

## Измерения однофотонного источника микроволнового диапазона.

Кореньков А.В.<sup>1,2</sup>, Дмитриев А.Ю.<sup>1</sup><sup>1</sup>Московский физико-технический институт (государственный университет)<sup>2</sup>Сколковский институт науки и технологий (Сколтех)

Измерение однофотонного источника гигагерцового диапазона является экспериментально сложной задачей ввиду низкой энергии одиночного микроволнового фотона ( $\hbar\omega \ll kT_{\text{комн}}$ ) и следующей из этого необходимости охлаждения до низких температур при измерениях. Тем не менее, даже при использовании криостата растворения с базовой температурой 12 мК сигнал от источника оказывается значительно зашумлен, преимущественно из-за теплового шума, вносимого усилителями. Ситуация осложняется также тем, что в микроволновом диапазоне не существует детекторов одиночных фотонов, что приводит к необходимости набора большой статистики.

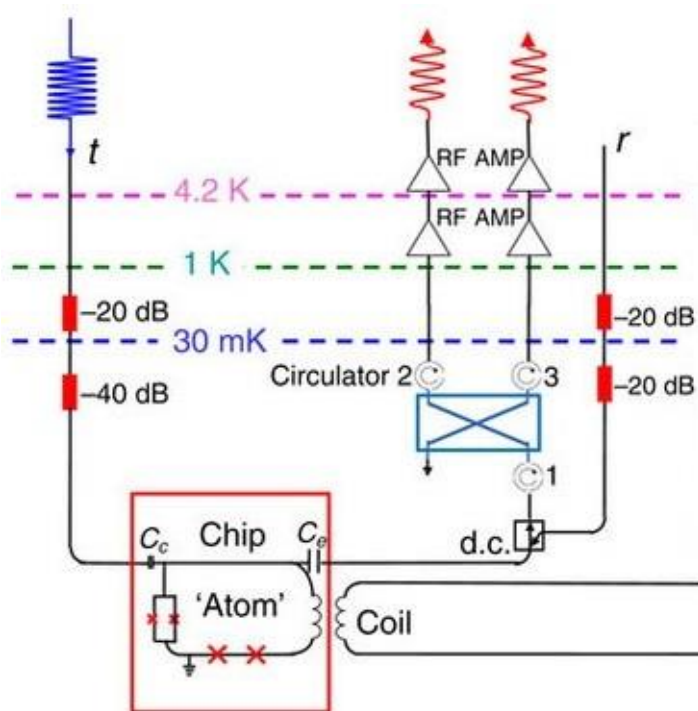


Рис. 1. Принципиальная схема эксперимента. Возбуждающий импульс (слева сверху) подаётся на однофотонный источник, представляющий из себя потоковый кубит, асимметрично присоединённый к считывающей и возбуждающей линии (рамочка внизу). В считывающей линии источника установлен 50/50 делитель пучка, необходимый для измерения корреляционных функций источника. После прохождения через делитель пучка сигнал проходит через каскад усилителей к считывающему оборудованию.

В этой работе приводятся результаты измерений однофотонного источника, представляющего из себя потоковый кубит, асимметрично ёмкостно присоединённый к считывающей и возбуждающей линии<sup>[1]</sup>. Схема измерительной установки приведена на Рис. 1. Кремниевый чип с однофотонным источником был сфабрикован на оборудовании ЦКП МФТИ с использованием электронной литографии. Кратко эксперимент можно описать так: на однофотонный источник с кубитом в основном состоянии подаётся резонансный возбуждающий импульс, причём его длительность регулируется. После такого воздействия кубит оказывается в произвольном состоянии суперпозиции с волновой функцией  $|\psi\rangle = \alpha|0\rangle + \beta|1\rangle$ , причём оказывается, что коэффициенты  $\alpha$  и  $\beta$  периодически зависят от длительности импульса — эффект, известный как Раби-осцилляции. Экспериментально это должно проявляться как осцилляции квадратурного напряжения на выходе однофотонного источника в зависимости от длины

импульса<sup>[2],[3]</sup>, что подтверждается на практике (см. Рис. 2). Для обработки большого массива данных, необходимой из-за высокого отношения шум/сигнал (порядка 500 для одиночных излученных фотонов), была разработана система быстрого сбора данных на основе высокоскоростного АЦП фирмы Keysight, способная в режиме реального времени выполнять математические операции над данными, собираемыми со скоростью  $\sim 2\text{Gb/s}$ . Данная система позволяет начать сбор статистики для измерения корреляционных функций первого и второго порядка прибора, определяющих долю неоднотонных состояний в поле, излучаемом источником<sup>[3],[4]</sup>.

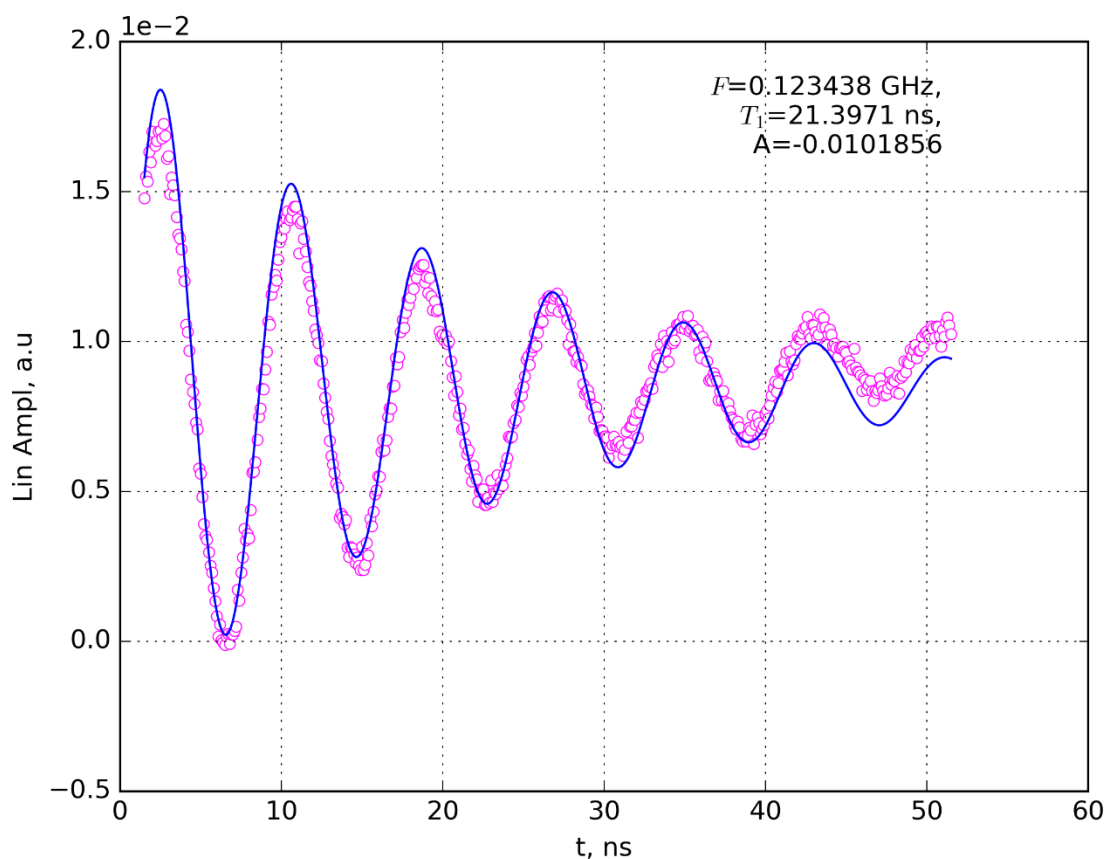


Рис. 2. Зависимость квадратурного напряжения на выходе источника от длительности возбуждающего импульса в наносекундах. Кружки обозначают экспериментальные данные, сплошная кривая - фит данных экспоненциально затухающей синусоидой со средним уровнем. В углу указаны вычисленные параметры фита: частота синусоиды, время затухания экспоненты, а также средний уровень.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (РНФ).

### Литература.

1. Peng, Z. H., de Graaf, S. E., Tsai, J. S. & Astafiev, O. V. Tuneable on-demand single-photon source in the microwave range. *Nat. Commun.* **7**, 12588 (2016).
2. Bozyigit, D. *et al.* Antibunching of microwave-frequency photons observed in correlation measurements using linear detectors. *Nat. Phys.* **7**, 154–158 (2011).
3. Da Silva, M. P., Bozyigit, D., Wallraff, A. & Blais, A. Schemes for the observation of photon correlation functions in circuit QED with linear detectors. *Phys. Rev. A - At. Mol. Opt. Phys.* **82**, 1–12 (2010).
4. Michler, P. A Quantum Dot Single-Photon Turnstile Device. *Science.* **290**, 2282–2285 (2000).