

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.

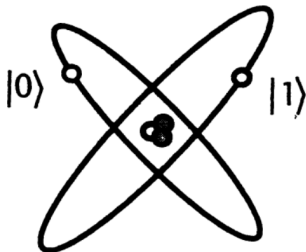
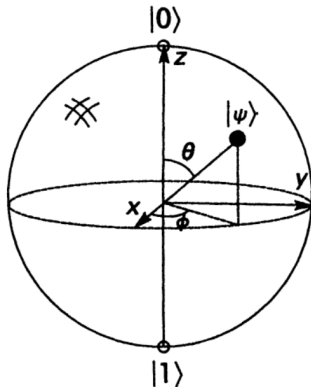
Квантовый бит: $|\psi\rangle = \alpha |0\rangle + \beta |1\rangle$, $\alpha, \beta \in \mathbb{C}$, $|\alpha|^2 + |\beta|^2 = 1$ - бесконечно много состояний?

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 γ, θ и ϕ - действительные числа.

Введение в квантовые вычисления



Захват ионов

Принцип работы ионной ловушки

- Мы рассматриваем ловушку Пауля. Данный тип ионной ловушки представляет собой систему электродов, между которыми находятся ионы.

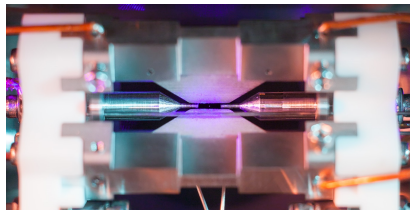


Рис.: Захваченный ион



Захват ионов

Принцип работы ионной ловушки

- Для содержания ионов в замкнутой области пространства используется периодическая смена напряжения

электрического поля на обоих электродах:

$$E_x = -\frac{U+V\cos\omega t}{r_0^2}x,$$

$$E_z = \frac{U+V\cos\omega t}{r_0^2}z \quad E_y = 0$$

- U - постоянное напряжение, V - напряжение на частоте ω

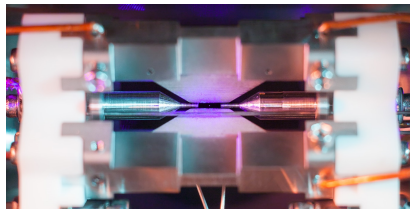
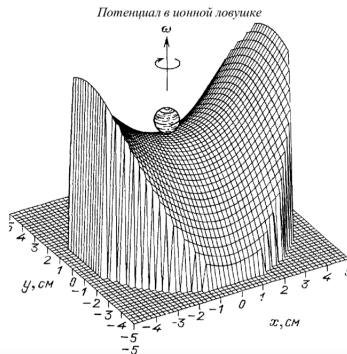


Рис.: Захваченный ион

Захват ионов

Принцип работы ионной ловушки

- Получаем эффект динамической стабилизации: потенциал в ловушке представляет собой геометрически поверхность седла.



Захват ионов

Принцип работы ионной ловушки

- В статике положение равновесие шарика (механический аналог иона) в этом седле будет неустойчиво.
- В то время как если систему вращать вокруг оси, проходящей через центр седла перпендикулярно плоскости xu , то система будет устойчива.

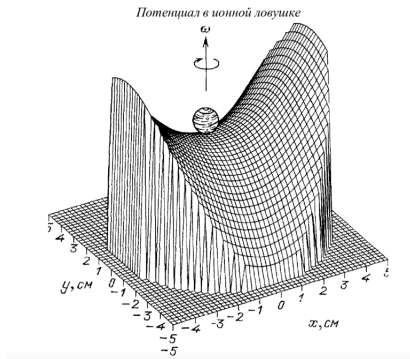


Рис.: Захваченный ион

Доплеровское охлаждение

Принцип работы ионной ловушки

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

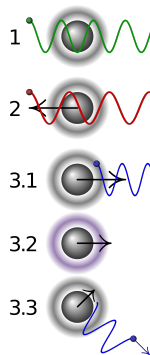


Рис.: Иллюстрация доплеровского охлаждения

Доплеровское охлаждение

Принцип работы ионной ловушки

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

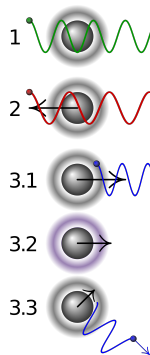


Рис.: Иллюстрация доплеровского охлаждения

Доплеровское охлаждение

Принцип работы ионной ловушки

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.

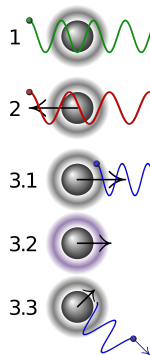


Рис.: Иллюстрация доплеровского охлаждения

Доплеровское охлаждение

Принцип работы ионной ловушки

3.2 Атом возбуждается

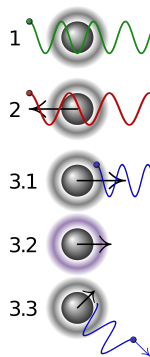


Рис.: Иллюстрация доплеровского охлаждения

Доплеровское охлаждение

Принцип работы ионной ловушки

3.2 Атом возбуждается

3.3 Атом излучает в случайном направлении

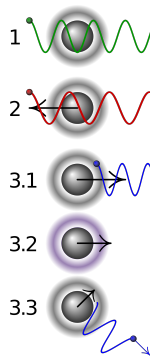


Рис.: Иллюстрация доплеровского охлаждения

Физическая реализация кубита

Кубитная ионная ловушка

- 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»)

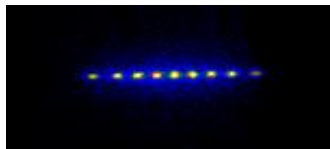


Рис.: Девять атомов кальция в ловушке

Приготовление начального состояния

Кубитная ионная ловушка

- 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.

Приготовление начального состояния

Кубитная ионная ловушка

- 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.

Приготовление начального состояния

Кубитная ионная ловушка

- 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

Кубитная ионная ловушка

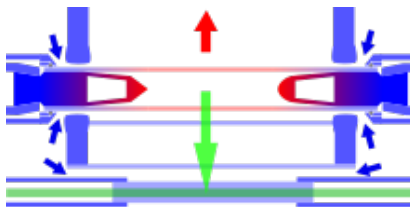


Рис.: Оптическая накачка
лазерного стержня дуговой
лампой

Измерение состояния