

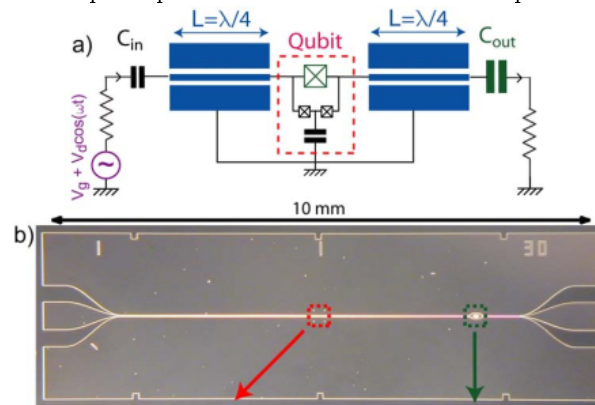
Детектирование квантового состояния сверхпроводниковых систем

makhlin@itp.ac.ru

Сверхпроводниковые системы являются одной из наиболее активно исследуемых реализаций квантовых битов. Экспериментально продемонстрированы сверхпроводниковые кубиты с большими временами квантовой когерентности и соответствующей высокой точностью элементарных квантовых операций. Одной из задач, которую необходимо решить как для реализации квантовых вычислений, так и для тесно связанных исследований физики небольших квантовых систем, является разработка квантового детектора для измерения квантового состояния отдельных кубитов или группы кубитов.

Один из подходов к квантовым измерениям для сверхпроводниковых кубитов использует детекторы, основанные на бистабильных сверхпроводниковых наноэлектронных системах. Первой такой системой был джозефсоновский бифуркационный усилитель, по существу являющийся осциллятором (LC -контуром), слегка ангармоническим за счёт нелинейности джозефсоновского контакта. При этом для высоко-чувствительных измерений используется возникающая в нелинейном осцилляторе неустойчивость при внешней накачке. Дальнейшее развитие привело к разработке бифуркационных детекторов в волноводе (см. рис.) и бифуркационных детекторов с удвоением периода [M. Metcalfe, E. Boaknin, V. Manucharyan, R. Vijay, I. Siddiqi, C. Rigetti, L. Frunzio, R. J. Schoelkopf, and M. H. Devoret, Phys. Rev. B 76, 174516 (2007); M. Khabipov et al., Supercond. Sci. Technol. 35, 065020 (2022); Yu.Makhlin and A.B.Zorin, J. Exp. Theor. Phys. 109, 98 (2024)]. Они имеют свои особенности и преимущества с точки зрения удобства экспериментальной реализации и точности измерений.

Мы рассмотрим систему, близкую к волноводу и сочетающую свойства этих детекторов. При взаимодействии такого детектора с квантовой системой (кубитом) и под действием внешнего возбуждения при типичных параметрах системы будет существенно задействована динамика не только основной моды волновода, но и других мод, в первую очередь с половинной длиной волны. Задачей является теоретический анализ динамики такой системы с участием разных мод в волноводе и её отклика на внешнее воздействие: в первую очередь её чувствительность к состоянию измеряемого квантового бита. Предполагается исследовать возникновение и развитие неустойчивости в такой системе, и на основе этого её характеристики как квантового измерителя.



Кстати, подобный способ проведения квантового измерения / считывания квантового состояния возможен и для других наноэлектронных квантовых систем, например, «топологических квантовых битов» на основе джозефсоновских контактов с майорановскими модами.

Для работы над проектом предварительное знание квантовой механики или физики сверхпроводимости не требуется (оно может быть полезно, но минимальные необходимые сведения мы обсудим на самом раннем этапе). Для получения общего приблизительного представления об эффекте Джозефсона можно ознакомиться с В.В.Шмидт, «Введение в физику сверхпроводников», 2000, §20-21 (до 21.1), но необходимые уравнения и их физику мы обсудим в ходе работы над проектом.