

НАНОФИЗИКА И НАНОЭЛЕКТРОНИКА

**Материалы XX Международного
симпозиума**

14–18 марта 2016 г., Нижний Новгород

Том 1

Секции 1, 2, 4, 5

Нижний Новгород
Издательство Нижегородского госуниверситета им. Н.И. Лобачевского
2016

Управление состояниями потокового кубита одиночными одноквантовыми импульсами

Н.В. Кленов^{1,4,*}, И.И. Соловьев^{1,4}, А.В. Кузнецов³, С.В. Бакурский^{1,4}, М.Ю. Куприянов¹,
О.В. Тихонова³

¹ МГУ им. М.В. Ломоносова, НИИ ядерной физики им. Д.В. Скобельцына, Россия, 119991, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 2.

² ФГУП «НИИ Физических проблем им. Ф.В. Лукина», Россия, 124460, Москва, Зеленоград, проезд 4806, дом 6.

³ МГУ им. М.В. Ломоносова, физический факультет, Россия, 119991, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 2.

⁴ МФТИ ГУ, 141700, Московская область, Долгопрудный, Институтский пер., 9.

*nvklenov@gmail.com

Аналитическое исследование и численное моделирование динамики сверхпроводящего потокового кубита в магнитном поле подтвердили принципиальную возможность реализации простейших логических операций на пикосекундных временах при помощи одиночных импульсов магнитного поля, распространяющихся по распределенным джозефсоновским переходам и передающим линиям быстрой одноквантовой логики.

На сегодняшний день характерное время потери когерентности для потоковых кубитов на основе сверхпроводящих квантовых интерферометров доведено до нескольких микросекунд [1]. Но в таких квантовых системах невелика и скорость эволюции состояний под влиянием внешних воздействий: на переключение между двумя базисными состояниями с макроскопически различимыми магнитными моментами на сегодняшний день требуется приложить поле, модифицирующее так называемые Z-компоненты гамильтониана, на время, превышающее 50 нс (см. рисунки 1 и 2). Для сравнения укажем, что для сверхпроводниковых систем считывания, использующих взаимодействие с одноквантовыми импульсами магнитного поля (флаксонами), типичная длительность «операции» τ составляет всего несколько пикосекунд [2]. В рамках настоящей работы мы попытались найти способы осуществления простейших когерентных манипуляций над состояниями потокового кубита при помощи упомянутого кубит-флаксона взаимодействия, модифицирующего X-компоненты гамильтониана «джозефсоновского атома».

Для анализа этой прикладной задачи были разработаны методы приближенного аналитического (с использованием матричной экспоненты) и численного исследования динамики магнитного момента 2- и 3-уровневых систем во внешнем униполярном ультракоротком импульсе ($\omega\tau \ll 1$) магнитного поля, существенно отличающиеся от техники, используемой обычно для анализа «осциллирующих» ($\omega\tau \gg 1$) импульсов в рамках приближения «вращающейся волны».

Основные результаты

Очевидно, что и для униполярного, и для осциллирующего воздействия как на квантовую, так и на классическую систему динамика магнитного момента определяется площадью под огибающей магнитного поля. В частности, были получены простые выражения для значений этой площади, при которых происходит переворот магнитного момента (инверсия). Разработанные подходы использованы для моделирования простейшей логической операции инверсии (записи) над [3]

- джозефсоновским квантовым битом при помощи одиночных униполярных импульсов магнитного поля на пикосекундных временах ($\tau \sim 1-10$ нс, рисунок 3):

- магнитным моментом атомной системы при помощи осциллирующих магнитных полей на пикосекундных временах ($\tau \sim 1-10$ нс);

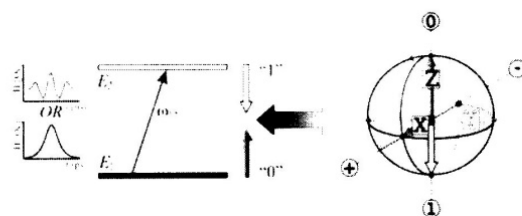


Рис. 1. Эволюция вектора состояния двухуровневой квантовой магнитной системы под действием импульсов магнитного поля (как униполярного, так и осциллирующего), модифицирующего X-компоненты гамильтониана

- джозефсоновским квантовым битом при помощи осциллирующих магнитных полей на пикосекундных временах ($\tau \sim 40-50 \text{ пс}$).

Также удалось продемонстрировать математическую эквивалентность с точностью до обозначений для описаний динамики магнитного момента классической системы и динамики квантовой двухуровневой системы и при униполярных, и при осциллирующих воздействиях; определены условия применимости этой аналогии ($\omega\tau \ll 1$ для униполярного поля, $\omega\tau \gg 1$ для осциллирующего поля).

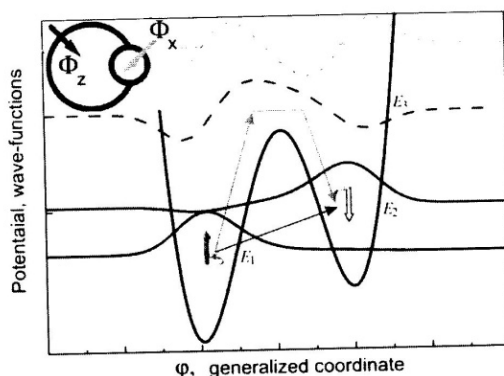


Рис. 2. Потенциальная энергия кубита на основе смещенного постоянным магнитным потоком сверхпроводящего квантового интерферометра и «фазовые» волновые функции первых четырех стационарных состояний такой системы

Выявленная эквивалентность позволила продемонстрировать невозможность переворота магнитного момента на пикосекундных временах при промежуточных значениях параметров воздействующего импульса $\omega\tau \approx 1$. Этот почти тривиальный результат позволяет, тем не менее, подобрать параметры униполярного, заведомо немонотонического воздействия так, чтобы реализовать операцию «НЕ» (инверсия) для потокового кубита, не возбуждая вышележащие уровни (рисунок 4). Кроме того, разработанная аналогия между уравнением Линдблада для квантовой системы, взаимодействующей с окружением, и уравнением Ландау-Лифшица с релаксационным членом для классической системы позволила сформулировать удобный критерий применимости использованных подходов, игнорирующих процессы потери когерентности в потоковых кубитах на пикосекундных временах.

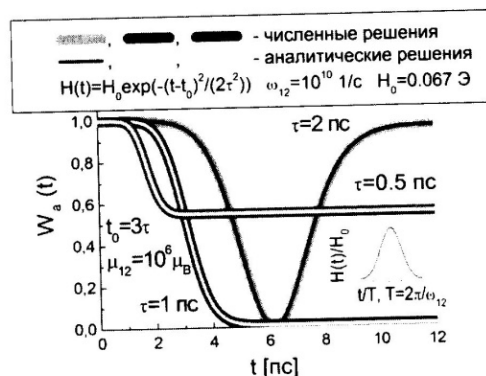


Рис. 3. Динамика двухуровневой системы, магнитный момент и характерная частота которой выбраны типичными для потоковых кубитов, в униполярном гауссовом поле для разных длительностей импульса, демонстрирующая возможность управления конечным состоянием двухуровневой системы

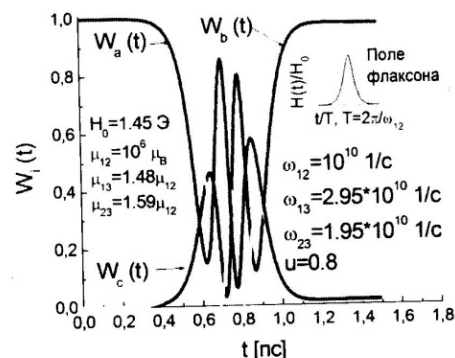


Рис. 4. Динамика населенностей уровней трёхуровневой системы в униполярном магнитном поле флаксона, демонстрирующая реализацию операции «инверсия» с учетом переходов на вышележащий возбужденный уровень

Работа проводилась при поддержке гранта Президента РФ № МК-5813.2016.2, РФФИ 15-32-20362-мол_a_вед и Минобрнауки RFMEFI61614X0011.

Литература

1. M. Stern, et al. // Phys. Rev. Lett., V. 113, 123601 (2014).
2. I.I. Soloviev, et al. // Appl. Phys. Lett., V. 105, 202602 (2014).
3. N.V. Klenov, et al. // Beilstein J. Nanotechnol., V. 6, 1946–1956 (2015).