

# Реализация квантового компьютера на ионной ловушке

Вопрос по выбору к ГКЭ, январь 2022

Станислав Сидельников Б01-908, Егор Батарин Б01-906

Московский физико-технический институт

# Содержание

- Введение в квантовые вычисления

# Содержание

- Введение в квантовые вычисления
- Принцип работы ионной ловушки
  - Захват иона
  - Доплеровское охлаждение
  - Pro & Contra

# Содержание

- Введение в квантовые вычисления
- Принцип работы ионной ловушки
  - Захват иона
  - Доплеровское охлаждение
  - Pro & Contra
- Кубит на ионной ловушке
  - Физическая реализация кубита
  - Приготовление начального состояния
  - Оптическая накачка
  - Измерение конечного результата

# Введение в квантовые вычисления

Классический бит: 0 или 1 - два состояния.

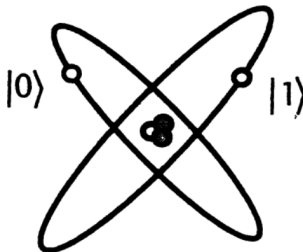
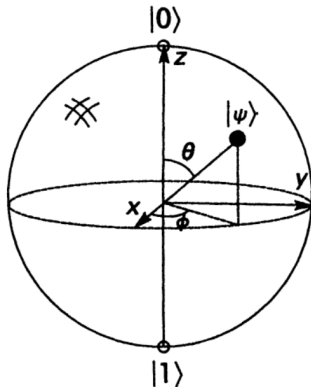
Квантовый бит:  $|\psi\rangle = \alpha |0\rangle + \beta |1\rangle$ ,  $\alpha, \beta \in \mathbb{C}$ ,  $|\alpha|^2 + |\beta|^2 = 1$  - бесконечно много состояний?

Представление на сфере Блоха:

$$|\psi\rangle = e^{i\gamma} \left( \cos \frac{\theta}{2} |0\rangle + e^{i\phi} \sin \frac{\theta}{2} |1\rangle \right) \sim \cos \frac{\theta}{2} |0\rangle + e^{i\phi} \sin \frac{\theta}{2} |1\rangle,$$

где  $\gamma, \theta$  и  $\phi$  - действительные числа.

# Введение в квантовые вычисления



# Принцип работы ионной ловушки

## Доплеровское охлаждение

1. Покоящийся атом, смещения по частоте нет, налетающий фотон не поглощается

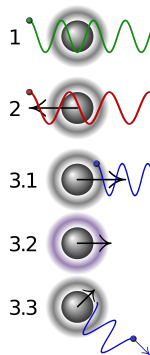


Рис.: Иллюстрация доплеровского охлаждения

# Принцип работы ионной ловушки

## Доплеровское охлаждение

1. Покоящийся атом, смещения по частоте нет, налетающий фотон не поглощается
2. Атом движется. Смещение по частоте в область красного спектра, поглощение фотона не происходит

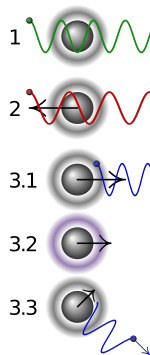


Рис.: Иллюстрация доплеровского охлаждения



# Принцип работы ионной ловушки

## Доплеровское охлаждение

1. Покоящийся атом, смещения по частоте нет, налетающий фотон не поглощается
2. Атом движется. Смещение по частоте в область красного спектра, поглощение фотона не происходит
- 3.1 Атом движется. Смещение по частоте в область синего спектра, происходит поглощение фотона.

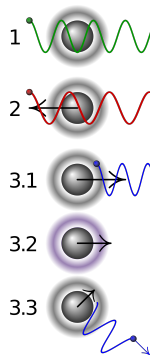


Рис.: Иллюстрация доплеровского охлаждения

# Принцип работы ионной ловушки

## Доплеровское охлаждение

### 3.2 Атом возбуждается

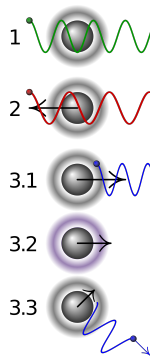


Рис.: Иллюстрация доплеровского охлаждения

# Принцип работы ионной ловушки

## Доплеровское охлаждение

3.2 Атом возбуждается

3.3 Атом излучает в случайном направлении

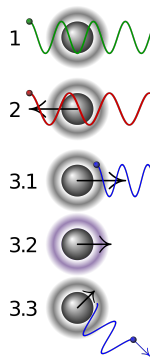


Рис.: Иллюстрация доплеровского охлаждения

# Принцип работы ионной ловушки

## Доплеровское охлаждение

1. Покоящийся атом, смещения по частоте нет, налетающий фотон не поглощается

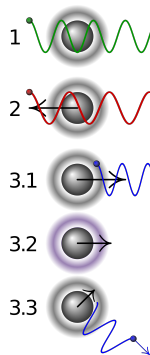


Рис.: Иллюстрация доплеровского охлаждения

# Принцип работы ионной ловушки

## Доплеровское охлаждение

1. Покоящийся атом, смещения по частоте нет, налетающий фотон не поглощается
2. Атом движется. Смещение по частоте в область красного спектра, поглощение фотона не происходит

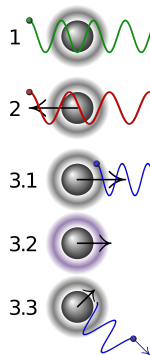


Рис.: Иллюстрация доплеровского охлаждения

# Принцип работы ионной ловушки

## Доплеровское охлаждение

1. Покоящийся атом, смещения по частоте нет, налетающий фотон не поглощается
2. Атом движется. Смещение по частоте в область красного спектра, поглощение фотона не происходит
- 3.1 Атом движется. Смещение по частоте в область синего спектра, происходит поглощение фотона.

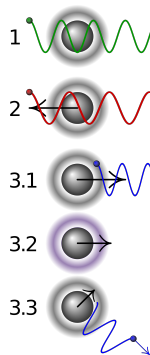


Рис.: Иллюстрация доплеровского охлаждения

# Реализация свойств квантового компьютера

## Представление кубита

- Кубит представляет собой атомные состояния сверхтонкой структуры удерживаемых в ловушке атомов.

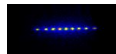


Рис.: Девять атомов кальция в ловушке

# Реализация свойств квантового компьютера

## Представление кубита

- Кубит представляет собой атомные состояния сверхтонкой структуры удерживаемых в ловушке атомов.
- Два сверхтонких уровня основного состояния (они называются «сверхтонкими кубитами»)

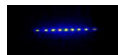


Рис.: Девять атомов кальция в ловушке



# Реализация свойств квантового компьютера

## Представление кубита

- Кубит представляет собой атомные состояния сверхтонкой структуры удерживаемых в ловушке атомов.
- Два сверхтонких уровня основного состояния (они называются «сверхтонкими кубитами»)
- Уровень основного состояния и возбужденный уровень (они называются «оптическими кубитами»)

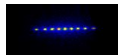


Рис.: Девять атомов кальция в ловушке

# Реализация свойств квантового компьютера

## Приготовление начального состояния

- Состояния ионных кубитов могут быть приготовлены в определенном состоянии кубита с помощью процесса, называемого **оптической накачкой**. В этом процессе лазер связывает ион с некоторыми возбужденными состояниями, которые в конечном итоге распадаются до одного состояния, которое не связано с лазером.

# Реализация свойств квантового компьютера

## Приготовление начального состояния

- Состояния ионных кубитов могут быть приготовлены в определенном состоянии кубита с помощью процесса, называемого **оптической накачкой**. В этом процессе лазер связывает ион с некоторыми возбужденными состояниями, которые в конечном итоге распадаются до одного состояния, которое не связано с лазером.
- Как только ион достигает этого состояния, у него нет возбужденных уровней, с которыми можно было бы взаимодействовать в присутствии этого лазера, и, следовательно, он остается в этом состоянии.

# Реализация свойств квантового компьютера

## Приготовление начального состояния

- Если ион распадается до одного из других состояний, лазер будет продолжать возбуждать ион до тех пор, пока он не распадется до состояния, которое не взаимодействует с лазером. Этот процесс инициализации является стандартным для многих физических экспериментов и может выполняться с очень высокой точностью ( $> 99,9$ )

# Реализация свойств квантового компьютера

## Приготовление начального состояния

- Состояния ионных кубитов могут быть приготовлены в определенном состоянии кубита с помощью процесса, называемого **оптической накачкой**. В этом процессе лазер связывает ион с некоторыми возбужденными состояниями, которые в конечном итоге распадаются до одного состояния, которое не связано с лазером.

# Реализация свойств квантового компьютера

## Приготовление начального состояния

- Состояния ионных кубитов могут быть приготовлены в определенном состоянии кубита с помощью процесса, называемого **оптической накачкой**. В этом процессе лазер связывает ион с некоторыми возбужденными состояниями, которые в конечном итоге распадаются до одного состояния, которое не связано с лазером.
- Как только ион достигает этого состояния, у него нет возбужденных уровней, с которыми можно было бы взаимодействовать в присутствии этого лазера, и, следовательно, он остается в этом состоянии.

# Реализация свойств квантового компьютера

## Приготовление начального состояния

- Если ион распадается до одного из других состояний, лазер будет продолжать возбуждать ион до тех пор, пока он не распадется до состояния, которое не взаимодействует с лазером. Этот процесс инициализации является стандартным для многих физических экспериментов и может выполняться с очень высокой точностью ( $> 99,9$ )

# Оптическая накачка

## Реализация свойств квантового компьютера

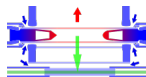


Рис.: Оптическая накачка  
лазерного стержня дуговой  
лампой