

ОТЗЫВ официального оппонента

на диссертацию на соискание ученой степени

доктора физико-математических наук **Соловьева Игоря Игоревича**
на тему **«СВЕРХПРОВОДЯЩИЕ КВАНТОВЫЕ ИНТЕРФЕРОМЕТРЫ
ДЛЯ УСТРОЙСТВ ПРИЕМА СИГНАЛА И ОБРАБОТКИ
ИНФОРМАЦИИ»** по специальности **01.04.15** – «Физика и технология
наноструктур, атомная и молекулярная физика»

Эффект Джозефсона и Сверхпроводящие Квантовые Интерферометры или СКВИДы были предложены пятьдесят лет назад (в шестидесятых годах прошлого века). Хотя чисто научное исследование СКВИДов, работающих в классических режимах, практически завершилось к восьмидесятым годам прошлого века, данная работа представляет как фундаментальную, так и прикладную ценность. Так, наряду с нахождением аналитического решения, описывающего отклик двухкомпонентного СКВИДа (Глава 2), разработано ценное и оригинальное устройство би-СКВИД (Глава 3).

Основной целью диссертационной работы Соловьева И.И. являлось развитие методов расчета сверхпроводниковых интерферометрических схем на базе джозефсоновских контактов (этому посвящена теоретическая часть) и способов создания элементной базы устройств приема сигнала и обработки информации на основе джозефсоновских контактов (экспериментальная часть). Работа была направлена на вывод аналитических выражений для отклика сверхпроводящих квантовых интерферометров на внешний магнитный сигнал, оптимизацию схем аналоговых и цифровых преобразователей магнитного сигнала в напряжение на базе СКВИДов, а также развитие методов применения магнитных джозефсоновских контактов в схемах сверхпроводниковой логики и памяти.

Диссертация (общим объемом 319 стр.) состоит из введения, шести глав, заключения и списка литературы, содержащего 446 наименований, включая публикации автора. Во введении сформулирована постановка задачи и обосновывается актуальность выбранной темы. В заключении сформулированы основные результаты диссертационной работы.

В первой главе диссертации приведен обзор литературы, посвященный принципам функционирования аналоговых, аналого-цифровых и цифровых схем на базе СКВИДов и их применению в магнитометрии, в качестве низкошумящих усилителей и интерфейсных схем, в устройствах считывания состояний низкотемпературных детекторов и квантовых объектов. Обзор обширный, достаточно подробный, логично построенный, охватывает все области и существующие исследования, описанные в диссертации.

Вторая глава посвящена аналитическому описанию отклика двухконтактного СКВИДа. Получены аналитические выражения для следующих величин: усредненной по времени вольт-поточковой характеристики симметричного СКВИДа с безразмерной индуктивностью контура; циркулирующего тока от приложенного магнитного потока в сверхпроводящем состоянии СКВИДа; вольт-поточковой характеристики и усредненного по времени циркулирующего тока от магнитного потока в резистивном состоянии СКВИДа; критического тока от магнитного потока СКВИДа. По мнению автора, найденные выражения могут значительно упростить оптимизацию разрабатываемых многоэлементных СКВИД-структур.

В третьей главе описаны методы линеаризации отклика джозефсоновских структур на базе СКВИДов. Данная глава является одной из самых интересных. В ней обсуждается весьма ценное и интересное устройство, так называемый би-СКВИД. Нужно отметить, что в оригинальной статье (K. Kornev, I. I. Soloviev, N. V. Klenov and O. A. Mukhanov, "Bi-SQUID - novel linearization method for dc SQUID voltage response," *Supercond. Science. and Technology*, vol. 22, 2009, p. 114011.) Это устройство также описано достаточно подробно и может быть оценено как перспективное изобретение.

В четвертой главе предложены методы построения интерфейсных усилителей на базе последовательных цепочек СКВИДов, которые преобразуют одноквантовые импульсы в импульсы напряжения с амплитудой порядка 1мВ и могут быть обработаны полупроводниковыми низкошумящими усилителями

или компараторами. Содержание этой главы является продолжением кандидатской работы диссертанта.

Пятая глава посвящена сверхпроводящим интерферометрам, в которых вместо сосредоточенных джозефсоновских контактов используются непрерывные или дискретные джозефсоновские передающие линии. На примере флаксона баллистического детектора, учитывая релятивистские эффекты в динамике рассеяния флаксона, рассмотрен принцип работы сверхпроводящего интерферометра. Предложенное описание релятивистской динамики позволило рассчитать основные характеристики баллистического детектора, такие как временной отклик системы, суммарный джиттер, и отношение сигнала к шуму, а также оптимизировать параметры устройства. Основным результатом главы явилась демонстрация влияния черенковского излучения солитона на стандартное отклонение времени его распространения. Представлен алгоритм измерений и разработаны различные топологии измерительной схемы, включающей цифровые блоки задания и считывания одноквантового сигнала и позволяющей экспериментально определять стандартное отклонение времени распространения флаксона по непрерывным и дискретным джозефсоновским передающим линиям.

Шестая глава посвящена магнитным джозефсоновским контактам в базовых элементах логики и памяти. Это наиболее физическая глава, которая демонстрирует владение автором весьма сложным аппаратом теоретической физики. Следует отметить рассчитанный диссертантом на базе джозефсоновской структуры вида S-F/NF-S магнитный джозефсоновский вентиль. Исследованы характеристики SISFS структур и вентилях на их основе. Следует также отметить, что диссертант является соавтором ряда патентов в которых защищены предложенные конструкции вентилях.

Диссертация содержит большое число важных и оригинальных результатов, хорошо структурирована и аккуратно оформлена, содержит ценные разделы обзорного плана. Вся цитируемая информация снабжена

соответствующими ссылками. По каждой главе и по работе в целом сделаны четкие выводы.

Достоверность экспериментальных данных обеспечивается использованием современных средств и методик проведения исследований.

Весьма положительно оценивая весь материал в целом, считаю необходимым сделать следующие **комментарии и замечания**:

1. Сосредоточившись на интересной подзадаче - нахождении аналитических решений системы нескольких нелинейных уравнений для описания отклика двухкомпонентного СКВИДа, диссертант справился с поставленной им самой задачей и вынес на защиту аналитические решения, справедливые при не самых востребованных на практике значениях параметров. Два из найденных (промежуточных) решений выглядят так:

$$\psi^* = \frac{l}{2} \left[\frac{\Delta i_c}{2} + \frac{\Sigma i_c \Delta r_n}{2 \Sigma r_n} \right] - \frac{l}{\Sigma r_n \sqrt{1 + \left[\frac{l w_{j-}^*}{\Sigma r_n} \right]^2}} \times \left[\frac{\Sigma v_c}{2} \sin \psi^* \cos \left(\theta - \arctan \left[\frac{l w_{j-}^*}{\Sigma r_n} \right] \right) + \frac{\Delta v_c}{2} \cos \psi^* \sin \left(\theta - \arctan \left[\frac{l w_{j-}^*}{\Sigma r_n} \right] \right) \right] \quad (2.41)$$

$$\bar{i}_{cir}^* = \frac{\left[\Sigma v_c \Delta v_c - 2 \frac{\Sigma l w_{j-}^*}{\Sigma r_n} v_{c1} v_{c2} \sin 2 \psi^* \right] \left(\frac{i_b}{2} - w_{j-}^* \right)}{2 \Sigma r_n \left(\left[\frac{\Sigma l w_{j-}^*}{\Sigma r_n} \right]^2 + 1 \right) \left[\frac{\Delta v_c^2}{4} + v_{c1} v_{c2} \cos^2 \psi^* \right]} - \frac{i_b \Delta r_n}{2 \Sigma r_n} \quad (2.54)$$

Полученные диссертантом аналитические решения, безусловно, имеют как фундаментальную, так и прикладную ценность. Однако, хочу напомнить, что, согласно диссертанту, численные значения, полученные с использованием аналитических выражений совпадают с результатами прямых численных решений. Для многих исследований и разработок аналитические формулы легче для восприятия. Для других же аналитические формулы слишком сложны, чтобы быть полезными. Кроме того, численные вычисления на компьютере всё равно необходимы хотя бы

просто для того, чтобы «увидеть» как зависят результаты формул от многочисленных параметров.

2. Раздел 3.6 «Приложение. Описание ниобиевой технологии фирмы HYPRES» это содержание официального документа, который можно найти по ссылке: <https://www.hypres.com/wp-content/uploads/2010/11/DesignRules-4.pdf>. Хотелось бы понять, принимал ли соискатель активное участие в разработке этого документа? Или это свободный пересказ данного документа, который можно исключить из текста диссертации.
3. При разработке «флаксоновых схем», работающих при низких температурах, экспериментальные усилия были направлены на изучение влияния тепловых флуктуаций на нестабильность скорости движения флаксона или, по-другому, джиттера при гелиевых температурах. Такого типа измерения хорошо известны и описаны в литературе. Соответствующие ссылки, к сожалению, отсутствуют в списке литературы диссертации. Хотелось бы получить от автора оценки джоулевого нагрева цифровых ячеек, разработанных им, в миллиКельвиновом диапазоне температур. Являются ли данные ячейки, пригодными для квантовых измерений?

Указанные замечания не умаляют значимости диссертационного исследования, не носят принципиального характера, не снижают общего, весьма положительного впечатления от работы. Основные результаты диссертационной работы достаточно полно **опубликованы** в ведущих отечественных и зарубежных журналах, **обсуждались** и были приняты научным сообществом на международных и всероссийских конференциях, получили одобрение ведущих специалистов. Диссертация **И.И. Соловьева** является законченным научно-исследовательским трудом, выполненным на высоком научном уровне. В работе приведены оригинальные научные результаты, представляющие интерес как с **фундаментальной**, так и с

практической точек зрения. Полученные автором результаты **достоверны**, выводы и заключения **обоснованы**.

Диссертация отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В.Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 01.04.15 – «Физика и технология наноструктур, атомная и молекулярная физика» (по физико-математическим наукам), а также критериям, определенным пп. 2.1-2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В.Ломоносова, а также оформлена, согласно приложениям № 5, 6 Положения о диссертационном совете Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова.

Таким образом, соискатель Соловьев И.И. заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.15 – «Физика и технология наноструктур, атомная и молекулярная физика»

Официальный оппонент:

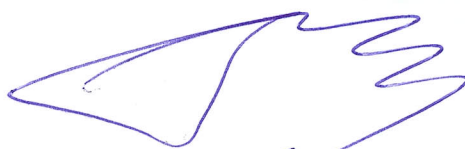
доктор физ.-мат. наук наук,

зав. кафедрой общей и экспериментальной физики

Института физики, технологии и информационных систем

ФГБОУ ВПО МПГУ

д. ф.-м. н., проф.



28.05.18

Гольцман Г.Н.

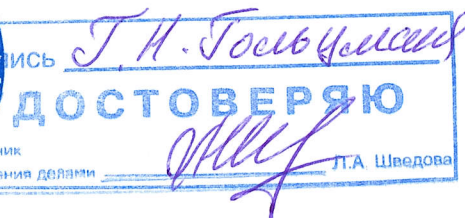
Дата подписания

Контактные данные:

тел.: (499)246-80-39, e-mail: goltzman@mspu-phys.ru

Специальность, по которой официально оппонентом

защищена диссертация



(Тема диссертации «Субмиллиметровая ЛОВ-спектроскопия полупроводников и сверхпроводников», специальность 01.04.10 – физика полупроводников).

Адрес места работы:

Московский государственный педагогический университет

119991, г.Москва, ул. Малая Пироговская, д. 1/1,

ФГБОУ ВПО МПГУ

Института физики, технологии и информационных систем

Тел.: 7 499 246 87 62; e-mail: mail@mpgu.edu