

Влияние телеграфного шума на динамику кубита трансмонного типа при метрологических измерениях

A.R. Shlyakhov^{1,2}, V.V. Zemlyanov^{1,2}, S. Danilin⁴, A. Vepsalainen⁴, A.V. Lebedev⁵, G.B. Lesovik^{1,2,3},
G. Blatter⁵, M.V. Suslov¹, G.S. Paraoanu⁴

¹Московский физико-технический институт (государственный университет)

²Лаборатория квантовой теории информации, МФТИ

³Институт теоретической физики им. Л.Д. Ландау Российской академии наук

⁴Low Temperature Laboratory, Department of Applied Physics, Aalto University School of Science

⁵Theoretische Physik, ETH Zurich

Одним из наиболее важных разделов современной физики является квантовая метрология, обладающая огромным фундаментальным и прикладным значением. Использование свойств квантовых объектов (например кубитов), таких как квантовая интерференция, позволяет в экспериментах достигать предела масштабирования, именуемого пределом Гейзенберга [1].

Существуют множество различных реализаций кубита [2], но для метрологических целей был выбран кубит трансмонного типа, или трансмон [3], в силу его большей чувствительности к флуктуациям окружения. Трансмон – разновидность зарядового сверхпроводящего (СП) кубита, обладающего меньшей чувствительностью к зарядовому шуму, чем обычные зарядовые СП кубиты. Меньшая чувствительность достигается за счет значительного увеличения отношения энергии Джозефсона к зарядовой энергии, требуемой для переноса одиночного электрона через одноэлектронный контакт.

С помощью подобных кубитов проводятся эксперименты по измерению амплитуды магнитного поля, оцениванию характеристических функций стохастических процессов, происходящих в исследуемой системе, а также по подсчету количества зарядов, прошедших по квантовому проводнику.

В лаборатории в Aalto был поставлен эксперимент по оценке фазы трансмона. В эксперименте кубит располагается вблизи квантового провода, по которому протекает ток, создающий магнитные импульсы, вращающие фазу кубита. При помощи интерферометрии Рамзея определяется состояние кубита и по набранной статистике можно оценить характеристическую функцию стохастического процесса, присутствующего в NS-контакте провода, задающего управляющий поток через кубит. Предполагается, что шум в NS-контакте, проявляющийся во флуктуации тока, а, следовательно, и потока магнитного поля через кубит, вызван движением двухуровневой примеси (телеграфный шум). В случае, когда характерное время скачков тока много меньше времени когерентности кубита ($t \ll T_2$), теоретическая модель дает следующую формулу для вероятности найти кубит в возбужденном состоянии после проведения интерферометрии Рамзея

$$P_{|1\rangle}(\omega, \tau) = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} e^{-\tau/T_2} \cos(\omega\tau), \quad (1)$$

где ω – разница между реальной частотой кубита и некоторой заданной частотой, а τ – время выполнения интерферометрии Рамзея. В таком случае телеграфный шум не наблюдается, и функция имеет лишь одну частоту. В случае же, когда характерное время скачков тока много больше времени когерентности кубита ($t \gg T_2$), функция имеет несколько частот, обусловленных телеграфным шумом, по которым происходит усреднение:

$$P_{|1\rangle}(\omega, \tau) = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} e^{-\tau/T_2} \sum_j p_j \cos((\omega + \delta\omega_j)\tau), \quad (2)$$

где p_j – вероятности перехода примеси в каждое из своих состояний.

В настоящее время проводится исследование экспериментальных данных, в частности зависимость динамики примеси от приложенного к квантовому проводнику напряжения.

Литература

1. *Pryde G.J. [et al.] Demonstrating Heisenberg-limited unambiguous phase estimation without adaptive measurements // New J. Phys. 2009. 11 073023.*
2. *Валиев К.А., Кокин А.А. Квантовые компьютеры: надежды и реальность. – Ижевск: РХД, 2001. 352 стр.*
3. *Schoelkopf R.J. [et al.] Charge-insensitive qubit design derived from the Cooper pair box // Phys. Rev. A. 2007. 76, 042319.*