Квантовая криптография

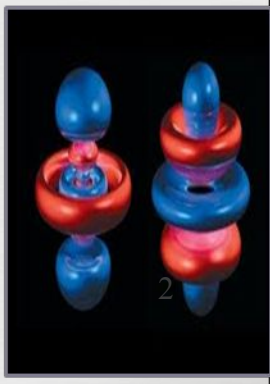
Введение

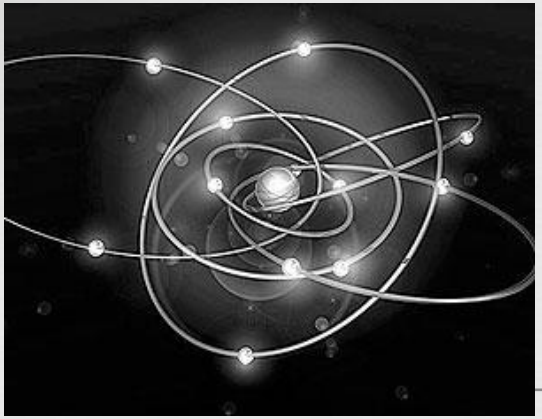
Квантовая криптография — метод защиты коммуникаций, основанный на принципах квантовой физики.

Технология квантовой криптографии опирается на принципиальную неопределённость поведения квантовой системы — невозможно одновременно получить координаты и импульс частицы, невозможно измерить один параметр фотона, не исказив другой.

Процесс отправки и приёма информации всегда выполняется физическими средствами, например, при помощи электронов в электрическом токе, или фотонов в линиях волоконно-оптической связи.

Используя квантовые явления, можно спроектировать и создать такую систему связи, которая всегда может обнаруживать подслушивание.





История развития

- Впервые идея защиты информации с помощью квантовых объектов была предложена Стефаном Вейснером в 1970 году.
- В 1984 году Чарльз Беннет и Жиль Брассард на основе теории Вейснера создали алгоритм BB84
- 1989 г – первое устройство квантовой криптографии
- 1991 г – алгоритм Беннета, протокол E91, предложенный А. Экертом
- 17.06.2011 – взлом шифра квантового шифрования сингапурскими учеными-физиками

Развитие квантовой криптографии пошло по двум основным направлениям:

Первое направление основано на кодировании квантового состояния одиночной частицы и базируется на принципе невозможности различить абсолютно надёжно два неортогональных квантовых состояния.

Второе направление развития основано на эффекте квантового перепутывания (запутывания). Две квантово-механические системы (в том числе и разделённые пространственно) могут находиться в состоянии корреляции, так что измерение выбранной величины, осуществляемое над одной из систем, определит результат измерения этой величины на другой. Ни одна из запутанных систем не находится в определённом состоянии

Основным протоколом квантовой криптографии на одночастичных состояниях является протокол BB84

Базовым протоколом квантового распределения ключей на основе эффекта квантового запутывания является протокол EPR (Einstein-Podolsky-Rosen), второе его название E91

Алгоритм BB84 (1984г) – первый протокол квантового распределения ключа

Назад к истории

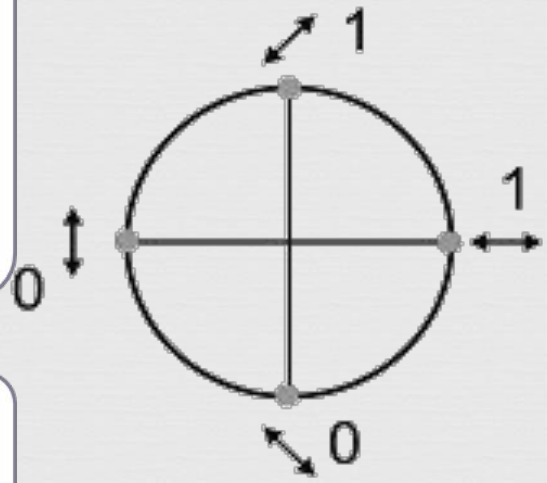
Носителями информации являются 2-х уровневые системы, называемые кубитами (квантовыми битами)

Протокол использует 4 квантовые состояния, образующие 2 базиса, например поляризационные состояния света.

Схема алгоритма состоит из двух этапов:

Первичная квантовая передача

Оценка попыток перехватить информацию



4 состояния лежат на экваторе сферы Пуанкаре

I этап

Назад к истории

Алиса посылает отдельные фотоны Бобу в произвольно выбранном базисе (имеющие любую из 4 видов поляризаций), используя при выборе генератор случайных чисел

|	/	-	\	-	-	/	|	|

Боб измеряет принимаемые фотоны в одном из двух базисов, также выбираемых произвольно: (+) - прямолинейная поляризация, x - диагональная

+	+	x	x	+	x	x	x	+

Боб записывает результаты измерения и сохраняет в тайне

|	-	/	\	-	/	/	/	|

Боб открыто объявляет, какого типа измерения он проводил, а Алиса сообщает ему, какие измерения были правильными

V			V	V		V		V

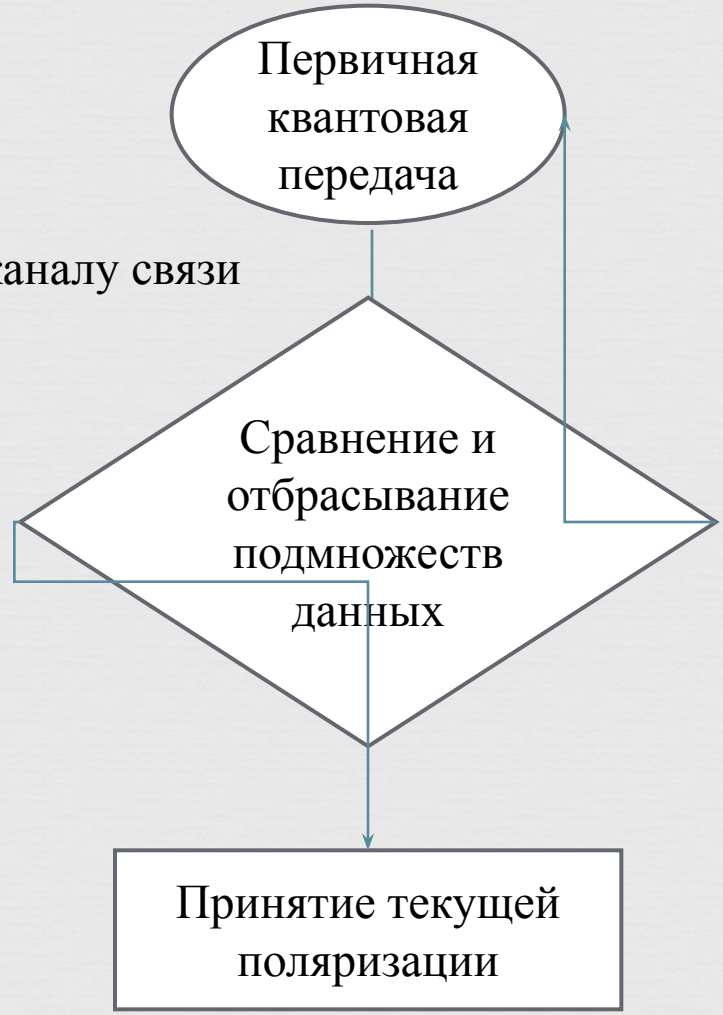
Алиса и Боб сохраняют все данные, полученные в тех случаях, когда Боб применял правильное измерение. Эти данные затем переводятся в биты (0 и 1), последовательность которых и является результатом первичной квантовой передачи.

|			\	-		/		|
1			1	0		0		1

II этап

Назад к истории

По открытому каналу связи



Выявлен перехват

Перехвата не выявлено

Если подслушивание имело место, то по величине ошибки можно оценить максимальное количество информации, доступное Еве.

Согласно принципу неопределённости Гейзенберга, криптоаналитик не может измерить как диагональную, так и прямоугольную поляризацию одного и того же фотона. С вероятностью $1 - 2^{-k}$ (где k — число сравненных битов) канал не прослушивался.

Если ошибка в канале меньше ≈11 %, то информация, доступная Еве, заведомо не превосходит взаимной информации между Алисой и Бобом, и секретная передача данных возможна.

Первое устройство квантовой криптографии

Назад к истории

Первая работающая квантово-криптографическая схема была построена в 1989 году в Исследовательском центре компании IBM Беннетом и Брассардом.

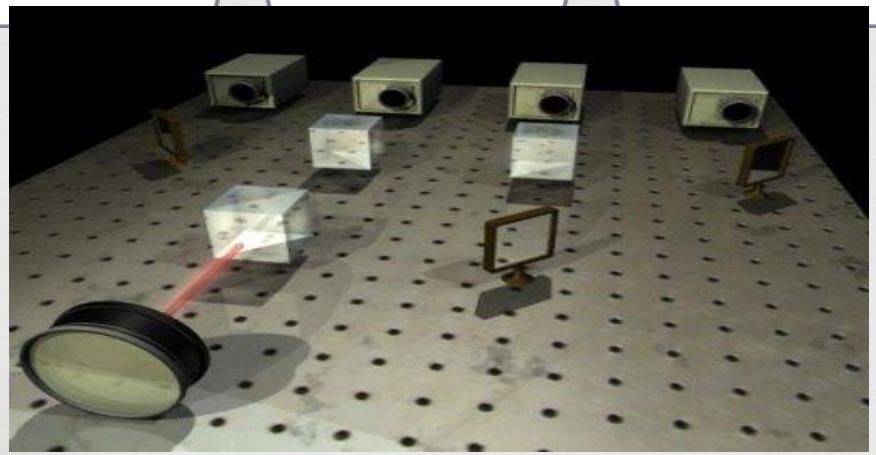
Схема представляла собой квантовый канал, на одном конце которого был передающий аппарат Алисы, на другом принимающий аппарат Боба. Оба аппарата размещены на оптической скамье длиной около 1 м, в светонепроницаемом кожухе размерами 1,5x0,5x0,5 м.

Управление происходило с помощью компьютера, в который были загружены программные представления легальных пользователей и злоумышленника

Сохранность тайны передаваемых данных напрямую зависит от интенсивности вспышек света, используемых для передачи.

Слабые вспышки, хоть и делают трудным перехват сообщений, все же приводят к росту числа ошибок у легального пользователя, при измерении правильной поляризации.

Повышение интенсивности вспышек значительно упрощает перехват путем расщепления начального одиночного фотона (или пучка света) на два: первого по-прежнему направленному легальному пользователю, а второго анализируемого злоумышленни ком.



Назад к истории

Легальные пользователи могут исправлять ошибки с помощью специальных кодов, обсуждая по открытому каналу результаты кодирования.

Но все-таки при этом часть информации попадает к криптоаналитику. Тем не менее, легальные пользователи Алиса и Боб, изучая количество выявленных и исправленных ошибок, а так же интенсивность вспышек света, могут дать оценку количеству информации, попавшей к злоумышленнику.

Алгоритм Беннета (1991)

Назад к истории

В 1991 году Ч. Беннетом был предложен следующий алгоритм для выявления искажений в переданных по квантовому каналу данных:

Отправитель и получатель договариваются о произвольной перестановке битов в строках, чтобы сделать положения ошибок случайными.

Строки делятся на блоки размера k (k выбирается так, чтобы вероятность ошибки в блоке была мала).

Для каждого блока отправитель и получатель вычисляют и открыто оповещают друг друга о полученных результатах. Последний бит каждого блока удаляется.

Для каждого блока, где четность оказалась разной, получатель и отправитель производят итерационный поиск и исправление неверных битов.

Чтобы исключить кратные ошибки, которые могут быть не замечены, операции пунктов 1-4 повторяются для большего значения k.

Для того чтобы определить, остались или нет необнаруженные ошибки, получатель и отправитель повторяют псевдослучайные проверки

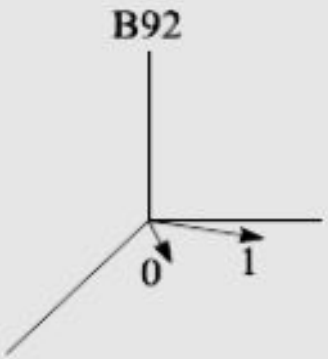
Назад к истории

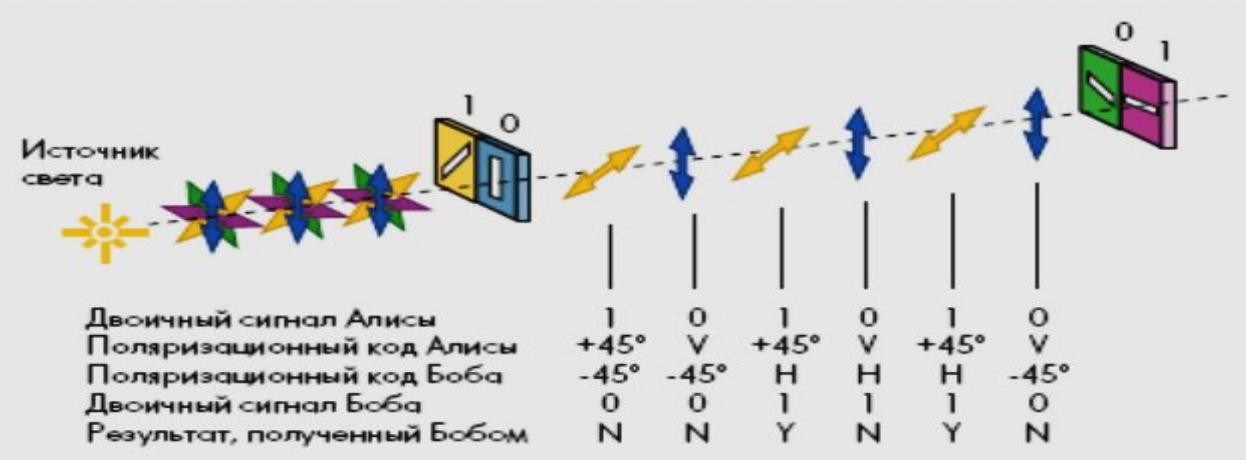
Псевдослучайная проверка:

- Получатель и отправитель открыто объявляют о случайном перемешивании позиций половины бит в их строках.
- Получатель и отправитель открыто сравнивают четности. Если строки отличаются, четности должны не совпадать с вероятностью 1/2.
- Если имеет место отличие, получатель и отправитель, использует двоичный поиск и удаление неверных битов.
- Если отличий нет, после m итераций получатель и отправитель получают идентичные строки с вероятностью ошибки 2^{-m}.

Алгоритм B92

- В протоколе используются фотоны, поляризованные в двух различных направлениях для представления нулей и единиц. Фотоны, поляризованные вдоль направления +45°, несут информацию о единичном бите, фотоны, поляризованные вдоль направления 0° (V) – о нулевом бите.
- Для определения поляризации станция Боб анализирует принимаемые фотоны, используя выбранный случайным образом один из двух неортогональных базисов «+» или «x»





Двоичный сигнал станции Алиса	1	0	1	0
Поляризационный код станции Алиса	⤢	↕	⤢	↕
Поляризационный код станции Боб	⤡	⤡	↔	↔
Двоичный сигнал станции Боб	0	0	1	1
Результат, полученный станцией Боб	-	-	+	-

Станция Алиса посылает фотоны, поляризованные в направлениях 0 и +45°, представляющие 0 и 1.

Станция Боб принимает фотоны через фильтры ориентированные под углом 90°и 135°(-45°).

Если фотон будет анализирован при помощи фильтра, ориентированного под углом 90°по отношению к передаваемому фотону, то фотон не пройдет через фильтр. Если же этот угол составит 45°, то фотон пройдет через фильтр с вероятностью 0,5.

Если станция Боб анализирует посланный фотон фильтром с ортогональным направлением поляризации, то он не может точно определить, какое значение данный фотон представляет

Если фотон был принят удачно (направления поляризации между посланным фотоном и фильтром неортогональны), то очередной бит ключа кодируется 0 либо 1