

# Сравнительный анализ методов создания квантовых битов и особенностей их взаимодействия с электромагнитными полями

Пятков Всеволод

МГУ имени М.В. Ломоносова, физический факультет

Кафедра атомной физики, физики плазмы и микроэлектроники

# Постановка цели и задач

**Цель:** анализ и сравнение основных типов квантовых битов, а также изучение их взаимодействия с электромагнитными полями и возможности использования как детекторов слабого сигнала.

## **Задачи:**

- ▶ Выделение критериев сравнения квантовых битов;
- ▶ Обзор методов создания и принципов действия некоторых типов кубитов;
- ▶ Их сравнение по заданным критериям;
- ▶ Описание взаимодействия кубитов с электромагнитными полями, на примере простейшей двухуровневой системы;
- ▶ Изучение возможности использования квантовых битов в качестве усилителей СВЧ сигнала.

# Критерии сравнения и типы кубитов

Для того, чтобы двухуровневая система могла быть использована в качестве вычислительного блока, необходимо соблюдение ряда технических требований:

- ▶ Хорошее время когерентности (Coherence time);
- ▶ Способность к масштабированию (Scalability);
- ▶ Иметь возможность считывания (Measurability);
- ▶ Обладать высокой точностью управления (Controllability);
- ▶ Простота изготовления.

Рассмотренные методы создания кубитов:

- ▶ Ионы в ловушках;
- ▶ Спин на нейтральных атомах;
- ▶ Спин в полупроводниковой матрице;
- ▶ Квантовый бит на сверхпроводящей элементной базе.

# Сравнение характеристик квантовых битов

	Кубит на ионах в ловушках	Кубит на нейтральных атомах	Кубит на спинах в полупроводниках	Сверхпроводящий кубит
Возможность применения при комнатной температуре	Да	Да	Да	Нет
Manufacturability	■ ■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■ ■
Scalability	■	■ ■ ■	■ ■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■
Measurability	■ ■	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■
Controllability	■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■ ■
Coherence time	■ ■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■

# Взаимодействие с э/м полями

В общем случае Гамильтониан двухуровневой системы и поля:

$$\hat{H} = E_0 \hat{I} + W_1 \sigma_x + W_2 \sigma_y + \Delta \sigma_z = \begin{pmatrix} E_0 + \Delta & W_1 - iW_2 \\ W_1 + iW_2 & E_0 - \Delta \end{pmatrix}. \quad (1)$$

Вероятность обнаружить систему в состоянии 1:

$$P_{0 \rightarrow 1}(t) = |\langle 1 | \psi(t) \rangle|^2 = \frac{|W|^2}{\Delta^2 + |W|^2} \sin^2 \left( \frac{(E_+ - E_-) t}{2\hbar} \right). \quad (2)$$

где  $E_+, E_-$  - собственные значения  $\hat{H}$ ;

$\Omega = \frac{E_+ - E_-}{2\hbar} = \frac{\sqrt{\Delta^2 + |W|^2}}{\hbar}$  - частота Раби.

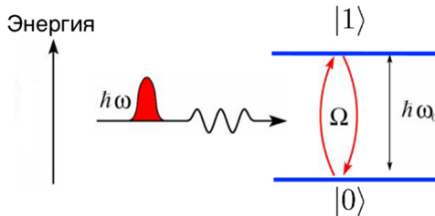
# Резонансный импульс при RWA

Система атом-свет:

$$\hat{H} = \hat{H}_0 + \hat{H}_I = \frac{\hbar\omega_0}{2}\sigma_z + \frac{\hbar\Omega(t)}{2}\cos(\omega t)\sigma_x, \quad (3)$$

$$P_{0 \rightarrow 1}(t) = \sin^2\left(\frac{\Theta}{2}\right), \quad (4)$$

где  $\Theta = \int_{-\infty}^t \Omega(t') dt'$ ;  $\Omega(t) = \frac{d\vec{\epsilon}(t)}{\hbar}$ .



В качестве высокочувствительных детекторов э/м поля можно использовать искусственные атомы.