Quantum Cryptography

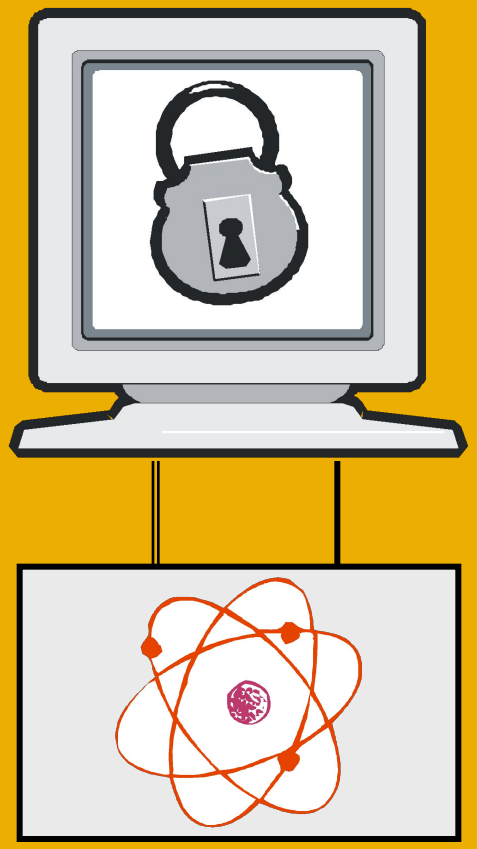
Головдинова Алина

План доклада

- Введение
  - Основные понятия
  - 3 базовых задачи
- Элементы квантовой механики
  - Кубиты
  - Опыт Юнга
- Начала **Quantum cryptography**
  - Протокол BB84

Введение

- **Quantum cryptography** является лучшим применением квантовых вычислений на сегодняшний день
- **Впервые в истории** появилась надежда реализовать с помощью **Quantum cryptography** совершенную секретность
- **Quantum cryptography** работает!

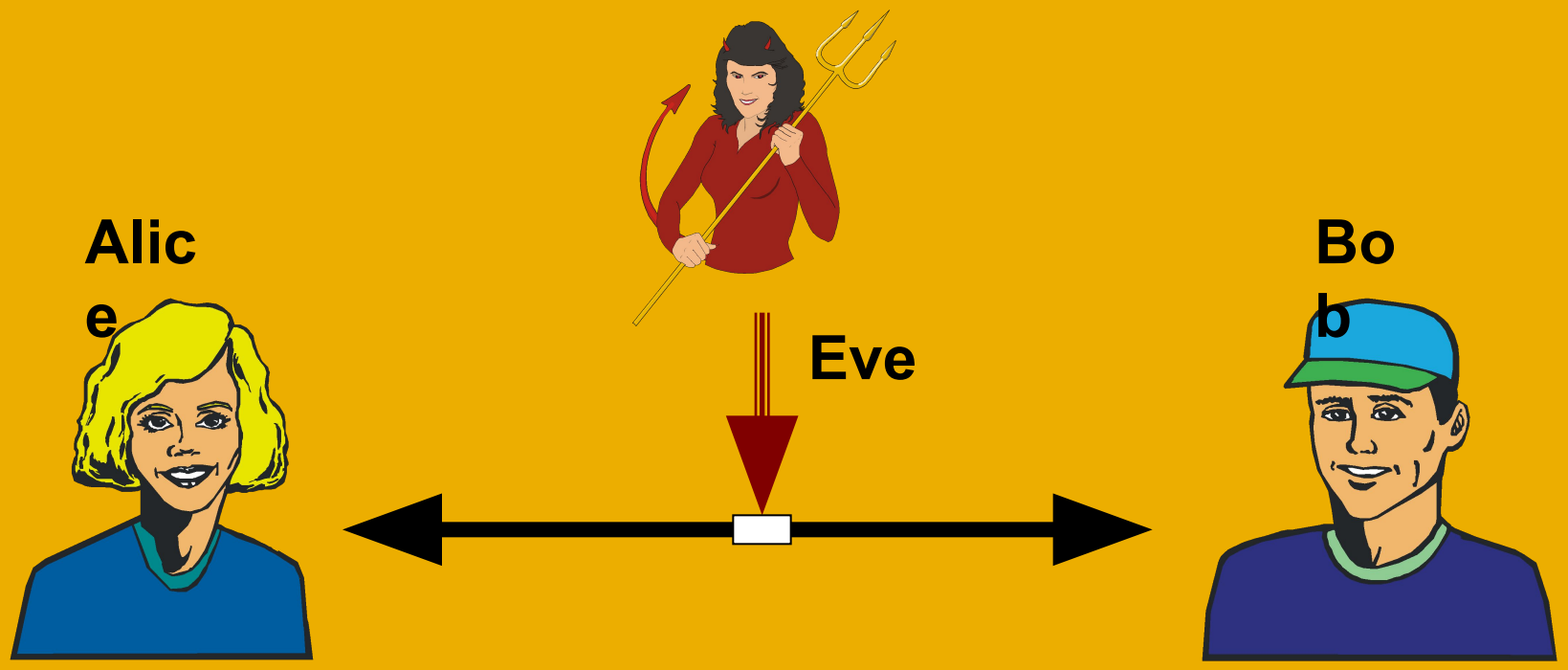


Состояние на сегодня

- Classical Cryptosystems, например RSA, базируется на проблеме разложения на множители.
- Quantum Computers могут взломать такие шифры.
- Нам нужна новая система шифрования!

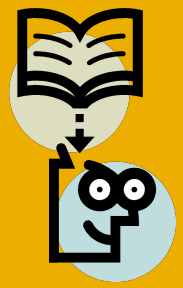
Основные понятия

- Исходный текст P, ключ K
  e(P, K)=C - шифрованный текст
  d[e(M, K), K] =P- расшифрованный



Проблемы

- **Первоначальной секретность**
- **Аутентификации**
- **Обнаружение подслушивателя**



Prob (P|C) = Prob (C)

One-Time Pad (OTP)

P=P1,P2,P3 K=K1,K2,K3 C=C1,C2,C3

Ci=Pi+Ki mod 2 for i=1,2,3…

P=11 01 K=01 00 C=P+K=10 01

Вычислительная безопасность

Определение:

f называется односторонней функцией, если:

1) f легко вычислить
2) обратную к ней трудно

Ea □□ Eb

Alice : Da(*Alice*) Cs=Eb(P+Da*(Alice))* □ Bob

Bob: Db(Cs)=P+Da*(Alice*) Ea(Da(Alice))=*Alice*

QC = QKD + OTP

- QKD: **Quantum Key Distribution**
- Используя квантовые методы мы можем передавать ключи в абсолютной секретности
- В результате **совершенная криптосистема:**

QC = QKD + OTP

Элементы квантовой механики

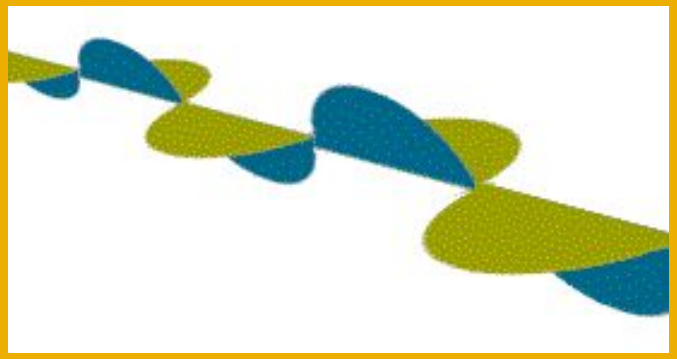
- **Измерение**
  - Наблюдение или **измерение** QS “портит” ее. Опыт Юнга.
  - Например **кубит**:

$$|\psi\rangle = a \cdot |0\rangle + b \cdot |1\rangle$$

  - При измерении его кубит становится простым битом, т.е. “0” с вероятностью a и “1” с вероятностью b

Фотоны

- **Физические кубиты**
  - Подойдет любая субатомная частица, например электрон
  - **Фотон** более подходящий
  - У фотонов наблюдаются **волновые** свойства



Поляризация

- У фотона есть свойство поляризации, направление, в котором он колеблется.
- Разные поляризации фотона реализуют разные состояния кубита:

$$\theta = 0^{\circ} \Rightarrow \text{state } |0\rangle$$

$$\theta' = 90^{\circ} \Rightarrow \text{state } |1\rangle$$

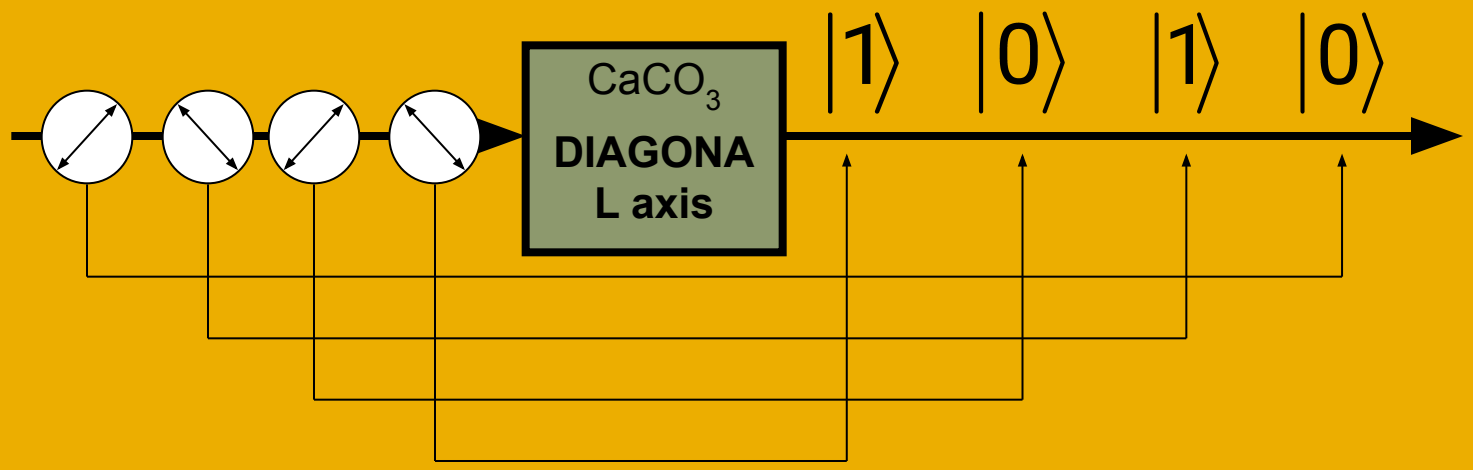
Поляризация и базисы

- Существует устройство, позволяющее узнать поляризацию фотона.
- Введем 2 базиса измерения кубитов:

Прямой:	**Косой:**
$\theta = 0^{\circ} \Rightarrow \text{state } \lvert 0 \rangle$	$\theta = 45^{\circ} \Rightarrow \text{state } \lvert 0 \rangle$
$\theta' = 90^{\circ} \Rightarrow \text{state } \lvert 1 \rangle$	$\theta' = 135^{\circ} \Rightarrow \text{state } \lvert 1 \rangle$

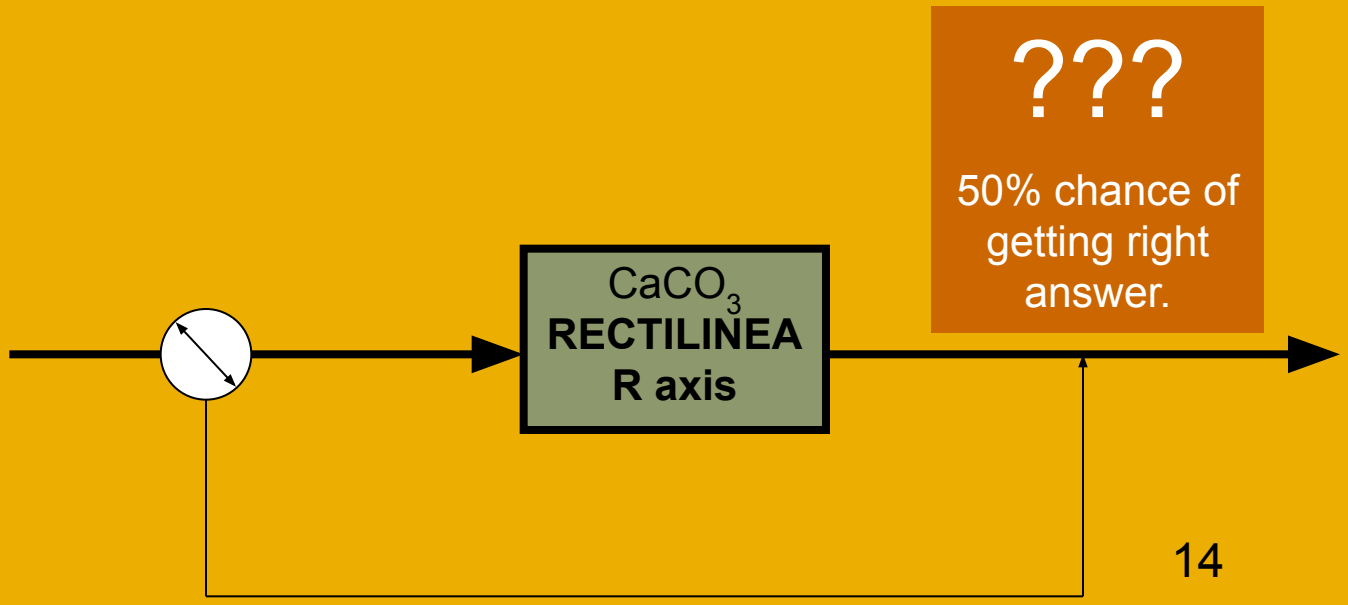
Измерение фотонов

- Например **кристаллы**, которые проецируют фотоны на базис.



Принцип неопределенности

- Как будет измерен “косополяризованный” фотон, если его спроецировать на прямой базис?



Начала квантовой криптографии

- **Quantum Key Distribution** позволяет избежать подслушивания.
- Если Eve попытается перехватить информацию, то Алиса и Боб узнают об этом.
- **BB84**, **B92**, **Entanglement-Based QKD.**

BB84 …

- **BB84**-это первый безопасный протокол для передачи ключа.
- Он основан на идеях **поляризации фотонов.**
- **Ключ** состоит из битов ,которые передаются как фотоны.

BB84 без подслушивания

- Алиса случайно создает ключ.
- Биты ключа кодируются случайным из 2х базисов.
- Полученные фотоны посылает Бобу.

Bit	**0**	**1**	**0**	**1**	**1**
Basis	**+**	**×**	**×**	**+**	**×**
Photon	↔	↘	↗	↕	↘

BB84 без подслушивания (2)

- Боб получает фотоны и считывает их по своим случайным базисам.

Photon	↔	↘	↗	↕	↘
Basis?	+	+	×	+	×
Bit?	0	0	0	1	1

- **Некоторые** базисы он угадал.

BB84 без подслушивания (3)

- Алиса и Боб понимают через открытый канал, какие базисы у них совпали.
- Те биты, у которых совпали базисы, формируют (“raw key”) ключ.

Сравнение

Alice's Bit	0	1	0	1	1
Alice's Basis	+	×	×	+	×
Photon	↔	⤡	⤢	↕	⤡
Bob's Basis	+	+	×	+	×
Bob's Bit	0	0	0	1	1

Test bits

Тестируемые биты позволяют Алисе и Бобу понять, безопасный канал или нет.

Проверка

- Если совпали тестовые биты, то никто не подслушивал.
- Тестовые биты удаляются из ключа, и получается (the final key) конечный ключ!

Получение конечного ключа

Alice's Bit	0	1	0	1	1
Alice's Basis	+	×	×	+	×
Photon	↔	⤡	⤢	↕	⤡
Bob's Basis	+	+	×	+	×
Bob's Bit	0	0	0	1	1

Test bits discarded

Final Key = 01

Проверка с подслушивающим

- Если канал подслушивали, то с вероятностью 25% в тестовых битах это будет обнаружено.
- Считывание фотонов Ивом с вер. 0.25 будет раскрыта.
- Фотоны нельзя клонировать.

Работающие экземпляры

- Уже проведены опыты по передачи квантовых битов через **оптоволокно** на расстояние **23км.**

Первый прототип применения quantum cryptography.

(IBM, 1989)

Выводы

- Quantum cryptography – это основное выдающееся достижение в области безопасности.
- Когда QC получит широкое применение, это позволит в безопасности производить:
  - Банковские транзакции
  - Правительственные переговоры
  - Торговые секреты

Литература

- “A talk on Quantum Cryptography or how Alice outwits Eve” Samuel J. Lomonaco, Jr.
- “Quantum Cryptography” Rajagopal Nagarajan, Nick Papanikolaou.