Contribution ID: **17** Type: **not specified**

Анизотропная модель взаимодействия кубита с резонатором: считывание, квантовые корреляции и слабый хаос

Monday 27 May 2024 15:00 (20 minutes)

Как известно, конечная стадия распространения амплитуды вероятности в регистре сверхпроводниковых кубитов заканчивается процессом измерения состояний кубитов, которые связаны с резонаторами [1,2]. При этом взаимодействие кубита с измерительной модой резонатора (фотонами) может быть описано в рамках модели Раби [3]. Если константа связи кубита с полем мала по сравнению с частотами кубита и фотонной моды, то справедливо приближение вращающейся волны, позволяющее найти точно спектр и волновую функцию системы: задача сводится к точно решаемой модели Джейнса-Каммингса (Д-К) [4], когда в системе появляется дополнительный интеграл движения (непрерывная симметрия), отвечающий за сохранение числа возбуждений: спектр состоит из дублетов, обусловленных слабой связью между кубитом и осциллятором. Состояния фотонов и кубитов оказываются сильно запутанными (entanglement). Именно в рамках приближения Д-К описывается процесс считывания состояний кубита, который основан на слабом расщеплении уровней при взаимодействии с резонатором. Условие малости расщепления обеспечивается параметром, равным отношению константы связи к разности энергии кубита и резонатора. Для приложений важен вопрос о стабильности работы считывающих устройств, т.е. вопрос об ограничениях на константу связи, при нарушении которых возможна хаотизация гибридных возбуждений в модели Раби.
Мы рассматриваем более общую модель взаимодействия поля с искусственным атомом –анизотропную модель Раби –возникающую в том случае, когда связь кубита с резонатором осуществляется одновременно как посредством емкости (аналог электро-дипольного взаимодействия), так и посредством индуктивности (аналог магнито-дипольного взаимодействия), т.е. имеет место гибридная связь. При таком взаимодействии поля с кубитом в нем одновременно участвуют зарядовые и потоковые степени свободы джозефсоновской линии [5]. Несмотря на то, что в гамильтониане анизотропной модели с самого начала присутствуют контр-вращательные слагаемые, при равных константах связи она точно сводится к решаемой модели Д-К. Изучая поведение квантовой паутины (квантовый аналог отображения Пуанкаре) при изменении параметров связи, мы продемонстрировали процесс разрушения интеграла движения, сохраняющегося в симметричном случае. Обнаружена корреляция в поведении длины локализации мод и нитей паутины, сопровождаемая резким возрастанием длины локализации, свидетельствующая об образовании каналов туннелирования между группами состояний, отвечающих различным значениям разрушающегося интеграла движения. Из проведенных расчетов следует, что наличие знакопеременных матричных элементов создает «сложность» в поведении спектра получаемых матриц анизотропной модели. При этом структура спектра анизотропной модели Раби не следует стандартной классификации случайных матриц, установленной для простейших ансамблей матриц, в которых наблюдается переход от распределения Пуассона к распределению Вигнера с ростом недиагональных элементов. Для анизотропной модели прослеживается связь с матрицами древовидной структуры или матрицами осцилляторного типа с плотной структурой уровней (типа распределения промежутков между «щеколдами старого забора»). Важным выводом из проведенного рассмотрения можно считать обнаруженную стабильность системы при равных константах связи, что позволяет расширить дисперсионный метод измерений состояний кубитов в режиме сильной связи.
Исследование осуществлено в рамках Программы фундаментальных исследований НИУ ВШЭ.
[1] Krantz P, Kjaergaard M., Yan F., Orlando T. P., Gustavsson S., Oliver W. D., A quantum engineer's guide

to superconducting qubits //Appl. Phys. Rev. 6, 021318 (2019).
[2] Вожаков В. А., Бастракова М. В., Кленов Н. В., Соловьев И. И., Погосов В. В., Бабухин Д. В., Жуков А. А., Сатанин А. М. Управление состояниями в сверхпроводниковых квантовых процессорах // Успехи физических наук. 2022. Т. 192. № 5.
[3] Rabi I. I. Space quantization in a gyrating magnetic field// Phys. Rev. 51, 652 (1937).
[4] Jaynes, E.T. and Cummings, F.W. Comparison of Quantum and Semiclassical Radiation Theories with Application to the Beam Maser//Proceedings of the IEEE, 51, 89-109(1963).
[5] Semenov A.A., Satanin A.M. Generation of Electromagnetic Pulses by an Array of Josephson Qubits with Hybrid Coupling to a Resonator// Russ Microelectron 52 (Suppl 1), S373–S378 (2023).

Author: САТАНИН, А.М. (National Research University Higher School of Economics, Moscow)

Co-author: ЛОЗОВИК, Ю.Е. (National Research University Higher School of Economics, Moscow)

Presenter: САТАНИН, А.М. (National Research University Higher School of Economics, Moscow)