

Квантовые информационные сети и перспективы их развития в РФ

А.В. Горохов,

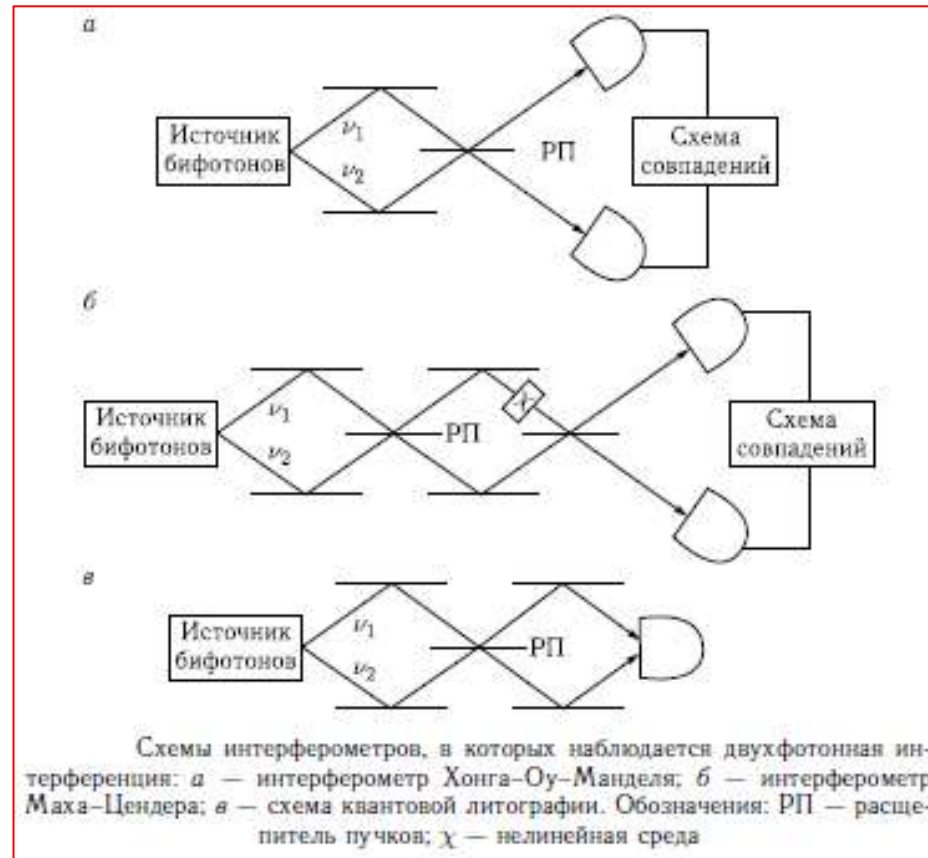
Самарский национальный университет

alvgorokhov@gmail.com



В докладе представлен краткий обзор использования квантовых коммуникаций на основе методов современной квантовой оптики. Например, в России к 2030 году планируется построить свыше 15 тысяч км магистральных линий квантовой связи, а также создать центры мониторинга квантовых сетей. Недавно стало известно, что Центр квантовых технологий физического факультета МГУ имени Ломоносова разработал восьмиканальный программируемый интерферометр для квантовых вычислений. На сегодняшний день продукт не имеет аналогов в мире.

Введение



Одно из основных направлений исследований по квантовой оптике связано с изучением различных вариантов двухфотонной интерференции света, возникающей с участием бифотонов. Двухфотонная интерференция, в отличие от обычной интерференции интенсивностей, характеризуется 100%-й видностью. Существует три основных схемы интерферометров, в которых наблюдается двухфотонная интерференция: интерферометр Хонга–Оу–Манделя, интерферометр Маха–Цендера и схема квантовой литографии. В первом случае квантовая интерференция приводит к снижению вероятности совместного детектирования фотонов ниже уровня, ожидаемого при данных значениях скорости счета каждого фотодетектора.

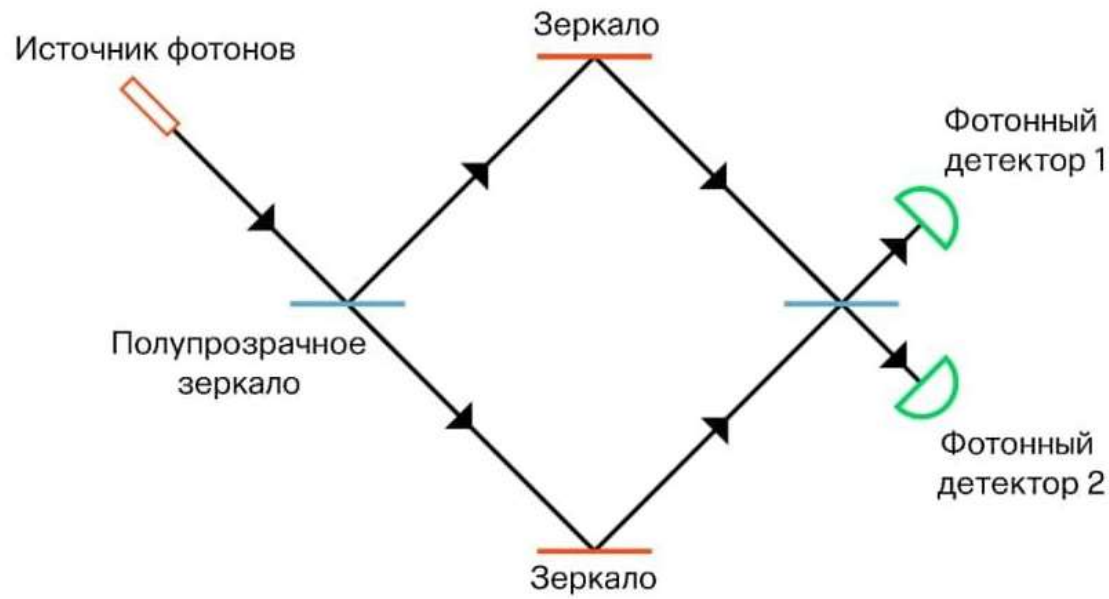


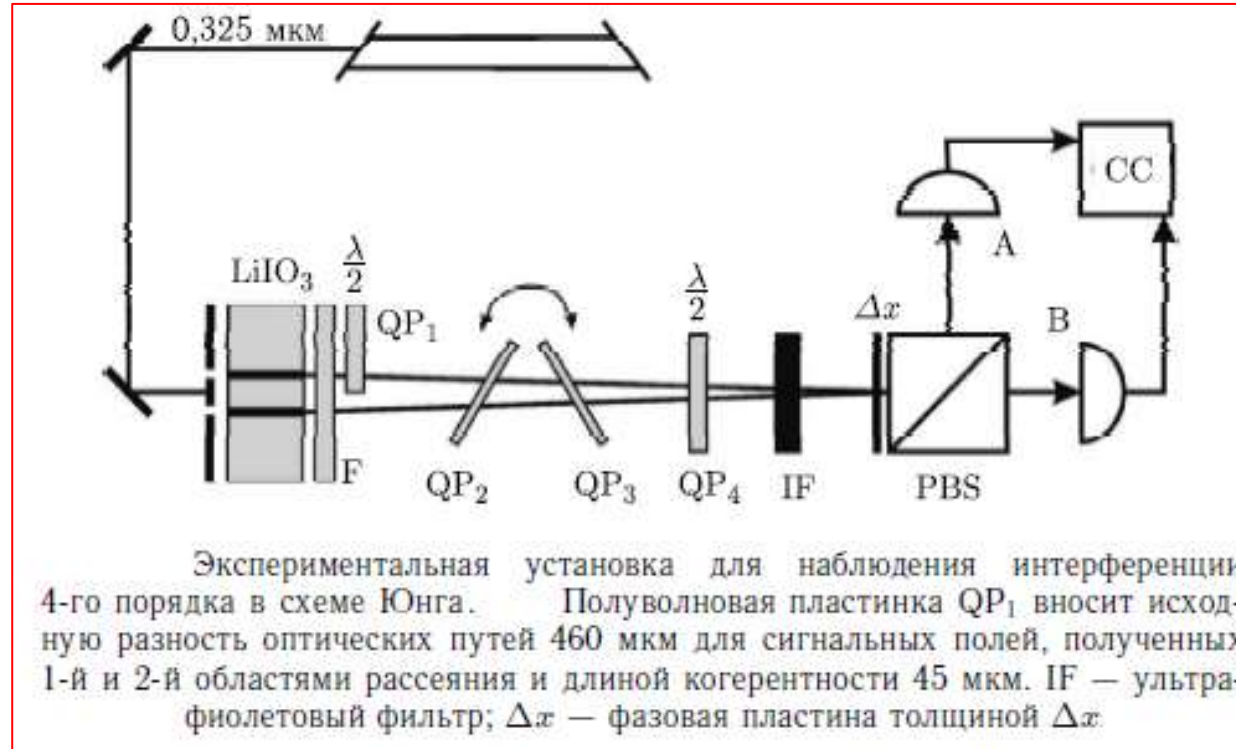
Схема интерферометра Маха — Цендера

Схема интерферометра Маха — Цендера используется для наблюдения за интерференцией — увеличением и уменьшением амплитуды двух или нескольких волн при их наложении друг на друга. Интерференцию легче всего наблюдать при взаимодействии волн с одинаковыми свойствами, поэтому для их создания и пользуются одним излучателем, волны которого разделяют и потом снова сводят.

Интерферометры Маха — Цендера чрезвычайно ценны для изучения одного из парадоксальных явлений в современной физике — квантовой запутанности. Запутанные кубиты при использовании интерферометра Маха — Цендера очень хорошо отделены друг от друга, благодаря чему удается избежать их прямого взаимодействия.

Во втором случае (интерферометр Маха–Цендера) наблюдается зависимость совместного детектирования от разности хода между двумя плечами, которая не проявляется в однофотонном детектировании.

Использование бифотонов в схеме квантовой литографии приводит к возникновению интерференционной картины, интервал между максимумами которой равен $\lambda/4$, а не $\lambda/2$, как в обычной классической литографии (здесь λ — длина волны света в интерферирующих пучках).



Интерференция четвертого порядка наблюдалась также и между независимыми бифотонами. Соответствующая экспериментальная установка приведена на рис. Особенность установки состоит в необходимости расположения регистрирующей аппаратуры в зоне дифракционного наложения бифотонных полей, излучаемых двумя областями рассеяния, как и при обычной интерференции 2-го порядка в схеме Юнга.

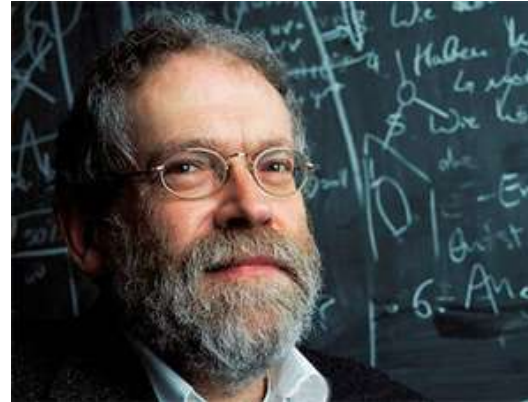
Телепортация

Телепортация — явление, позволяющее перенести без разрушения неизвестное квантовое состояние от отправителя к получателю, которые находятся в разных точках пространства. Оно было предсказано в 1993 году Чарльзом Беннетом с коллегами и впервые экспериментально осуществлено в 1997 году в Инсбруке в группе Антона Цайлингера. В 1998 году С. Браунштейн и С. Кимбл развили эксперимент Цайлингера и показали, что квантовые состояния на входе и на выходе схемы телепортации одинаковы.

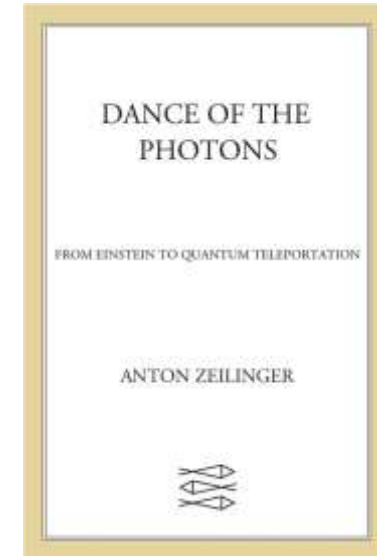
Braunstein S.L., Kimble H.J. // Phys. Rev. Lett. 1998. V. 80. P. 869.



Prof. H.J. Kimble, *Caltech, USA*)



Anton Zeilinger



Entanglement, teleportation of quantum states

Под телепортацией можно понимать не перенос, а полное неискаженное воссоздание в другой точке пространства физических свойств и характеристик какого-либо объекта. Главной особенностью телепортации является возможность передачи квантового состояния без его разрушения. Она представляет интерес для решения проблемы создания квантовой памяти, в которой процессы считывания информации или перенос ее не должны сопровождаться искажениями.

Телепортация неизвестного квантового состояния проводится по следующему протоколу. Алиса (А) выполняет измерение неизвестной и своей частицы из ЭПР-пары в базисе Белла. Затем Алиса передает Бобу (В) исход измерения. Используя полученные инструкции, Боб применяет к своей частице одну из 4 унитарных операций.

Тогда состояние частицы у Боба будет совпадать с состоянием неизвестного кубита. В итоге, телепортация успешно завершена. В силу теоремы о неклонированности, неизвестное переносимое состояние исчезает. Физическая природа частиц, участвующих в телепортации, оказывается неважной, так как телепортируется состояние, т. е. состояние поляризованного фотона, характеризуемое комплексными числами α и β , можно перенести на атом.

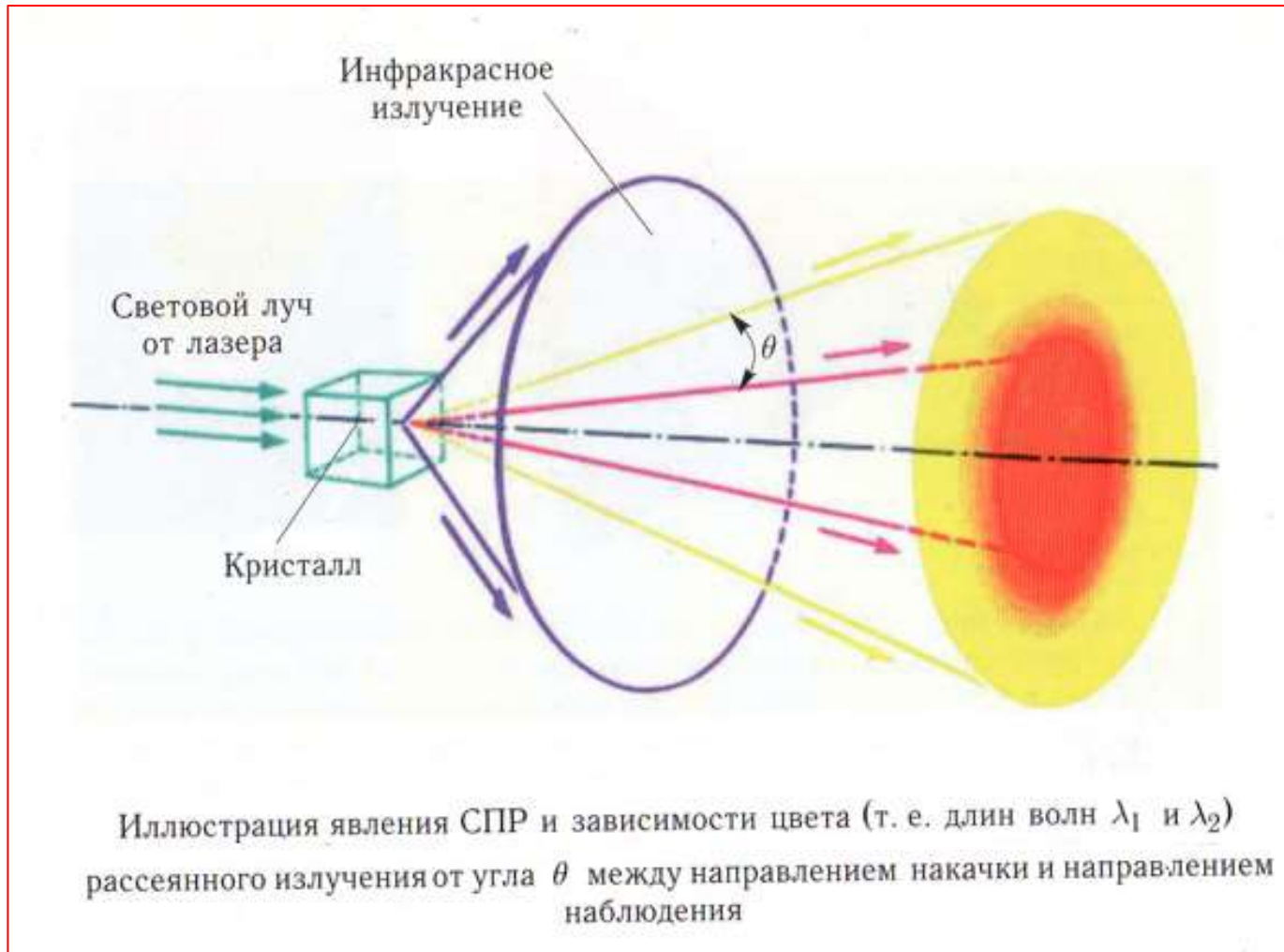
Поскольку атомы и фотоны принадлежат разным физическим пространствам, то используется понятие «interspace teleportation». Основными ресурсами для телепортации кубита являются ЭПР-пара в максимально перепутанном состоянии и белловское измерение, 4 исхода которого (или 2 бита информации) передаются по классическому каналу. В силу линейности квантовой механики можно телепортировать N частиц «по одной», используя описанный протокол.

Эксперимент по телепортации, поставленный Антоном Цайлингером в Инсбруке, пояснен на рис. (сл. слайд). Короткий импульс ультрафиолетового цвета, падая (слева направо) на нелинейный кристалл, вызывал в режиме СПР появление перепутанной пары фотонов А и В, которые затем следовали к Алисе и Бобу соответственно. Далее на пути импульса было расположено глухое зеркало, обращающее направление накачивающего импульса на противоположное и вызывающего в нелинейном кристалле появление еще двух перепутанных фотонов С и D. Фотон D, проходя через поляризатор, приобретает неизвестную поляризацию и оказывается в специфическом состоянии X. Этот фотон падает на 50%-й делитель пучков с другой стороны светоделительной пластины, чем фотон А. Юстировка оптической схемы обеспечивала одновременное прибытие фотонов А и X на разные стороны вышеуказанной пластины, из-за чего они интерферируют, и фотоны теряют индивидуальные свойства, и невозможно сказать, отразились ли оба фотона или они прошли через пластину.

Алиса выполняет измерение состояния Белла на частицах A и X, получив один из четырех возможных исходов. Она сообщает по телефону Бобу результат своего измерения. Боб с помощью поляризационного расщепителя пучков проверяет этот результат и убеждается, что его фотон имеет поляризацию фотона X, демонстрируя успешную телепортацию.



Спонтанное параметрическое рассеяние света (СПР)



СПР света предсказано в 1967 г. Д.Н. Клышко (кафедра волновых процессов, физфак МГУ). Некоторые анизотропные кристаллы, облучаемые светом с длиной волны λ_0 , переизлучают свет с большими длинами волн. Клышко привёл пример с кристаллом ниобата лития (LiNbO_3), освещаемого аргоновым лазером на длине волны 500 нм. Этот кристалл светится зеленым, желтым и красным светом (в интервале длин волн $\lambda_1 = 550\text{--}750$ нм) и, кроме того, кристалл излучает инфракрасные волны (на длине волны λ_2 в интервале 1,5–4 мкм). (следующий слайд).

Метод динамических групп при расчёте СПР с закрученными фотонами

Спонтанное параметрическое рассеяние света, 1967

$$\hat{H}_{\text{int}} = \hbar \left(\kappa \hat{a}_p \hat{a}_i^+ \hat{a}_s^+ + \kappa^* \hat{a}_p^+ \hat{a}_i \hat{a}_s \right),$$

$$\omega_p = \omega_i + \omega_s, \vec{k}_p = \vec{k}_i + \vec{k}_s;$$

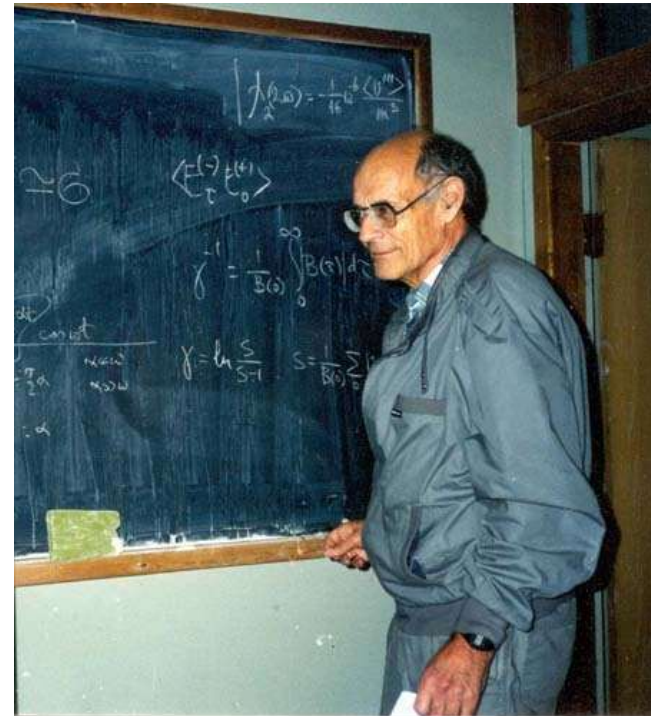
$$|\Psi_{\text{in}}\rangle = |\alpha_p\rangle \otimes |0_i\rangle \otimes |0_s\rangle,$$

$$|\Psi_{\text{out}}\rangle = \exp\left(-\frac{i}{\hbar} t \hat{H}_{\text{int}}\right) |\Psi_{\text{in}}\rangle = |\alpha_p\rangle \otimes |\psi\rangle,$$

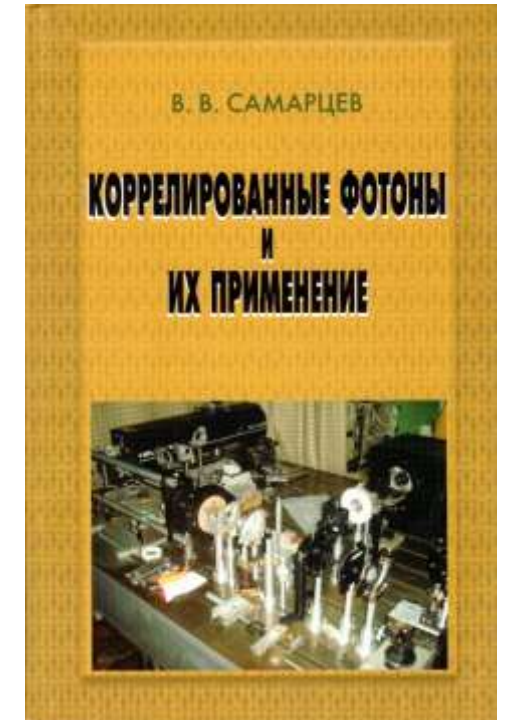
$$|\psi\rangle = \sqrt{1-\lambda^2} \sum_n \lambda^n |n_i, n_s\rangle, \lambda = \text{th}(|\kappa\alpha|t), \alpha_p = |\alpha| e^{i\theta}, \theta = \pi/2$$

LiNbO_3

Кристалл ниобата лития



Д.Н. Клышко



Расчёт СПР

Коллинеарное приближение, точный резонанс

$$|\Psi(0)\rangle = |\psi_p(0)\rangle \otimes \prod_{s,i} |0\rangle_s \otimes |0\rangle_i,$$

$$|\psi_p(0)\rangle = \hat{E}_p |0\rangle_p, \quad \text{лазерное КС}$$

$$\hat{H}_{\text{int}}(t) = \hbar \sum_m \left\{ \kappa_m(t) \hat{a}_{l-m}^+ \hat{a}_m^+ + \kappa_m^*(t) \hat{a}_{l-m} \hat{a}_m \right\}, \quad \kappa_m(t) \sim |E_p(t)|$$

$$i\hbar \frac{\partial}{\partial t} \hat{U}_{\text{int}}(t) = \hat{H}_{\text{int}}(t) \hat{U}_{\text{int}}(t); \quad \hat{U}_{\text{int}}(t) = \prod_m \hat{U}_{\text{int}}^{(m)}(t);$$

$$G = \prod_m \otimes Sp(2, \mathbb{R})^{(m)}; \quad \hat{K}_+^{(m)} = \hat{a}_{l-m}^+ \hat{a}_m^+, \quad \hat{K}_-^{(m)} = \hat{a}_{l-m} \hat{a}_m,$$

$$\hat{K}_0^{(m)} = \frac{1}{2} (\hat{a}_{l-m}^+ \hat{a}_{l-m} + \hat{a}_m^+ \hat{a}_m + 1),$$

$$[\hat{K}_+^{(m)}, \hat{K}_-^{(m)}] = -2\hat{K}_0^{(m)}, \quad [\hat{K}_0^{(m)}, \hat{K}_{\pm}^{(m)}] = \pm \hat{K}_{\pm}^{(m)},$$



$$\hat{U}_{\text{int}}^{(m)}(t) = \exp(\alpha(t) \hat{K}_+^{(m)}) \exp(\beta(t) \hat{K}_0^{(m)}) \exp(\gamma(t) \hat{K}_-^{(m)}),$$

$$\begin{cases} \dot{\alpha} - \alpha\dot{\beta} + \alpha^2 e^{-\beta} \dot{\gamma} = -i\kappa, \\ \dot{\beta} - 2\alpha e^{-\beta} \dot{\gamma} = 0, \\ e^{-\beta} \dot{\gamma} = -i\kappa^*. \end{cases}$$

В случае точного резонанса:

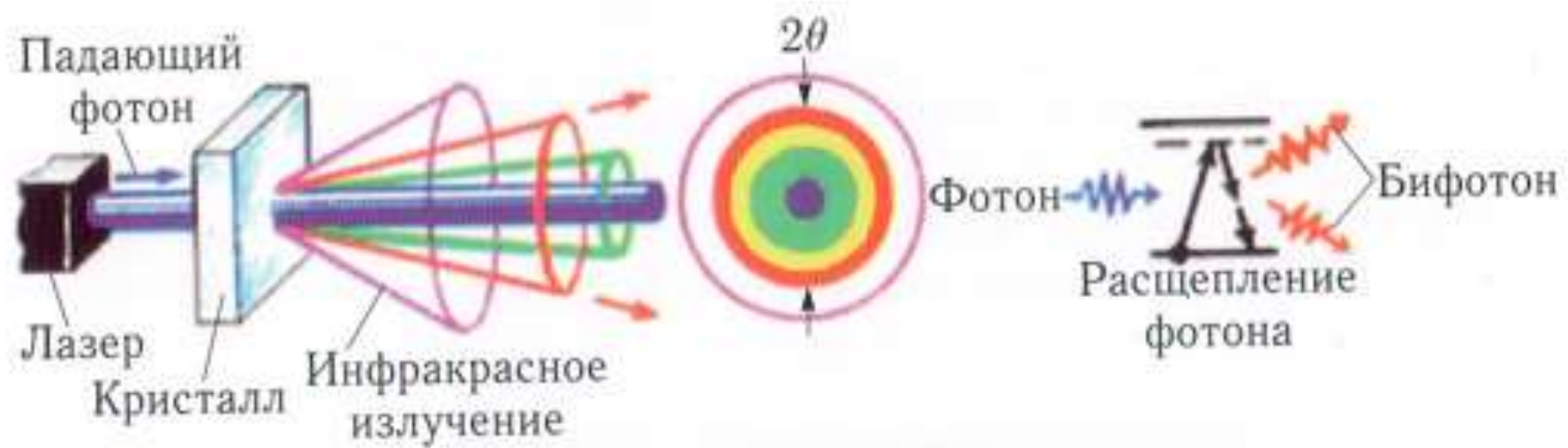
$$\alpha(t) = i \operatorname{th}(\kappa t), \quad \beta(t) = -2 \ln(\operatorname{ch}(\kappa t)), \quad \gamma(t) = i \operatorname{th}(\kappa t).$$

$$W_n = (1 - \rho^2) \rho^{2n}, \quad \rho = \operatorname{th}^2(\kappa \cdot \Delta t).$$

$$|\Psi\rangle = \hat{U}_{\text{int}}(\Delta t) |0, \dots, 0, \dots\rangle$$

$$|\Psi^{(2)}\rangle \sim \kappa \cdot \Delta t \sum_m |1_{l-m}, 1_m\rangle,$$

$$|\Psi^{(4)}\rangle \sim (\kappa \cdot \Delta t)^2 \left\{ \sum_{m_i \neq m_j} |1_{l-m_i}, 1_{m_j}; 1_{l-m_j}, 1_{m_i}\rangle + 2 \sum_m |2_{l-m}, 2_m\rangle \right\}$$



С квантовой точки зрения СПР объясняется спонтанным распадом фотона накачки на пару фотонов с меньшей энергией в результате взаимодействия с атомами нелинейного кристалла. Наличие в названии слова «спонтанное» означает, что СПР может трактоваться как процесс рассеяния света на нулевых флуктуациях электромагнитного вакуума в нелинейной среде за счет ее квадратичной по полю оптической восприимчивости. Термин «параметрический» означает, что в результате взаимодействия не происходит обмена энергией между полем и средой, т. е. среда остается в исходном состоянии, а энергия, которую теряет поле накачки, равна энергии, которую приобретает поле рассеяния. Это означает, что нелинейная среда остается прозрачной и описывается действительным тензором квадратичной восприимчивости. Итак, при СПР моды сигнального и холостого полей находятся изначально в вакуумном состоянии, а само явление можно рассматривать как процесс параметрического усиления вакуумных флуктуаций сигнального и холостого полей, которые можно рассматривать как шумы параметрического усилителя, когда в модах рассеянного поля появляются пары коррелированных фотонов, называемых бифотонами.

Физика спонтанного параметрического рассеяния (СПР)

Явление СПР может быть описано в рамках последовательной квантовой теории. С точки зрения наблюдателя, это явление представляет собой оптический параметрический процесс спонтанного распада фотона накачки с частотой ω_0 на пару фотонов, один из которых с частотой ω_1 получил название сигнального, а другой с частотой ω_2 известен как холостой (idle), причем сумма частот родившихся фотонов равна частоте накачки:

$$\omega_0 = \omega_1 + \omega_2.$$

При нестационарной и квазимонохроматической накачке это равенство выполняется с точностью до спектральной ширины накачки. Максимальная эффективность распада достигается при выполнении закона сохранения импульса, который в данном процессе имеет вид условия пространственного (фазового) синхронизма:

$$\vec{k}_0 = \vec{k}_1 + \vec{k}_2.$$

В случае, когда оба родившихся фотона имеют частоты, попадающие в область прозрачности рассеивающей среды, на выходе из среды генерируется бифотонное поле, представляющее собой поток пар коррелированных фотонов. Пара фотонов (бифотон) является единым квантовым объектом, представляющим собой запутанное (entangled) состояние, описываемое единой волновой функцией и характеризующееся рядом уникальных статистических свойств. Фотоны в паре связаны между собой местом и моментом рождения, частотами и направлением вылета. Физически интенсивность потока бифотонов тесно связана с яркостью нулевых флуктуаций электромагнитного вакуума.



Волоконно-оптические
Системы

Свободное пространство

Квантовые интерфейсы
и память

**ВЫВОД ЗАЩИТЫ
ИНФОРМАЦИИ
НА ПРИНЦИПИАЛЬНО
ИНОЙ УРОВЕНЬ!**

**Квантовая коммуникация – это область знаний/техники
о передаче квантовых состояний между удаленными объектами**

Квантовое распределение ключей через открытое пространство

1. Квантовое распределение ключей – демонстрационные эксперименты

2000-2001 Первые работы по распределению ключей на расстояния порядка 1 км

2007-2009 Рекорд дальности по распределению ключей и передаче запутанности (144 км)

2012 Распределение перепутанности и квантовая телепортация на 97 км

2. Квантовое распределение ключей на движущиеся объекты

2013 Квантовое распределение ключей на самолет

2015 Квантовое распределение ключей на движущийся автомобиль

2017 Распределение ключей между дронами

3. Спутниковые системы квантовых коммуникаций

2014 SOTA/SOCRATES optical space terminal (NICT, Japan)

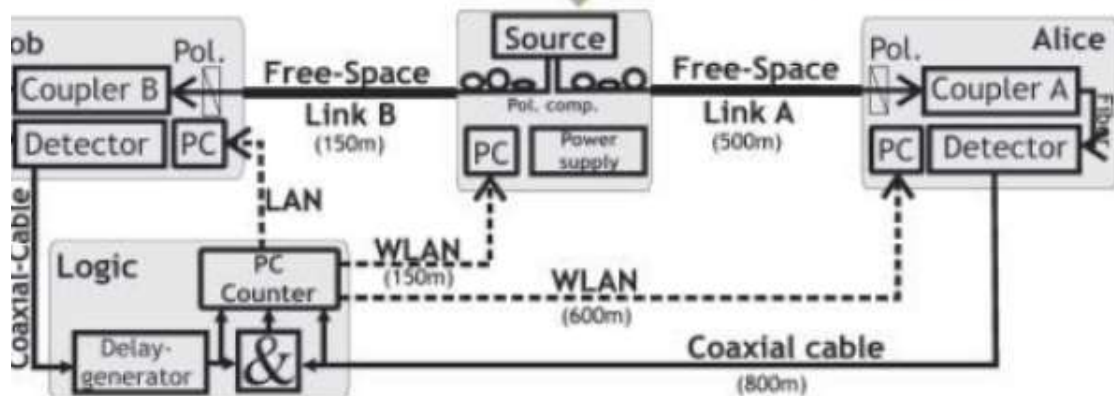
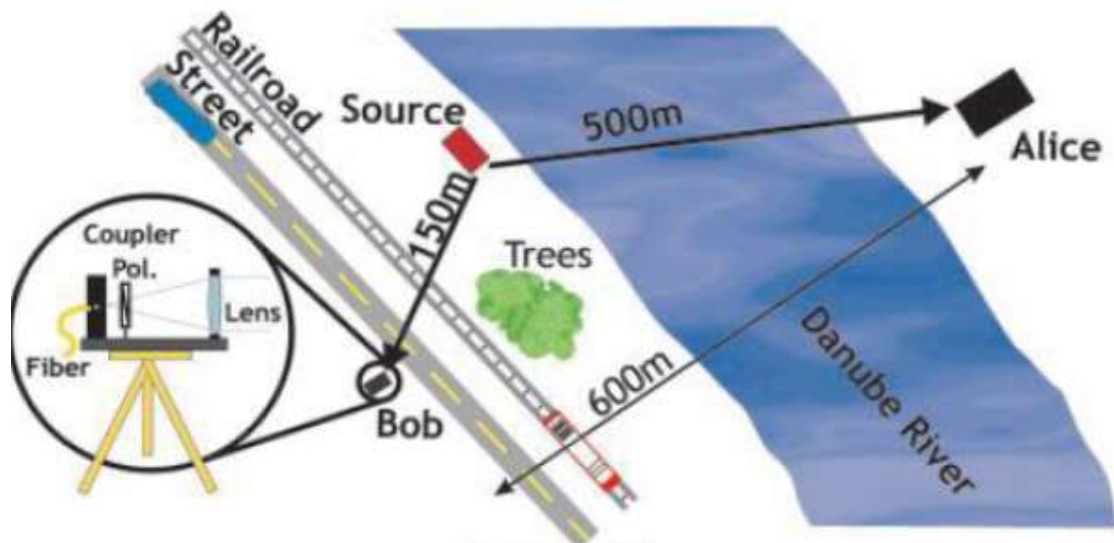
2016 Источник пар фотонов на орбите (Сингапур); **Micius satellite (China)**

2017 Квантово-ограниченная передача с геостационара (Alphasat)

2020 Эксперимент по оптической связи «Эколинс» (Роскосмос)

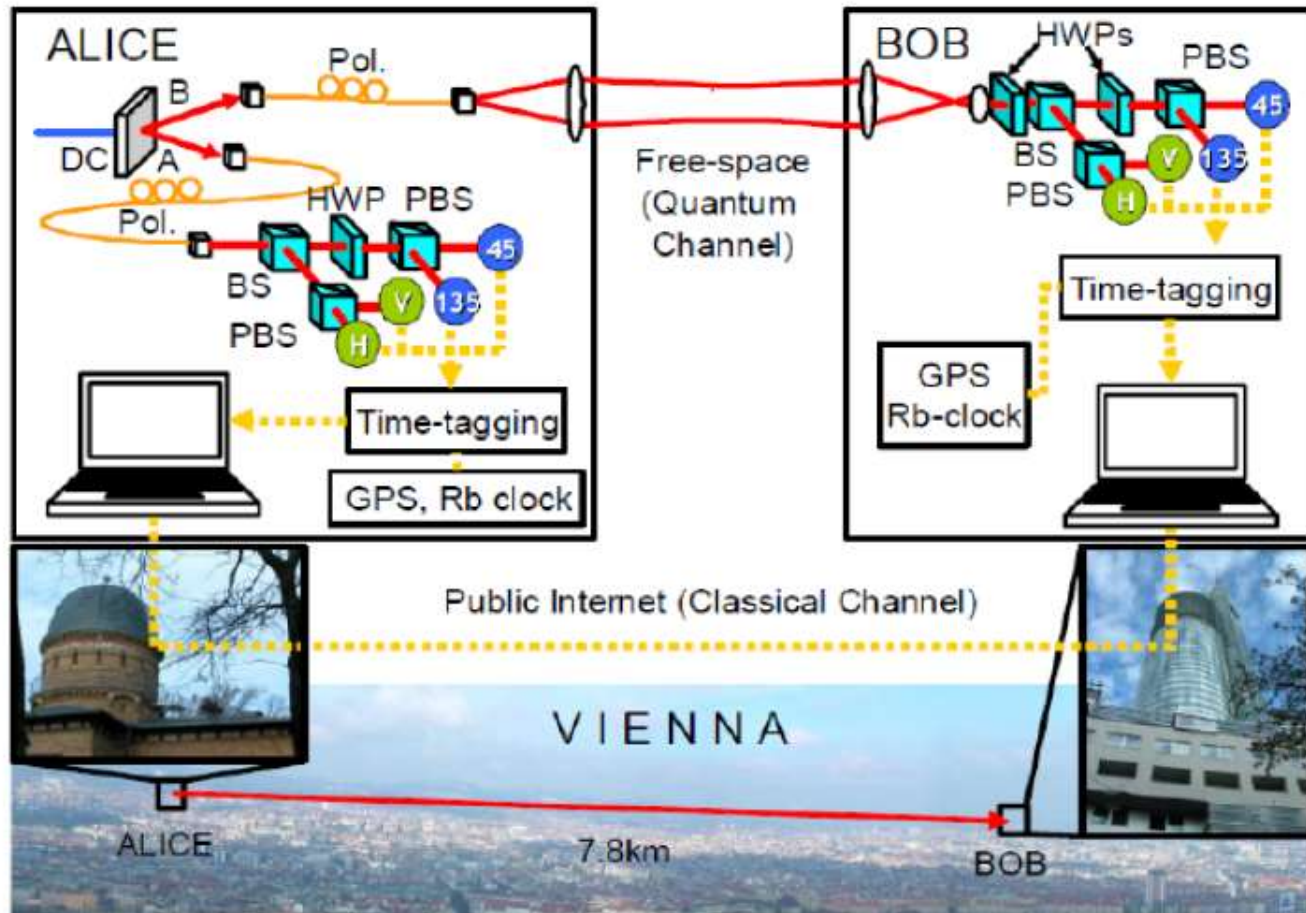
РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕРЕПУТЫВАНИЯ НА БОЛЬШИЕ РАССТОЯНИЯ ЧЕРЕЗ СВОБОДНОЕ ПРОСТРАНСТВО

600m



Experiment in Vienna, Austria, 2003

7.8km



Experiment in Vienna, Austria, 2005

Спутник Мисиус, Мо-цзы (Micius, China) 2016

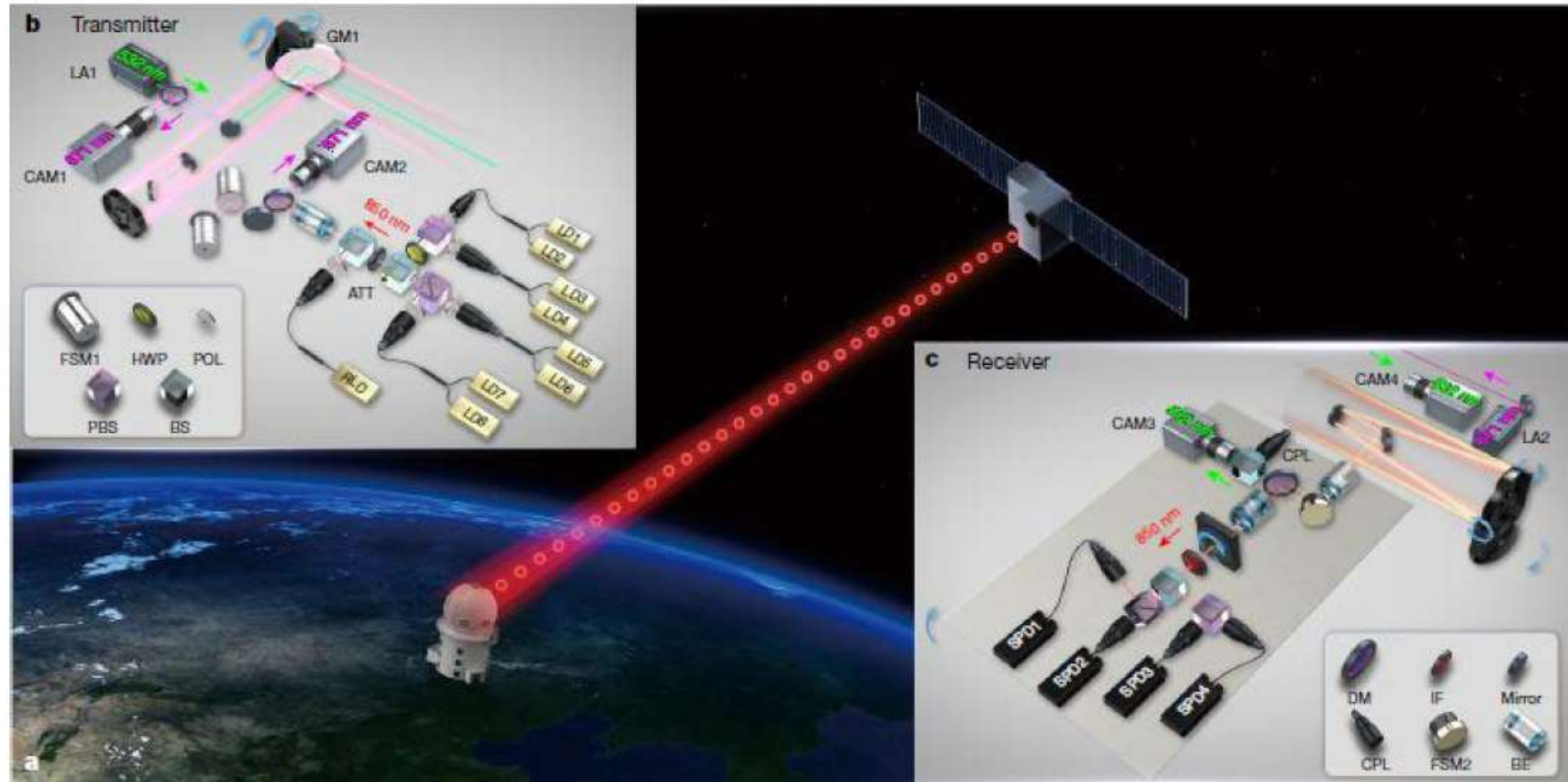
Источник пар фотонов на борту (КТР, 810 нм); Два передающих телескопа (30 см и 18 см)
Наземные станции: (два телескопа 1 м, и 1.8 м)

Основные результаты:

2017: Распределение запутанных фотонов на 1200 км

2017: Квантовое распределение ключей со спутника на землю

2018: Спутник как доверенный узел: распределение ключей на 7800 км



КВАНТОВАЯ КОСМИЧЕСКАЯ СВЯЗЬ: ПРОЕКТЫ РФ

1. Долгосрочная программа научно-прикладных исследований и экспериментов, планируемых на РКС МКС до 2024 года –шифр «ЭКОЛИНС» (Роскосмос).
Выведение на орбиту в 2024 г.

Цель выполнения СЧ ОКР – создание модуля передатчика поляризационных квантовых состояний для экспериментальной демонстрации возможности квантового распределения ключей и шифрования данных через космические аппараты.

Исполнители — ФГУП «РФЯЦ- ВНИИЭФ», Центр квантовых технологий МГУ и др.

2. Разработка приемного модуля системы квантового распределения ключей (КРК) по каналам «спутник-Земля».

Цель – создание модуля наземного терминала для обеспечения квантового распределения ключей и шифрования данных через космические аппараты.

Исполнители – АО Мостком, г. Рязань, Qrate,
Центр квантовых технологий МГУ, РФЯЦ и др.



ВЫВОДЫ

1. Квантовое распределение ключей через атмосферные каналы
 - потери неизвестны;
 - потери случайно меняются со временем;
 - уровень потерь может превзойти критический – разрыв связи.
2. На сегодняшний день **реализованы** разные варианты систем КРК.
3. Перспектива их использования в массовых масштабах (коммерциализация) **неочевидна**: обсуждаются варианты ограниченного использования для специальных целей.
4. Построение глобальной защищенной сети с использованием технологии КРК возможно, но необходимо понять **кому это нужно и для каких задач**.

Программы развития квантовых сетей связи в России



- 10.10.2019 Правительственная комиссия по цифровому развитию утвердила ДК развития «Квантовые технологии», «Технологии беспроводной связи», «Компоненты робототехники и сенсорики», «Технологии виртуальной и дополненной реальностей», «Системы распределенного реестра», «Новые производственные технологии», «Нейротехнологии и искусственный интеллект», и выделено 850 млрд руб. на их реализацию.
- 19.11.2020 Правительственная комиссия по цифровому развитию утвердила ДК «Мобильные сети связи пятого поколения» и 10.12.2020 – План (ДК) реализации Концепции построения и развития узкополосных беспроводных сетей связи «Интернета вещей» до 2024 г. в РФ.
- Пять ДК в ведении Министерства цифрового развития, связи и массовых коммуникаций: «Квантовые коммуникации», «Квантовые вычисления», «Мобильные сети связи пятого поколения», «Интернет вещей», «Технологии распределенных реестров».
- Три ДК в ведении Министерства промышленности и торговли РФ: «Квантовые сенсоры», «Технологии распределенных реестров», «Технологии новых материалов и веществ».
- ГК софинансируют ДК: «РЖД» – 40 % расходов по «Квантовым коммуникациям», «Росатом» – 50 % расходов по «Квантовым вычислениям», «Ростелеком» и «Ростех» – 50 % расходов по ДК 5G. Остальные 50-60 % расходов – из бюджета РФ.

Центр квантовых технологий МГУ им. М.В. Ломоносова



- Создан в 2018 г. на Физическом факультете МГУ в рамках Национальной технологической инициативы (НТИ): разработки квантовых технологий, волоконной и атмосферной квантовой криптографии, нанофотоники, квантовой оптики, нелинейной оптики, криоэлектроники, физики холодных атомов; систем квантовой криптографии, адаптированных к волоконным линиям связи, систем оптической квантовой коммуникации по открытому пространству и оптических квантовых вычислительных систем, образовательных программ и связей с промышленными компаниями.
- В Консорциум МГУ входят Институт физики твердого тела РАН (ИФТТ РАН), Физико-технологический институт им. К.А. Валиева РАН (ФТИ РАН), Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова СО РАН, Санкт-Петербургский государственный университет, НИЯУ «МИФИ», МГТУ им. Н.Э. Баумана, НИУ «Московский институт электронной техники», Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, ФИЦ «Казанский научный центр РАН», Всероссийский научно-исследовательский институт автоматики им. Н.Л. Духова ГК «Росатом», Центр компетенций НТИ по направлению «Квантовые коммуникации» на базе ФГАОУ «НИТУ «МИСиС», АО «Информационные Технологии и Коммуникационные Системы» (АО «ИнфоТеКС»), НОЧУ ДПО ЦПК «Учебный центр «ИнфоТеКС», АО «Концерн «Автоматика», ООО НТП «Криптософт» (г. Пенза), ООО «Авеста», ООО «ИД Электроника», межрегиональная общественная организация «Ассоциация защиты информации», компания «Иннопрактика» (Факультет фундаментальной медицины МГУ, объединяет Центр национального интеллектуального резерва МГУ и Фонд поддержки научно-проектной деятельности молодых ученых «Национальное интеллектуальное развитие»), ФГБОУ ВО «Саратовский НИГУ им. Н.Г. Чернышевского», технопарк «Кванториум» (г. Саратов).

Математический институт им. В.А. Стеклова РАН

МИАН

Steklov
Mathematical Institute



- Разработки методов квантовых технологий: квантовой криптографии, квантовых вычислений. Отдел математических методов квантовых технологий МИАН создан в 2018 г. на основе Лаборатории математических методов квантовых технологий (с 2016 г.); исследования: квантовая криптография; квантовая информатика; открытые квантовые системы; многочастичные квантовые системы; управление квантовыми системами; квантовая сложность; квантовая томография; квантовая телепортация; адиабатические квантовые вычисления; неравновесная квантовая динамика; голография и квантовая информация.

По проектам Российского научного фонда (РНФ):

- «Математические методы для задач квантовых технологий и динамика открытых квантовых систем» (2017-2019 гг.);
- «Использование псевдослучайных генераторов в квантовой криптографии» (2018-2019);
- «Математические методы для задач квантовых технологий и динамика открытых квантовых систем» (2020-2021);
- «Влияние взаимодействия с окружением на информационные свойства квантовых каналов передачи данных» (2020-2022), <http://www.mi-ras.ru/>.

- ПАО «Ростелеком» развивает квантовые технологии связи, ОАО «РЖД» – разработки квантовых коммуникаций, ГК «Росатом» – квантовых вычислений, ГК «Ростех» – квантовых сенсоров, <https://www.company.rt.ru/>.
- В декабре 2018 г. в проекте «Криптошифрование и квантовая защита данных» завершен 1-й этап тестирования комплексов передачи данных с гибридной квантово-классической защитой, подтверждена возможность использования КРК в сетях связи «Ростелекома»; в январе 2019 г. – 2-й этап испытаний квантовой защиты передачи данных.
- В мае 2019 г. «Ростелеком» и «Криптософт» испытали прототип 1-го облачного сервиса защиты передачи данных с КРК; «Ростелеком» и «Инфотекс» испытали защиту передачи данных с КРК на волоконно-оптической линии связи 58 км между дата-центром М10 «Ростелекома» (Москва) и Центром фотоники и квантовых материалов (Skoltech Center of Photonics and Quantum Materials, создан в 2015 г.) Сколковского университета науки и технологий (Сколтех, создан в 2011 г.).
- В сентябре 2020 г. «Ростелеком» и «Росатом» создали волоконно-оптическую линию связи с применением КРК между двумя офисами «Росатома» в Москве, использовано оборудование КРК ООО «КуРэйт» (QRate) и шифраторы 10 G ООО «Код Безопасности» при участии АНО «Консорциум «Телекоммуникационные технологии» и ПАО «Микрон».
- Сервис КРК для «Ростелекома», промышленных предприятий, банков обеспечивает ключами шифрования, средствами криптографической защиты информации (СКЗИ).

Российский квантовый центр



РКЦ

Российский
Квантовый
Центр

- 16.06.2016 – запуск городской линии квантовой связи между 2 зданиями «Газпромбанка» (30 км) в Москве.
- 26.05.2017 создан 1-й в мире квантовый блокчейн, <https://ria.ru/20170526/1495086879.html>.
- 28.07.2017 создан самый мощный в мире 51-кубитный квантовый компьютер.
- С 2020 г. на базовой кафедре РКЦ в МФТИ организованы программы бакалавриата, магистратуры и аспирантуры. В НИТУ «МИСиС» при участии РКЦ – магистерская программа «Квантовые технологии материалов и устройств» и программа аспирантуры «Физика конденсированного состояния и квантовые технологии»; созданы устройства для квантовой криптографии, сверхпроводниковой и полупроводниковой космической электроники, квантовое моделирование свойств материалов.
- РКЦ, Российская венчурная компания (РВК), МФТИ и Центр компетенций НТИ «Квантовые коммуникации» НИТУ «МИСиС» реализуют программу «Управление проектами в сфере квантовых коммуникаций».

Санкт-Петербургский НИУ ИТ, механики и оптики (Университет ИТМО)



- В 2014 г. 1-ю линию квантовой связи «точка-точка» запустил Университет ИТМО в Санкт-Петербурге, объединив 2 корпуса вуза по подземному оптоволоконному кабелю.
- В марте 2014 г. создан защищенный оптический маршрутизатор (SCWQC, Subcarrier wave quantum communication system) моделированного излучения с КРК на боковых частотах; внедрен в квантовых сетях Университета ИТМО (2014 г.), в Казани с телеком-оператором ПАО «Таттелеком» (2016 г.) и Самаре с ИТ-компанией «Открытый код» (11.06.2021), <https://itmo.ru/ru/>;
- Международные образовательные программы «Квантовые коммуникации и фемтотехнологии» (в сотрудничестве с Университетом Рочестера, США);
- Сотрудничество с ООО «Квантовые Коммуникации», компанией «СМАРТС», ООО «Кванттелеком» (Санкт-Петербург), ООО «Корнинг», ООО НПП «Лазерные технологии», ООО «Лазерный центр», компанией «Vicon-Standa», ООО «Аметист Лазер», ОАО «Комета», ОАО «ЛОМО», ОАО «ГОИ им. С.И. Вавилова».

Спасибо за
внимание!

