральная цель флагмана - идентифицировать и демонизировать-

оцените добавленную стоимость, которую могут предложить квантово-оптические процессы, по сравнению с новейшими разработками в конкурентных традиционных технологиях. Это позволит решить важную проблему традиционных процессов получения изображений: их нелегко применять с чрезвычайно коротковолновыми или длинноволновыми источниками света или сложными неоднородными средами. Возможность передачи информации между парами фотонов, разделенных физически и спектрально с помощью запутывания, является отправной точкой для повышения ценности подхода квантовой оптики. В областях визуализации призраков и гиперспектральной визуализации, сложные спектральные диапазоны и искажающие среды могут быть доступны для установленных оптических процедур, используя современную технологию детекторов и стандартные оптические методы. Тем временем проекты в области оптической микроскопии и дистанционного зондирования будут касаться качества разрешения, обнаружения конкретных материалов и фотоксичности, качества изображения, глубина проникновения и охват рассеянных тканей и атмосферных искажений. Этот подход привносит жизненно важные инновации в устоявшиеся области применения для биомедицинской визуализации и агностики, тестирования материалов, анализа процессов и окружающей среды, технологий безопасности и автоматической мобильности.

В

Область исследований в области квантового зондирования

Сенсоры играют центральную роль в цифровой экономике Германии и Европы

. Исследования в Fraunhofer IAF в сотрудничестве с Fraunhofer IPM, IWM, IMM и CAP-UK сосредоточены на твердотельных технологиях, которые могли бы способствовать широкому использованию индивидуальных квантовых датчиков при комнатной температуре и в различных средах. Это исследование позволит устранить основное препятствие для квантовых сенсоров: из-за их чрезвычайной чувствительности к условиям окружающей среды квантовым сенсорам часто требуются дорогостоящие платформы. Необходимость в криогенном охлаждении и вакуумной среде означает, что диапазон применения многих датчиков очень ограничен, несмотря на выгодные эксплуатационные характеристики. Технология синтеза центров дефектов NV в алмазных решетках позволяет изготавливать наноразмерные датчики и настраивать их характеристики для различных применений. Эта работа дополняется проектом по созданию готовых к промышленному производству оптических магнитометров с использованием паровых элементов. Их можно использовать для проведения измерений с высоким разрешением мельчайших токов и магнитных полей с пространственным разрешением вплоть до самого низкого наноразмерного уровня. Применение этой технологии заключается в разработке и анализе высокоплотных носителей информации и наноразмерных полупроводников.

Компоненты. Также будет создан принципиально новый инструмент обеспечения качества микро- и нанoeлектронных схем благодаря высокому пространственному разрешению, которое способно отображать крошечные токи, такие как токи утечки на затворе. Эта работа очень тесно связана с миссией исследовательской фабрики Microelectronics в Германии. Обладая чувствительностью в диапазоне от нескольких сотен до всего нескольких ядерных спинов, наноскалярная ЯМР-спектроскопия откроет новые возможности для химического и биомедицинского анализа. Структуру и функции химических и биологических систем можно было бы сделать визуально доступными, обнаружив ядерные и электронные спины. Высокочувствительная спектроскопия может стать способом визуального обнаружения отдельных молекул в более крупных структурах, таких как белковые системы. Бесконтактные измерения нервных путей и мозговых волн могли бы стать основой для инноваций, имеющих значительные возможности для медицинских технологий. Разработав неинвазивную систему записи и распознавания образов для мозговых волн, мы могли бы создать фундаментальную отправную точку для взаимодействия между человеком и машиной. Геодезия и навигация без использования GPS могут быть достигнуты путем измерения незначительных изменений в магнитном поле Земли. Существуют огромные возможности для применения, основанных на этих разработках, в ряде секторов: полупроводниковой промышленности, минеральных ресурсах, информационных технологиях, медицинских технологиях, технологиях безопасности, химическом и биомедицинском анализе.

Область исследований в области квантовой связи

По мере того, как высокопроизводительные информационные технологии приобретают влияние в глобальных сетях, исследования в области безопасности данных и конфиденциальных путей связи имеют огромные последствия для суверенитета цифрового общества в Германии и Европе. Защищенные коммуникационные сети-работы представляют собой критически важную инфраструктуру для современного информационного общества. Срочно требуется полный пересмотр наших традиционных архитектур безопасности, если мы хотим гарантировать строгую конфиденциальность в будущих сетях связи. IOF Фраунгофера и ННИ в настоящее время следуют дорожной карте ЕКА по распределению квантовых ключей на основе спутников (QKD), что является фундаментальным шагом к созданию сети квантовой связи в европейском регионе (ARTES и SeyLight). Исследование сосредоточено в первую очередь на создании стандартизированных технологий оптической спутниковой связи между основными географическими пунктами связи и волоконно-оптическими сетями. Основной мотивацией для этих разработок является фундаментальная безопасность при передаче данных с использованием запутанных легких частиц в качестве

носитель информации. Гарантия безопасности, предлагаемая квантовой физикой, принципиально отличается по своей природе от математических стратегий для криптографических алгоритмов, которые используются в современных технологиях. Традиционные подходы к обеспечению безопасности подвергаются риску из-за новых методов атаки и в значительной степени зависят от ресурсов, доступных злоумышленнику. С переходом к основанному на квантовой физике подходу к безопасности квантовая коммуникация внесет фундаментальный вклад в обеспечение конфиденциальности цифровой информации и передач, устанавливая новые стандарты для устойчивой стратегии безопасности. Компетенции Fraunhofer AISEC и SIT будут объединены для объединения квантовых коммуникационных технологий с традиционными архитектурами безопасности. Вспомогательные исследования будут изучать взаимодействие между квантовыми и традиционными информационными технологиями.

Квантово-полевые исследования вычислительной

Разработки в области квантовых вычислений в европейском исследовательском пространстве характеризуются формированием крупных исследовательских консорциумов для решения этой важной тематической области. Объединение ключевого опыта в пулах компетенций позволяет Европе оставаться конкурентоспособной с международными группами и интенсивным финансированием национальных исследований за пределами Европы. RWTH Ахен и Исследовательский центр Юлиха сотрудничают с Институтом QuTech и Техническим университетом Делфта в консорциуме "JARA" (Jülich Aachen Research Alliance), который вносит вклад в фундаментальные исследования в международные усилия по внедрению этой ключевой технологии. В связи с этой деятельностью ИТ Фраунгофера работает с компанией Fraunhofer CAPITAL-UK над разработкой механизмов квантового переноса для распределенных квантовых вычислений. Основными направлениями исследований являются: сложное взаимодействие между спектрально настроенными источниками одиночных фотонов, интегрированными волноводами и микрооптикой, параметрическими преобразователями частоты и встраиванием квантовых излучателей в подходящие среды и окружения. Приобретаются важные новые знания и создаются технологические основы для квантовой обработки информации. Ссылки на другие научные направления могут быть установлены с помощью этих проектов: выводы из квантовой связи и квантовой зондирования являются важными в области ФО-тоника технологий и эти поля выступают в качестве платформы для обмена с квантовой информатикой.

5.4 Ассоциация Гельмгольца

Текущая деятельность и компетенции.

Ассоциация Гельмгольца работает над широким кругом вопросов, связанных с квантовыми технологиями: от фундаментальных квантовых явлений до исследования материалов; от разработки компонентов до внедрения функциональных технических систем. Ключевыми участниками, в настоящее время работающими над темами, связанными с квантовыми технологиями, являются Немецкий аэрокосмический центр (DLR), Исследовательский центр Юлиха (FZJ), Центр Гельмгольца в Берлине (HZB), Центр Гельмгольца в Дрездене-Россендорфе (HZDR) и Технологический институт Карлсруэ (KIT). Эти пять научно-исследовательских центров нажав на существующее взаимодействие в различных областях исследований и Интер-дисциплинарные совместные проекты для того чтобы ответить на современные вопросы исследования.

В рамках двух программ "Информационные технологии будущего" (FIT) и "Суперкомпьютеры и большие данные", FZJ, HZB и KIT совместно исследуют системные и инфраструктурно ориентированные концепции квантовой обработки информации, которые будут способствовать долгосрочному развитию технологий квантовых вычислений, начиная с фундаментальных исследований и заканчивая приложениями. Цель состоит в разработке масштабируемых архитектур и квантовых алгоритмов для моделирования реальных проблем. Проект light-house в этой области - ориентированная на будущее тема масштабируемых твердотельных квантовых вычислений; в настоящее время он в настоящее время финансируется Фондом инициатив и сетей Ассоциации Гельмгольца (FZJ, RWTH Aachen, KIT). Центр нанотехнологий Карлсруэ (KNMF) в KIT и центр нанотехнологий Гельмгольца (HNF) в FZJ обеспечивают здесь важную инфраструктуру. DLR также сотрудничает с FZJ в области квантовых вычислительных приложений для воздушных и космических путешествий.

Дополняя квантовых вычислений активности, FZJ и комплекта также имеют исследования в области квантовых материалов, и ХЗБ также проведение фундаментальных исследований в этой области в рамках "подогнать" программу. Пример проекты включают топологических материалов для re-alising Майораны кубитов, синтеза молекул Кван-Тум компоненты, выращивания чистых полупроводниковых кристаллов-талс для спиновых кубитов, и разработке новых или улучшенных сверхпроводников для кубита приложений. Центры Гельмгольца (например, KIT) опираются на фундаментальные исследования для разработки высокоразвитых архитектур и физических платформ ("квантовых симуляторов"); конечная цель

станут универсальными квантовыми компьютерами. Эксперименты на сложных материалах, проводимые в рамках программы исследований материалов HZDR "От материи к материалам и жизни" (MML), вносят вклад в исследования квантовых состояний, таких как спиновые жидкости или когерентное управление квантовыми системами в нанометровом масштабе.....".

Другой ключевой областью исследований является квантовая связь и квантовое распределение ключей (QKD), цель которой - облегчить передачу состояний квантовых процессоров на большие расстояния через оптические сети ("летающие кубиты") и использовать потенциал более мелких квантовых процессоров, возникающих в результате исследований в области квантовых вычислений, для создания узлов в сетях квантовой связи. Квантовая коммуникация не только относится к области исследований ключевых технологий - она также является элементом деятельности DLR в области аэрокосмических исследований в области исследований аэрокосмических путешествий и транспорта, где она ориентирована на квантовую связь со спутниками, поддерживаемую. DLR также занимается повторным поиском в области квантовой метрологии, теме, весьма актуальной для приложений, критически важных для безопасности, а также для ее коммерческих применений (которые включают, например, мониторинг Земли, навигацию и связь - например, высокоточное определение времени для следующего поколения навигационных спутников). Другим исследовательским интересом является технология квантовых датчиков с использованием холодных атомов и конденсатов Бозе-Эйнштейна для атомной интерферометрии,

например, для инерциальных измерений ускорения и скорости вращения в космосе.

Отдельные виды исследовательской деятельности

Исследовательская деятельность Ассоциации Гельмгольца была разработана таким образом, чтобы дополнять друг друга. В течение текущего периода финансирования квантовые технологии будут исследоваться в первую очередь в контексте программ, перечисленных в таблице на стр. 38.

Программные мероприятия, имеющие отношение к квантовым технологиям, получили около 60 миллионов евро базового финансирования от BMBWF и федеральных земель, в дополнение к ресурсам фонда инициатив и сетей.

Структура долгосрочных исследований по темам квантовых технологий в Ассоциации Гельмгольца

Чтобы гарантировать долгосрочные исследования в области квантовых технологий в Ассоциации Гельмгольца и сохранить ведущую роль на международной исследовательской арене, все участвующие исследовательские центры поддерживают постоянное институциональное финансирование исследовательской деятельности. Их деятельно-связи будут простираются от чисто фундаментальных исследований предварительным работы на первых промышленных применений. Также будут прилагаться постоянные усилия для продолжения установления связей между темами исследований, независимо от того, каким образом темы привязаны к различным областям исследований.

Обзор соответствующих исследовательских мероприятий в рамках		
Программы / Темы Ассоциации Гельмгольца Область исследований		Участники
Энергетика и ключевые технологии будущих информационных технологий (FIT) -	Темы: Управление спиновыми явлениями, Управление коллективными состояниями	FZJ, HZB
Ключевые технологии	. Суперкомпьютеры и большие данные (SCBD) - Темы: Вычислительная наука и математические методы, Наука с большим объемом данных и федеративные вычисления, Суперкомпьютерное оборудование, Наука и технология наносистем (STN) - Темы: Конденсированное вещество, молекулярные спиновые кубиты, Квантовая оптика, Квантовая теория.	FZJ, KIT
Авиация, космические путешествия и транспорт	квантовое моделирование космоса - Темы: Связь и навигация, Технология космических	DLR
Материалы	систем: от материи к материалам и жизни (MML) - Темы: Квантовые конденсированные среды: магнетизм, сверхпроводимость и не только, наноинженерия и материалы для информационных технологий	HZDR, DESY, FZJ, HZB, HZG

В следующем периоде финансирования в области исследований "Ключевые технологии" (которая будет переименована в "Информация") будет уделяться повышенное внимание темам информационных технологий, особенно квантовым вычислениям. Здесь особенно важным будет тестирование осуществимости, наряду с исследованиями квантовых материалов для высокопроизводительного квантового информационного оборудования. Планируемое расширение объектов в Юлихе и Карлсруэ будет опираться на существующую исследовательскую инфраструктуру: FZJ работает над выделением расширения для объекта Helmholtz Nano (HNF) и разрабатывает пользовательскую инфраструктуру для квантовых вычислений (JuNIQ), в то время как KIT планирует основать Институт квантовых технологий, в котором разместится Литейный цех по производству квантового оборудования, где будут разрабатываться концепции материалов и среды компонентов.....Между тем в области материаловедения исследования квантовых материалов будут более сосредоточены на понимании и использовании фундаментальных ментальных взаимодействий и процессов, например, в топологических материалах и спиновых жидкостях. В дополнение к этому атомные кубиты будут изготавливаться из полупроводниковых материалов с нанометровой точностью, например, для использования в технологии квантовых датчиков. В этой работе будет использоваться исследовательская инфраструктура HZDR, которая будет развиваться в дальнейшем для этой цели.

DLR разработал трехсторонний подход к разработке квантовых технологий для аэрокосмических приложений: 1. Планируемый DLR Институт спутниковой геодезии- есы и инерциальных измерений в Ганновере будет развивать Прикладные квантовые датчики для высокой производительности земли мониторинговых миссий; цель здесь заключается в создании высокоточной Геодезической в пространстве и разработке оптических квантовых технологических процессов для космической техники. 2. Институт квантовых технологий сосредоточит свое внимание по таким темам, как квантовая метрология, квантовое зондирование, квантовые информационные технологии и волновая оптика вещества, с учетом аэрокосмических применений. 3. Это будет дополнено квантовыми технологиями- для следующего поколения спутниковых навигационных систем, которые будут разработаны в центре передового опыта Galileo .

Структура программы является частью продолжающегося диалога между Ассоциацией Гельмгольца и грантовыми органами в рамках подготовки к четвертому про-

период обучения. Стратегии, сформулированные в 2017 году, позволили Ассоциации и исследовательским отделам активизировать исследовательскую деятельность в области квантовых технологий; теперь эта деятельность должна быть закреплена в руководящих принципах исследовательской политики. Программа, разработанная на этой основе, будет оценена внешней оценочной группой в рамках стратегической оценки 2019 года.

Интеграция в немецкий и международный исследовательский ландшафт.

Участвующие исследовательские центры Гельмгольца стремятся сформировать взаимодополняющую структуру неуниверситетских исследовательских институтов, посредством чего совместные проекты будут укреплять связи между исследовательской деятельностью и университетами или другими неуниверситетскими исследовательскими учреждениями - например, в рамках национальной инициативы QUTEGA или европейского флагмана FET в области квантовых технологий. Партнерские отношения с университетами и связи с исследовательскими сетями также будут осуществляться в рамках инициативы German Excellence .

Например, FZJ основала JARA Institute для изучения квантовой информации в партнерстве с RWTH в Ахене, как часть Исследовательского альянса Юлиха Ахена (JARA). Другим партнерам, например, CEA в Гренобле, также было предложено принять участие в Флагманском проекте ЕС. Институт DLR в Ганновере связан с Кластером передового опыта в области квантовой инженерии и пространственно-временных исследований (Quantum Engineering and Space-Time Research Cluster). Среди других участников - Центр прикладных космических технологий и микрогравитации (ZARM), РТВ, Брауншвейгский технический университет, Ганноверский технологический институт (HITec) и Лаборатория нано- и квантовой инженерии (LNQE) в Ганноверском университете Лейбница - этот последний также связан через региональную сеть с Институтом гравитационной физики Макса Планка и Бременским университетом. Институт квантовых технологий DLR в Ульме также будет проводить работу в дополнение к деятельности Центра интегрированной квантовой науки и технологий нологии (IQ³) в университетах Ульма и Штутгарта и Институте исследований твердого тела имени Макса Планка в Штутгарте. HZDR также работает совместно с Дрезденским техническим университетом и Университетом Вюрцбурга в рамках предлагаемого Кластера передового опыта в области сложности и топологии в квантовой материи (ct.qmat); исследование направлено на понимание, контроль и использование фундаментальных новых состояний квантовой материи. Это дополняется рядом приложений от HZDR в рамках европейского флагмана FET в области квантовых технологий.

KIT заключил альянс с университетами Базеля, Фрайбурга и Страсбурга, чтобы основать "Европейский кампус EUCOR", где будет создан пул междисциплинарных компетенций в области квантовых технологий. В рамках другого совместного проекта KIT с CNRS Grenoble была создана лаборатория GREKIT, специализирующаяся в области сверхпроводников и квантовых технологий. Применение в контексте Флагманского проекта ЕС также будет возможно через эти консорциумы.

Дальнейшая работа является результатом сотрудничества между центрами Гельмгольца и различными международными исследовательскими учреждениями - Институтом QuTech в Делфтском университете, ETH Цюриха, Межуниверситетским центром микроэлектроники (IMEC), Фондом "Сколково", Российским квантовым центром, Национальным институтом квантовой и радиологической науки и технологий в Японии, Институтом Вейцмана в Реховоте и, наконец, Исследовательским центром Эймса НАСА

Поскольку немецкая и европейская исследовательская деятельность, связанная с квантовыми технологиями, должна позиционировать себя в международной конкурентной среде, важно укреплять международное сотрудничество с ключевыми институтами, одновременно привлекая ученых со всего мира. Поэтому Ассоциация им. Гельмгольца призывает к совместной инициативе по поиску талантов, которая обеспечит сохранение лидирующих позиций национальной и европейской исследовательской деятельности в долгосрочной перспективе.

Сотрудничество с промышленными партнерами и примеры потенциального применения

Хотя исследования в области квантовых технологий за последние годы достигли значительного прогресса в разработке готовых к внедрению технологий, все еще есть возможности для создания более прочной исследовательской базы для перехода от научных результатов к прикладным исследованиям. Аналогичным образом, исследовательские программы, ориентированные на проекты, могли бы предложить партнерам из промышленности идеальную возможность работать с исследовательскими институтами над разработкой будущих приложений для квантовых систем.

Примеры приложений, которые уже вызвали значительный интерес со стороны промышленности, относятся, например, к аэрокосмической отрасли и сфере безопасности. Для безопасной передачи информации используется квантовая связь -

технология основана на квантовом распределении ключей, в то время как квантовые датчики находят применение для спутникового мониторинга Земли, исследований и навигации с помощью гравиметров и атомных часов (Airbus, OHB, SpaceX- eTech и т.д.). Промышленные фирмы, такие как Bosch, Siemens, TRUMPF, или Volkswagen в первую очередь заинтересованы в оптимизации процессов с использованием квантового отжига. Системы количественной информации в авиации обладают огромным потенциалом, например, для оптимизации траекторий полета в интенсивно используемом трансатлантическом воздушном пространстве, включая траектории, оптимизированные для ветра.

Чтобы обеспечить динамичную исследовательскую экосистему от фундаментальных исследований до запуска приложений на рынок, нам необходимо в ближайшие годы интенсифицировать процесс передачи результатов исследований в инженерные исследования и соответствующие технические отрасли.

5.5 Leibniz Association

Отделы секции D - математический, естественнонаучный и инженерный - институтов Ассоциации

Лейбница проводят разнообразные исследования и разработки в области квантовых технологий.

Задействованы следующие учреждения:

- Институт Фердинанда-Брауна, Лейбниц-институт научно-технический центр (FBN) в Германии-verbund Berlin e.V. (Берлинская исследовательская ассоциация), Берлинский
- институт твердого тела и материалов им. Лейбница Дрезден (IFW), Dresden
- INP GmbH - Инновации для высокопроизводительной микроэлектроники,
- Франкфурт/Одер Институт роста кристаллов им. Лейбница (IKZ) в Германии, Институт
- фотонных технологий им. Лейбница (IPHT), Йена Институт нелинейных исследований
- Макса Борна Оптика и короткоимпульсная спектроскопия (MBI) в Forschungsverbund, Berlin e. V., Берлин Институт Пауля-Друде
- для экспериментальной электроники (PDI) in
- ~~Институт прикладного анализа и критики~~ ~~Вейерштрасса (WIAS), Лейбницевский институт в Форшунгсвер-~~ bund Berlin e.V., Берлин

Темы исследований в области квантовых технологий в этих институтах в основном основаны на фотонных технологиях; они варьируются от базовых вопросов, таких как квантовая когерентность, до разнообразных тем в области "перспективных технологий" - нологий - материалов, компонентов, модулей, ... - и далее до систематических постановок проблем в областях квантовых сенсорных технологий, метрологии и связи. Институтами, обладающими наибольшим количеством тем по квантовым технологиям, являются FBH, IHR и IPHT, которые тесно сотрудничают с промышленными партнерами во всех своих областях, а также планируют предлагать решения для квантовых технологий, готовые к применению в промышленности.

Исследовательская деятельность институтов по-прежнему в первую очередь ограничивается их собственными сетями и местными связями или тесным сотрудничеством с местными университетами.

Недавно на уровне Ассоциации

Лейбница был инициирован процесс разработки стратегии, и первым результатом этого стала заявка на создание научного кампуса Лейбница в районе Берлина "Фотонные квантовые технологии Берлин" (QuantecB). Исследовательская деятельность в этом кампусе будет сосредоточена на квантовых технологиях в рамках Ассоциации Лейбница; кроме того, все берлинские университеты активно проводят исследования в области фотонно-квантовых технологий. Другие соответствующие институты Лейбница, которые все расположены в районе Берлина, будут в среднесрочной перспективе активно участвовать в развитии Научного кампуса.

Подробнее: восемь институтов секции D

Ассоциации Лейбница работают над следующими ведущими разработками в области квантовых технологий:

Фердинанд-Браун-институт, Лейбниц-институт фюр Höchstfrequenztechnik (ФБГ) исследование электронных и оптических компонентов, модулей и систем, основанных на полупроводниковых соединениях, с особым акцентом на высокие частоты передатчиков и источников света, от инфракрасного до ультрафиолетового диапазона. Это всемирно признанный центр полупроводниковых соединений III-V типа, обладающий всеми компетенциями по всей цепочке создания стоимости от проектирования до определения характеристик полупроводниковых компонентов, модулей и систем.

Целью работы FBH в области квантовых технологий является создание мобильных, энергоэффективных оптико-электронных модулей в различных областях применения, имеющих отношение к обществу, и доведение их до готовности для использования в полевых условиях.

Необходимым условием для этого является надежная доступность миниатюрных оптико-электронных модулей с требуемой функциональностью, которые могут быть оптимизированы с учетом размера, веса, энергопотребления и затрат (SWAP-C). Компания FBH в совершенстве владеет технологиями, играющими ключевую роль в этом процессе - лазерной технологией, полупроводниковой технологией III-V типа и технологией микроинтеграции - и постоянно развивает их.

В результате внутреннего конкурса в Ассоциации

Лейбница FBH получила право на постоянное увеличение своего основного финансирования на треть (примерно на 4 миллиона евро) с 2019 года. Институт будет использовать это финансирование для развития нового направления исследований: "интегрированные квантовые технологии". Институт физики при Университете Гумбольдта будет очень тесно связан с этим. Три его отдела и две младшие исследовательские группы работают над квантовыми технологиями и уже имеют очень тесные связи с FBH. Ожидается, что объединение системного опыта HU Berlin с технологическими логическими навыками и опытом передачи от FBH - в частности, в отношении полупроводниковых источников света - приведет к быстрой реализации зрелых модулей и систем для фотонно-квантовых технологий в промышленных и космических приложениях.

В июне 2018 года, FBH возглавила совместный

проект с MVI, Институтом Генриха Герца, Институтом телекоммуникаций Фраунгофера и тремя университетами Ассоциации Лейбница в Берлине по подаче заявки на участие в научном кампусе "Фотонно-квантовые технологии Берлин" (QuantecB). Партнеры объединяют здесь свои исследования и образование в области фотонно-квантовых технологий, уделяя особое внимание квантовой коммуникации и метрологии. Будет проработан ряд весьма релевантных вопросов: от базовых экспериментов (например, по квантовой когерентности) до решений различных технологических проблем в области "стимулирующих технологий" - например, создания фотонных модулей на мобильных платформах - и систематических проблем, таких как создание и применение источников света для запутанных фотонов, которые могут быть использованы в ИК-спектроскопии и микроскопии. В области квантовой коммуникации должна быть построена полностью работоспособная квантовая сеть с безопасными связями между тремя берлинскими университетами-партнерами и испытательным стендом для исследования квантовых компонентов волоконно-оптических сетей в реальных условиях.

В дополнение к исследовательской программе an academic

программа будет добавлена к существующему магистерскому курсу "Оптические науки" в Университете Гумбольдта.

Дрезденский институт твердого тела и поиска материалов имени Лейбница (IFW) занимается современным материаловедением, основанным на фундаменте естественных наук, таким образом, охватывая область от научных открытий в области физики и химии до технического производства новых материалов и изделий. Исследования IFW направлены на изучение, в частности, полупроводников, магнитных материалов и компонентов, которые могут быть использованы в квантовых технологиях. Центральный вопрос здесь заключается в том, существуют ли ограничения на размер полупроводниковых квантовых систем. Речь идет не только о миниатюризации - не менее интересно то, насколько хорошо квантовые структуры масштабируются до все более крупных сетей. Эти исследования станут отправной точкой для изучения технических ограничений для области квантовых информационных технологий.

ИНР - инновации для высокопроизводительной микроэлектроники- tronics концентрируется на исследованиях и разработке кремниевых систем и высокочастотных схем и технологий. Его работа включает в себя исследование новых материалов, связанных с ними. Для этого требуется вертикальный подход, объединяющий исследования материалов, технологий, цепей и систем в единую инновационную цепочку. Полученный в результате опыт затем может быть интегрирован в исследования и разработки в области количественных технологий на различных уровнях." Аппаратные системы являются здесь важнейшими элементами: они действуют как носители, хранилища, передатчики и приемники квантовой информации. Конкретные исследования, проводимые ИНР в области квантовых технологий, основаны на разработке новых материальных систем из полупроводников группы IV, (криогенных) СВЧ- схем SiGe/III-V для управления квантовыми системами, электронно- фотонных интегральных схем на базе SiGe или III-V для управления светом и манипулирования им, а также энергоэффективных беспроводных сенсорных узлов на основе криптографических протоколов передачи данных.

Институт роста кристаллов имени Лейбница (IKZ) проводит фундаментальные научно-технические исследования по получению, выращиванию, переработке и определению физических и химических характеристик кристаллических неорганических твердых веществ, особенно полупроводниковых кристаллов, кристаллов оксидов и кристаллов фторидов. IKZ может исследовать уникальные материалы и делать их доступными для квантовых технологий. Был создан новый центр лазерных материалов, где доступны новые типы кристаллов для

генерация света и управление им; без этого фото- тонические квантовые технологии были бы невозможны. IKZ также может производить кристаллы изотопа Si-28 с очень высокой чистотой, которые представляют собой потенциальную материальную основу ("полупроводниковый вакуум") для квантовых вычислений.

Институт фотонных технологий имени Лейбница (IPHT) изучает научные основы высокочувствительных, высокоэффективных фотонных методов и систем с высоким разрешением . Отдел квантовой детекции в IPHT исследует нанометровые перемещения электрических зарядов в органических материалах, таких как клетки, ткани и белки. Его измерения помогают ответить на фундаментальные биологические вопросы и могут быть использованы для составления выводов о потенциально патологических изменениях . Другие исследовательские работы в области квантовых технологий в IPHT включают i) квантовую фотонику с ограничением света, ii) счетчики одиночных фотонов со сверхпроводниками , iii) сверхпроводящие кубиты в цифровых схемах, iv) использование оптических магнитометров для обнаружения аксионов, v) сверхпроводящие квантовые датчики.

Институт нелинейной оптики и короткоимпульсной спектроскопии имени Макса Борна (МБИ) проводит фундаментальные исследования в области нелинейной оптики и сверхбыстрой динамики, возникающие при взаимодействии лазерного излучения и рентгеновских лучей с веществом, и ищет приложения, которые появляются в результате этих исследований. МБИ управляет комплексной экспериментальной инфраструктурой для нелинейных спектроскопических и структурных исследований в сверхбыстром временном диапазоне от атто до пикосекунд. Другие квантовые технологии исследования особенно актуальны для создания подробной модели динамики и сопряжения последовательных эле- тельные результаты: двумерный ТГц spectroscopy, мониторинг ориентированного транспорта через ТГц носителей заряда выбросов, и фотонного Эха процессов в инфракрасном спектральном диапазоне.

Международный электротехнический институт имени Пауля Друде (PDI) работает над фундаментальными исследованиями в области материаловедения и физики в области микро- и оптоэлектронных компонентов, основанных на новых типах базовых принципов. Особое внимание в исследовании уделяется низкоразмерным системам в наноструктурированных полупроводниках. Низкоразмерные системы имеют потенциальное применение в квантовых технологиях. Например, PDI исследует по- ларитонные решетки в полупроводниковых микрополостях, которые могут оказаться пригодными для квантового моделирования. Это

включает локализацию отдельных поляритонов в решетчатых структурах.

Институт прикладного анализа и стохастики Вейерштрасса (WIAS) Лейбницевского института в Форшунге-Вербунде, Берлин, исследует прикладной анализ и случайные процессы, чтобы помочь решить сложные циклы проблем из экономики, науки и технологий. WIAS является ведущим партнером в области признанной на международном уровне берлинской прикладной математики. Партнеры WIAS из сферы науки и промышленности используют ее модели и численные методы для различных приложений. Математические методы имеют очевидное значение как "технология, способствующая развитию" квантовых технологий - например, они могут использоваться для статического или динамического моделирования электро-оптических модулей для квантовой метрологии.

Деятельность по исследованиям и разработкам в области квантовых технологий в этих институтах будет значительно расширяться в течение следующих нескольких лет. Институты будут также активно разрабатывать стратегию для отрасли с целью сделать квантовые технологии одним из ключевых направлений деятельности Ассоциации Лейбница. Институты намерены опираться на свои разнообразные компетенции и тесное сотрудничество с университетами, техническими колледжами и промышленными предприятиями, чтобы действовать как надежный мост для преобразования результатов фундаментальных исследований в практические приложения, особенно в области фотонных квантовых технологий.

5.6 Национальный институт метрологии

of Germany (Physikalisch-
Technische Bundesanstalt, PTB)

Уставной мандат Физико-технического Бундесанштальта (PTB), национального метрологического института Германии, включает отслеживаемые измерения и предоставление услуг, в том числе в области квантовых технологий. Примеры квантовых технологий, имеющих отношение к PTB, включают высокоточные квантовые стандарты для электрических переменных (сопротивление, напряжение), высокоточные датчики магнитных полей, давления или температуры, одноэлектронные насосы с высокой степенью неклассических характеристик, а также источники одиночных фотонов и детекторы для квантовой радиометрии и квантовой криптографии. Другие важные результаты исследований PTB включают сверхстабильные и высокоточные часы с

широкий спектр применений в связи, навигации и геодезии. PTB систематически наращивает свою работу по развитию квантовой метрологии и технологии квантовых датчиков в ходе своего регулярного стратегического планирования - это связано с огромным коммерческим потенциалом и ожидаемым спросом со стороны научных исследований и промышленности.

Это накопление суммы технологий конкуренции-коммуны Танс по ПТБ существенно усилена за счет систематического создания успешной сети в Нижней Саксонии и во всем мире. Через сеть были реализованы инновационные концепции и квантовые технологии успешно внедрены в промышленность, как правило, в рамках проектов, финансируемых государством (например, специальные области исследований и Кластер передового опыта). Устойчивая инфраструктура НИОКР также была создана благодаря связям, созданным между исследовательской программой PTB и другими партнерами (Ганноверским университетом Лейбница, Институтом гравитационной физики Макса Планка, Центром прикладных космических технологий и микрогравитации, лазерным центром Ганновера, Техническим университетом Брауншвейга). Также были созданы два новых исследовательских корпуса: "Ганноверский технологический институт" (HTec) в Ганноверском университете Лейбница и LENA (Лаборатория развивающейся нанометрологии) в Брауншвейгском техническом университете. Здесь университеты и PTB объединяют свой опыт и работают над разработками в области метрологии и квантовых сенсорных технологий для приложений, выходящих за рамки лаборатории. Совместные назначения на должности младших профессоров укрепят экспертные знания в области ключевых компонентов для квантовых технологий и активизируют исследования по использованию квантовых эффектов в наноструктурах и оптических наноматериалах в метрологии и сенсорных технологиях. Кроме того, существуют многочисленные исследовательские проекты и сети на европейском и международном уровнях, работающие над различными аспектами метрологических количественных технологий и их промышленного применения (см. Раздел 3.5), включая MPQ (Гархинг) и MPM (Гейдельберг) Институтов Макса Планка.

Это долгосрочное стратегическое развитие облегчает всестороннюю поддержку промышленности и означает, что крупные проекты могут быть реализованы совместно с другими исследовательскими учреждениями. Некоторые из этих мероприятий описаны ниже, а также то, как новый Центр передового опыта в области квантовых технологий откроется в PTB.

PTB обеспечит дополнительную ценность для внешних партнеров.

Мероприятия охватывают области, описанные в разделе 3 - компоненты и технологии, калибровка и услуги, а также платформы приложений, с одной стороны; бизнес-инкубаторы, обучение, связи с общественностью и передача технологий - с другой.

Электрическая квантовая метрология

ПТБ - единственный национальный метрологический институт в мире с полной производственной линией для сверхпроводимых-дистог и полупроводниковых квантовых стандартов и электрических квантовых стандартов на основе графеновых слоев. РТВ смогла опираться на этот фундамент, чтобы утвердить свои позиции мирового лидера в области электрических квантовых стандартов. Компания уже осуществила успешные проекты по передаче технологий в сотрудничестве с немецкими МСП и для их поддержки. Современная технология электрических измерений, основанная на квантах, охватывает только небольшое количество электрических переменных в узких диапазонах значений и частот и опирается на дорогостоящее оборудование, для работы с которым требуются экспертные знания. Если отрасль на получение прибыли в среднесрочной перспективе внутренних преимуществ квантовых электрическая МЭС-agement технологии - высокая точность измерений круглосуточно без перерыва в течение межповерочного - необходимо упростить условия эксплуатации и повышения удобства пользования через автоматизацию. Планируемый Центр передового опыта позволит РТВ систематически исследовать и разрабатывать новые материалы для упрощения условий эксплуатации квантовых электрических стандартов. Кроме того, постоянно финансируемый Центр передового опыта позволит динамично стимулировать прогресс в разработке высокоинтегрированных электрических квантовых схем, тем самым делая их доступными для более широкого диапазона переменных, значений и частот. В то же время работа по повышению удобства использования и автоматизации технологий электрических измерений на основе квантовых технологий может быть продолжена в контексте тесного сотрудничества с промышленными партнерами.

Первые шаги по созданию Центра передового опыта в области квантовых технологий представляют собой важный вклад в открытие технологии производства сверхпроводников и полупроводниковых квантовых стандартов. Это ускорит деятельность по передаче технологий в этой области, параллельно прокладывая путь к созданию пользовательских платформ для мелкосерийного производства квантовых систем на основе твердых тел.

Квантовая метрология времени и частоты, квантовые компьютеры и квантовое моделирование

РТВ является мировым лидером в области исследований в области разработки оптических атомных часов и связанных с ними периферийных устройств - микроструктурированных атомных ловушек, сверхбыстрых лазеров, волоконно-оптических маршрутов для передачи частоты и портативных оптических часов. Сотрудничество с немецкими малыми и средними предприятиями в контексте проектов по передаче технологий и пилотного проекта ВМВГ в области квантовых технологий "Opticlock - Оптические одноионные часы для пользователей"⁴³ мы строим на этом фундаменте, и некоторые отдельные компоненты и целые портативные часовые системы уже разработаны. Первые применения переносных часов в области геодезии были продемонстрированы в рамках проектов, финансируемых государством. Микроструктурированные ионные ловушки для масштабируемых оптических часов также будут разработаны и изготовлены в РТВ с использованием технологий полупроводниковой промышленности. Немецкая промышленность в настоящее время особенно активна в области ключевых компонентов для квантовых технологий. Это включает разработку лазеров и специализированных активных и пассивных оптических компонентов. Здесь существует значительная потребность в передаче системных компетенций, подкрепленных высокоуровневыми технологиями измерения, валидации и описанием характеристик компонентов. Соответствующие процессы, например, в области разработки атомных ловушек, сложны и требуют не только экспертных знаний, но также дорогостоящей аппаратурной инфраструктуры, которую МСП не в состоянии внедрить без поддержки. Благодаря Центру передового опыта РТВ сможет сотрудничать с промышленностью в разработке компонентов, основанных на времени и частоте, открывая тем самым новые области применения. Валидация РТВ ключевых компонентов, прототипов и изготовленных устройств обеспечила бы значительный толчок конкурентоспособности немецкой промышленности на международной арене в этой области. Обеспечение производственных мощностей в Германии и Европе для атомных ловушек и их последующая передача в промышленность также имеет большое значение для разработки квантовых компьютеров на основе захваченных атомов.

Установление стратегических партнерских отношений с например, институтами Фраунгофера, которые обладают соответствующими компетенциями в области материалов и оптики, заложит основу для этого для миниатюризации основных активных и пассивных оптических компонентов, и их интеграции квантовых датчиков.

⁴³ <http://www.opticlock.de>

Существуют также ключевые звенья в запланированных мероприятиях Института спутниковой геодезии и инерциального зондирования DLR в Ганновере, а также в области передачи данных без оптического излучения (DLR) во времени и частоте (РТВ).

Кроме того, ключевые компоненты для квантовых технологий будут разрабатываться с учетом операционной стабильности, долгосрочного развертывания и эксплуатации неопытными пользователями; в то же время существующая инфраструктура измерений и настройки характеристик будут расширены в сотрудничестве с промышленностью.

Измерение крошечных магнитных полей

Одна квантовая технология, которая уже применяется, использует принцип сверхпроводящих квантовых интерферометров (SQUID - Сверхпроводящее квантовое интерференционное устройство) для проведения сверхчувствительных измерений магнитного поля и высокочувствительных измерений физических переменных, которые изменяются магнитными токами, например электрическим током. Магнитометры SQUID используются уже много лет для измерения крошечных магнитных полей, генерируемых нервной активностью в человеческом мозге (МЭГ - магнитоэнцефалография). РТВ и другие институты добиваются прогресса в разработке других новых методов биомедицинского анализа и диагностики, в которых используются эти квантовые датчики.

В дополнение к SQUID-магнитометрам, SQUID-датчики тока стали передовой технологией, которая может использоваться в квантовой связи для однофотонных детекторов, а также в многочисленных экспериментах в контексте фундаментальных исследований.

РТВ располагает уникальной на международном уровне инфраструктурой для технологии тонких слоев сверхпроводника и специальных методов измерений. Он управляет аппаратным центром, финансируемым DFG, где внешние пользователи могут иметь доступ к квантовым методам измерения магнитного поля для сверхнизких магнитных полей.

Разработки сверхпроводниковых датчиков уже были в ограниченной степени коммерциализированы РТВ в рамках передачи технологий в ответ на спрос на подходящие компоненты и комплексные системы. Эта инфраструктура будет расширена в строящемся в настоящее время здании Walther- Meissner building в берлинском кампусе.

Центр передового опыта внесет решающий вклад в систематическое внедрение сверхпроводниковых технологий среди более широкой, в первую очередь промышленной, потребительской базы и будет оказывать поддержку МСП, разрабатывающим продукты в этой области. Одним из препятствий здесь является то, что, в отличие от полупроводниковых датчиков, стандартизации является все еще на очень ранней стадии, когда дело доходит до технологических процессов, параметров электронных, измерительных процедур, проверки инструкций и так далее. Через Центр передового опыта пользователи и компании могут быть ознакомлены с соответствующими навыками, инструкциями по калибровке, информацией об обращении с датчиками и т.д. Малые и средние предприятия, которые работают в этой области или хотели бы работать, как правило, не в состоянии позволить себе чрезвычайно дорогостоящую инфраструктуру с технологией производства в чистых помещениях, шкафы с магнитным или высокочастотным экранированием, справочные системы и чувствительные электронные измерительные технологии - во всяком случае, когда они только начинают. Центр передового опыта представляет собой ценную отправную точку для этих компаний.

Для практического использования сверхпроводниковой сенсорной технологии наличие сенсорного чипа с максимальными значениями не имеет решающего значения: главное - это полноценная, надежная, измеряемая система. По этой причине важно объединить компетенции в области сенсорной электроники, технологий охлаждения, электромагнитного экранирования и периферийных измерительных технологий. Эти специальные экспертные знания можно эффективно развивать, поддерживать и распространять через Центр превосходства .

Квантовая коммуникация, квантовая криптография и квантовая радиометрия

РТВ калибрует однофотонные детекторы, например, однофотонные лавинные диоды из кремния и арсенида индия-галлия на основе однофотонных тонких диодов или детекторы из сверхпроводящих нанопроволок с наименьшей погрешностью измерений в мире. В дополнение к этому РТВ разрабатывает источники одиночных фотонов с абсолютными характеристиками в качестве новых стандартных источников излучения для радиометрии и квантовой связи. Для всесторонней реализации квантовой связи и квантовой криптографии важно иметь точную характеристику источников, детекторов и каналов передачи..... Это означает, что для распространения промышленной продукции в этой области важно, чтобы она соответствовала национальным стандартам. Благодаря Центру передового опыта РТВ сможет

предлагать производителям и пользователям отслеживаемые и надежные измерения в областях квантовой связи, квантовой криптографии и квантовой радиометрии. Дополнительным следствием этого является то, что потребители смогут протестировать компоненты квантовой криптографии и начать знакомство с использованием таких компонентов в течение своего рабочего дня.

Таким образом, Центр передового опыта будет способствовать развитию области метрологии в областях квантовой связи, квантовой криптографии и квантовой радиометрии; это приведет к улучшению характеристик используемых компонентов. Новые источники одиночных фотонов также будут разрабатываться в качестве стандартных источников α gd, тем самым гарантируя метрологическую основу комплексной реализации квантовой связи.

5.7 Федеральное управление Информационная Безопасность

Основные действия.

Федеральное управление информационной безопасности (BSI) начало изучать влияние, которое квантовые компьютеры могут оказать на современные инфраструктуры ИТ-безопасности, несколько лет назад. Чтобы помочь прояснить позицию Германии по этому вопросу, BSI провела технико-экономическое обоснование создания крипто-графически значимых квантовых компьютеров.⁴⁴

Параллельно с этим, исследование криптографии на основе решеток было проведено в качестве подготовительной работы для принятия решений о будущих криптографических алгоритмах для противодействия атакам на дешифрование с использованием квантовых компьютеров. BSI продвигает разработку стандартов для будущего перехода на новые алгоритмы и для того, чтобы достичь гибкости криптографии. Кроме того, он активно поддерживает стандартизацию сигнатур на основе хэша для загрузки программного обеспечения с квантовой безопасностью.

В частности, BSI активно поддерживает следующие элементы исследования:

Квантовые вычисления и моделирование: безопасность современных цифровых инфраструктур имеет фундаментальное значение

зависит от криптографии с открытым ключом. Процедуры, которые обычно используются, основаны на предполагаемой сложности определенных математических задач. Процедуры с открытым ключом, которые используются сегодня (при условии, что они реализованы правильно и с правильным размером ключа), не могут быть нарушены доступными в настоящее время инструментами. Однако когда-либо были описаны алгоритмы, которые могли бы нарушить эти процедуры с использованием квантовых компьютеров и, таким образом, разрушить основу современной криптографии с открытым ключом. При использовании симметричных процедур длина ключа, необходимая для защиты от потенциальных атак со стороны квантового компьютера, примерно удвоится ("Алгоритм Гровера").

Чтобы противостоять этому явлению, BSI поддерживает перенос исследований в области "постквантовой криптографии". Это сосредоточено на использовании "традиционных" компьютеров для разработки и исследования криптографических процедур, которые невозможно взломать с помощью квантовых компьютеров. Квантовая криптография, напротив, работает в другом направлении: использует квантовые эффекты для криптографических приложений.

BSI активно участвует в процессе отбора международных стандартов для постквантовой криптографии, которым руководит Национальный институт стандартов и технологий (NIST) в США. Уже определен ряд требований к внедрению и стандартам для будущих крипто-гибких продуктов. Одной из ключевых тем является использование "гибридных" процессов, которые сочетают традиционные процедуры с подходящими решениями, устойчивыми к квантовым компьютерам. BSI также поддерживает стандартизацию протоколов для гибридного обмена ключами и подписи. Он предоставляет рекомендации производителям криптографических продуктов и внедряет процесс миграции для домена с высоким уровнем безопасности.

В течение следующих нескольких лет исследование, упомянутое в начале этого раздела, будет обновлено на основе последних исследований и разработок в области квантовых вычислений. Основным результатом исследования является оценочная модель, которая может быть использована для классификации текущих технологий создания квантовых компьютеров с точки зрения того, какой стадии развития они достигли. Это исследование формирует основу будущей работы BSI в этой области.

В настоящее время несколько информационных исследовательских групп интенсивно работают над безопасностью и осуществимостью постквантовой криптографии. Как часть программы Horizon

⁴⁴ <https://www.bsi.bund.de/qcstudie>

В рамках программы 2020 ЕС в настоящее время финансирует европейские проекты "PQCrypto", в число членов консультативного совета которого входит BSI, и "SAFE- crypto".

Дармштадтский университет провел исследование по заказу BSI на тему "Оценка криптографических процедур на основе решетки". Целью исследования было провести анализ недавних публикаций о процедурах с открытым ключом на основе решетки (обмен ключами, подпись и шифрование).

BSI спонсирует внедрение качественных криптографических алгоритмов, устойчивых к компьютерам, в избранных криптографических библиотеках⁴⁵. Пока невозможно предсказать, какие новые криптографические атаки могут быть возможны с использованием квантовых компьютеров или квантовых симуляторов. Однако начинают появляться приложения для атак по побочным каналам и возможные способы сочетания традиционных криптографических атак с атаками на основе квантовых данных. Эти разработки внимательно отслеживаются BSI, финансируется в качестве темы исследования и освещается в техническом руководстве BSI.

Квантовые вычисления: тема квантовых вычислений чрезвычайно интересна с криптографической точки зрения. Взаимодействие между квантовыми компьютерами и алгоритмическими разработками особенно актуально в свете новых криптографических атак, поддерживаемых квантовыми компьютерами. BSI активно участвует в исследовательских проектах в этой области.

Квантовая коммуникация: квантовая коммуникация, в частности, использующая квантово-механические эффекты для содействия распространению криптографических ключей (QKD), - это технология, которая обещает безопасную передачу данных на основе физических принципов, а не математических предположений. Для QKD требуется второй, классический, аутентичный канал. Чтобы иметь возможность оценить безопасность продуктов квантовой связи, BSI работает вместе с производителями, центрами тестирования, научным сообществом, такими организациями, как PTB, и потребителями над разработкой критериев тестирования. Его структура охватывает критерии оценки безопасности от атак по побочным каналам.

⁴⁵ https://www.bsi.bund.de/DE/Themen/Kryptografie/Kryptotechnologie/Kryptografie/Kryptobibliothek/kryptobibliothek_node.html

Генерация случайных чисел: безопасная генерация случайных чисел - второстепенная область, имеющая большое значение для квантовых проектов. Это было указано как важная область исследований, поскольку генераторы псевдослучайных чисел подвергаются критике. BSI предоставляет всеобъемлющие, нейтральные с точки зрения технологии критерии для оценки генераторов случайных чисел (АИС 20, АИС 31). АИ 20 и АИ 31 являются обязательными в немецкой схеме сертификации (Общие критерии) и в принципе также применимы для оценки квантовых генераторов случайных чисел. BSI поддерживает разработку квантовых генераторов случайных чисел, которые отвечают текущим требованиям к физическим генераторам случайных чисел, и при необходимости разработает конкретные дополнительные требования для сертификации и авторизации квантовых генераторов случайных чисел.

Сотрудничество: для надлежащего устранения воздействия квантовых технологий на ИТ-безопасность важно, чтобы многочисленные участники из различных научных областей (физика, информатика, математика), промышленность и власти работали вместе. BSI будет продолжать развивать и наращивать свои контакты в рамках этой сети сотрудничества.

5.8 Агентство по

Инновациям в области кибербезопасности

29 августа 2018 года на основе предложения Федерального министра обороны и федерального министра внутренних дел, строительства и общественных отношений кабинет министров согласовал создание "Агентства инноваций в области кибербезопасности" в юридической форме GmbH. Целью агентства является финансирование и поддержка амбициозных исследовательских проектов с высоким инновационным потенциалом в области кибербезопасности и связанных с ней ключевых технологий для удовлетворения потребностей страны с точки зрения внутренней и внешней безопасности. Агентство будет поддерживать инновационные проекты, которые отличаются радикальной технологической новизной и, следовательно, могут иметь последствия, меняющие правила игры.

Опубликовано

Bundesministerium

für Bildung und Forschung /

Federal Ministry of Education

and Research (BMBF)

Подразделение Quantum Systems; Постцифровые

компьютеры 53170 Бонн

Германия

Заказы

в письменном виде для

Publikationsversand der Bundesregierung

P.O. Box 48 10 09

18132 Rostock

Germany

Email: publikationen@bundesregierung.через

Интернет: www.bmbf.de

или по

телефону: + 49 (0) 30 18 272 272 1

Факсу: + 49 (0) 30 18 10 272 272 1

Сентябрь 2018 г.**Отредактировано**

BMBF

Макет

ecosense - media & коммуникация

Кельн, Германия

Напечатано

BMBF

Фоторедакторы

Обложка, стр. 2, стр. 3: ©

panthermedia.net/agsandrew стр. 4: © BMBF

стр. 5: © IQ⁺ @ Университеты Штутгарта и Ульма

стр. 7: © Fraunhofer IOF стр.

8: © IQ⁺@ Университеты Штутгарта и Ульма

стр. 9: © Университет Зигена

стр. 10: © Университет Мюнстера

стр. 12: © Fraunhofer IAF

стр. 13: © TOPICA Photonics AG стр.

15: © IQ⁺ Университеты Штутгарта и Ульма

стр. 16: © rocketclips/fotolia

стр. 18: © QUARTIQ GmbH

стр. 20: © Энно Капица для DLR

стр. 21: © zapp2photo/fotolia

стр. 23: Спутник: © SpaceTech GmbH/Земля: ©

PaulPaladin/fotolia стр. 24: © sdecoret/fotolia

стр. 25: © Fraunhofer IOF

p. 27: © Physikalisch-Technische Bundesanstalt

p. 29: © Leibniz-Gymnasium Dormagen

p. 30: © VDI Technologiezentrum GmbH/Bert Willer

p. 31: © University of Paderborn

p. 32: © Джейкоб Лунд/fotolia

Это специализированное издание Федерального министерства образования и научных исследований доступно бесплатно. Он не выставлен на продажу и не может быть использован политическими партиями или группами для предвыборной агитации.

