Уважаемые коллеги!

7 октября в 15:30 в конференц-зале на территории "Питомника" ИЯИ РАН
состоится семинар ОТФ (с возможностью участия в удаленном формате
с помощью Яндекс-Телемост)

**А.Л. Панкратов (ИФМ РАН, НГТУ им. Р.Е. Алексеева)**
Детекторы одиночных фотонов микроволнового диапазона на основе
алюминиевых СИС контактов для поиска аксионов.
(см. аннотацию ниже)

Ссылка на видеовстречу:
<https://telemost.yandex.ru/j/15553875272592>

Всего хорошего,
Сергей Демидов

Аннотация
В НГТУ им. Р.Е. Алексеева выполняется разработка, создание и исследование
детекторов одиночных микроволновых фотонов. Коммерчески доступные однофотонные
детекторы работают на частотах в сотни ТГц и выше (например, «Сконтел»
является лидером на рынке однофотонных детекторов телекоммуникационного
диапазона частот), а в области микроволновых частот (с энергией фотонов на 4
порядка ниже) детекторы одиночных фотонов отсутствуют. Из-за ограничения
квантовым пределом, стандартные параметрические и СКВИД-усилители на основе
джозефсоновских контактов не могут быть использованы для детектирования
одиночных фотонов ГГц диапазона частот (см.  Lamoreaux et al, Phys. Rev. D 88,
035020 (2013)). В этой связи, требуется создание нового класса счетчиков
микроволновых фотонов. Детектирование одиночных фотонов не нуждается в
усилении и не ограничено квантовым пределом. Такие устройства востребованы как
в качестве универсальных детекторов, так и для квантовых вычислений, в
т.ч. для тестирования источников одиночных фотонов по требованию на основе
сверхпроводящих кубитов.

Еще одним важным применением таких однофотонных детекторов является поиск
частиц темной материи - аксионов. Сегодня несколько лабораторий мира, в том
числе лаборатория лауреата Нобелевской премии Франка Вильчека в Стокгольме,
разрабатывают экспериментальные установки для обнаружения аксионов, одного из
основных кандидатов на роль частиц темной материи. Работы ведутся в рамках
проектов ADMX, США [1]; MADMAX, Германия/Швеция; QUAX, Италия [2,3]; ORGAN,
Австралия; IBS, Южная Корея [4]; и других [5]. Но пока для успешной реализации
таких проектов отсутствует важный элемент - однофотонные детекторы
микроволнового диапазона частот, а для детектирования используются
джозефсоновские параметрические усилители, ограниченные квантовым пределом. В
отличие от других типов частиц темной материи, для обнаружения аксионов не
требуются низкофоновые лаборатории, расположенные глубоко под землей, для
этого нужны только низкотемпературные криостаты (до 0.01 К) со
сверхпроводниковыми магнитами на 3-9 Тл и однофотонные детекторы. Такие
криостаты могут быть расположены в любых лабораторных помещениях, но
желательно на нижних этажах зданий для минимизации вибраций, и с отдельным
заземлением, поскольку микрофонные эффекты и наводки могут существенно
ограничивать чувствительность детекторов.

Разрабатываемый детектор на основе джозефсоновского контакта «сверхпроводник –
изолятор – сверхпроводник» (СИС) является пороговым, при поглощении фотона он
переключается в резистивное состояние и возникает конечное напряжение порядка
0.4 мВ. При этом тепловые и квантовые шумы приводят к ложным срабатываниям
детектора, и их влияние необходимо минимизировать. В настоящее время получены
первые прототипы однофотонных детекторов на основе алюминиевых СИС контактов
(образцы изготовлены в Чалмерском университете, Швеция), и в
низкотемпературном криостате НГТУ проведены измерения их чувствительности.
Использование алюминиевой технологии позволяет интегрировать
такие счетчики фотонов на одном чипе со сверхпроводящими кубитами. Было
исследовано переключение счетчика слабым сигналом с частотой 10 ГГц,
описываемым пуассоновской статистикой фотонов, при температуре 50 мК. При
сравнении с пуассоновской статистикой показано, что вероятность переключения
соответствует обнаружению 1, 2, 3, 4 и 5 фотонов. Квантовая эффективность
детектирования 5 фотонов близка к 100% с временем темновых отсчетов более 10с,
а эффективность детектирования одиночных фотонов составляла 2%
<https://www.nature.com/articles/s41534-022-00569-5>. Недавно был создан
прототип детектора, имеющий эффективность детектирования одиночных 14 ГГц
фотонов 40% при частоте темновых отсчетов менее 0.1 Гц
<https://doi.org/10.48550/arXiv.2404.10434>. Текущие характеристики детекторов
уже позволяют их использовать в программах по поиску частиц темной материи в
России и зарубежных лабораториях.

Список литературы по поиску аксионов
1. T. Braine et al, Phys. Rev. Lett. 124, 101303
(2020). <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.124.101303>

2. R. Barbieri et al, Physics of the Dark Universe 15, 135
(2017). <http://dx.doi.org/10.1016/j.dark.2017.01.003>

3. N. Crescini et al, Phys. Rev. Lett. 124, 171801
(2020). <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.124.171801>

4. S. Youn, J. Jeong, Y. K. Semertzidis,  Front. Phys. 12, 1347003
(2024). <https://doi.org/10.3389/fphy.2024.1347003>

5. J. Golm et al, Front. Phys. 12, 1372846
(2024). <https://doi.org/10.3389/fphy.2024.1372846>