

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.136.01 (Д 002.100.02),
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ТВЕРДОГО
ТЕЛА ИМЕНИ Ю.А. ОСИПЬЯНА РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК, ПО
ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА
НАУК

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 20.10.2026 № 16

О присуждении Ионину Александру Сергеевичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Практическая реализация и экспериментальное исследование прототипов сверхпроводящих нейронов» по специальности 1.3.8 – «Физика конденсированного состояния» принята к защите 29.06.2026 (протокол заседания № 11) диссертационным советом 24.1.136.01 (Д 002.100.02), созданным на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт физики твердого тела имени Ю.А. Осипьяна Российской академии наук (ИФТТ РАН), 142432, г. Черноголовка, Московская область, ул. Академика Осипьяна, д. 2, приказ Минобрнауки от 17.10.2019 № 965/нк.

Соискатель Ионин Александр Сергеевич, 7 мая 1998 года рождения, в 2022 году окончил с отличием магистратуру Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)» (МФТИ), в 2026 году аспирантуру МФТИ. С 2022 года работает младшим научным сотрудником в ИФТТ РАН.

Диссертация выполнена в Лаборатории сверхпроводимости Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт физики твердого тела имени Ю.А. Осипьяна Российской академии наук (ИФТТ РАН).

Научный руководитель:

Больгинов Виталий Валерьевич – кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник лаборатории сверхпроводимости Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт физики твердого тела имени Ю.А. Осипяна Российской академии наук (ИФТТ РАН).

Официальные оппоненты:

Шукринов Юрий Маджнунович – доктор физико-математических наук, Международная межправительственная научно-исследовательская организация «Объединенный институт ядерных исследований», лаборатория теоретической физики им. Н.Н. Боголюбова, старший научный сотрудник.

Пашин Дмитрий Сергеевич – кандидат физико-математических наук, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского», лаборатория теории наноструктур, научный сотрудник.

На диссертацию поступили только положительные отзывы. Официальные оппоненты высказали ряд замечаний и пожеланий, в основном касающихся технических моментов оформления текста, а также уточняющих вопросов по природе описываемых исследований и возможностям разработанных устройств. При этом оппоненты подчеркивают, что замечания не носят принципиального характера и не снижают общей высокой оценки работы. Все оппоненты заключают, что диссертация Ионина Александра Сергеевича полностью соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, а ее автор заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8. – «физика конденсированного состояния».

Ведущая организация – Ордена Трудового Красного Знамени федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский технический университет связи и информатики» (МТУСИ), г. Москва, в своём положительном отзыве, подписанном Кленовым Николаем Викторовичем – доктором технических наук, доцентом, проректором по научной работе МТУСИ, и Ерохиным Сергеем Дмитриевичем – кандидатом технических наук, доцентом, ректором МТУСИ, **указала**, что «Диссертация А.С. Ионина представляет собой

законченное научно-квалификационное исследование, выполненное на высоком экспериментальном и теоретическом уровне», «Основные выводы и положения работы являются обоснованными и достоверными», «Результаты работы достаточно полно опубликованы в ведущих научных изданиях, рекомендованных ВАК, и представлены на российских и международных конференциях», «Диссертационная работа А.С. Ионина соответствует требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждении ученых степеней», предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а её автор, Ионин Александр Сергеевич, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8. – «Физика конденсированного состояния».

Соискатель имеет 9 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 4 работы, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 4 работы:

1. Экспериментальное исследование прототипа сверхпроводящего сигма нейрона для адиабатических нейронных сетей / А.С. Ионин, Н.С. Шуравин, Л.Н. Карелина, А.Н. Россоленко, М.С. Сидельников, С.В. Егоров, В.И. Чичков, М.В. Чичков, М.В. Жданова, А.Е. Щеголев, В.В. Больгинов // Журнал экспериментальной и теоретической физики. – 2023. – Т. 164. – С. 1008.

2. Экспериментальное исследование передаточной функции прототипа сверхпроводящего гаусс-нейрона / А.С. Ионин, Л.Н. Карелина, Н.С. Шуравин, М.С. Сидельников, Ф.А. Разоренов, С.В. Егоров, В.В. Больгинов // Письма в Журнал экспериментальной и теоретической физики. – 2023. – Т. 118, №10. – С. 761–768.

3. Обобщенная модель сверхпроводникового сигма-нейрона / Н.С. Шуравин, Л.Н. Карелина, А.С. Ионин, Ф.А. Разоренов, М.С. Сидельников, С.В. Егоров, В.В. Больгинов // Письма в Журнал экспериментальной и теоретической физики. – 2024. – Т. 120, №11. – С. 863–870.

4. Численное моделирование конструкции сверхпроводящего сигма-нейрона / А.С. Ионин, С.В. Егоров, М.С. Сидельников, Л.Н. Карелина, Н.С. Шуравин, М.М. Хапаев, В.В. Больгинов // Физика твердого тела. – 2024. – Т. 66, №7. – С. 1019–1025.

Диссертация не содержит недостоверных сведений об опубликованных соискателем научных работах.

На автореферат диссертации поступило два положительных отзыва: от кандидата физико-математических наук Кинева Николая Вадимовича (старший научный сотрудник Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН) и от доктора физико-математических наук Соловьева Игоря Игоревича (ведущий научный сотрудник отдела микроэлектроники лаборатории физики наноструктур НИИЯФ МГУ), в которых отмечается, что «Диссертация выполнена на современном уровне, содержит новые научные результаты, опубликована в рецензируемых журналах и прошла апробацию на международных конференциях», «Работа соответствует требованиям к диссертациям на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук, а А.С. Ионин заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8. «Физика конденсированного состояния». Был высказан ряд замечаний и пожеланий, связанных с полезностью дополнительного рассмотрения динамических свойств нейронных структур, а также топологических или схемотехнических мер, направленных на плотную интеграцию многокомпонентной нейроморфной схемы.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации. Официальные оппоненты являются крупными специалистами в области физики сверхпроводимости и имеют значительное число опубликованных работ в областях, общих по тематике с диссертацией. Официальный оппонент Шукринов Юрий Маджнунович – физик-теоретик, общепризнанный эксперт в области физики конденсированного состояния, сверхпроводящих систем и явлений в джозефсоновских контактах. Официальный оппонент Пашин Дмитрий Сергеевич – физик-теоретик, компетентный специалист в области физики вычислений на сверхпроводящих джозефсоновских системах, который внес заметный вклад в изучение процессов и архитектуры цифровой и нейроморфной сверхпроводящей электроники.

Ведущая организация – МТУСИ – является одним из крупнейших и наиболее авторитетных в России центров по фундаментальным и прикладным разработкам в области связи и информатики, в том числе в рамках изучения нейроморфной архитектуры на новых физических принципах.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований получен ряд принципиально новых результатов, связанных с разработкой, изготовлением и экспериментальным исследованием прототипов сверхпроводящих нейронов для нейроморфных вычислительных систем.

В частности, в рамках настоящей диссертационной работы на основе многослойной тонкоплёночной технологии были изготовлены сверхпроводящие структуры на базе туннельных джозефсоновских переходов Nb/AlOx/Nb, расположенных над сверхпроводящим экраном. Это позволило создать и экспериментально охарактеризовать прототипы сверхпроводящих нейронов двух типов: сигма-нейрон на основе одноконтakтного интерферометра и гаусс-нейрон на основе двухконтakтного интерферометра. Установлено, что разработанные устройства реализуют нелинейные передаточные функции (сигмоидальную и гауссоподобную), необходимые для построения адиабатических сверхпроводниковых нейронных сетей. Также определены параметры системы (критический ток джозефсоновских переходов, индуктивности элементов, начальный магнитный поток в измерительном контуре), влияющие на форму передаточной функции. Показано, что, варьируя температуру и начальный ток в измерительном СКВИДе, можно плавно управлять формой передаточной функции – вплоть до перехода из гистерезисного режима в безгистерезисный (для сигма-нейрона) и изменения дисперсии гауссова распределения (для гаусс-нейрона). Реализован метод измерения малых выходных магнитных потоков нейронов с помощью интегрированного двухконтakтного СКВИД-магнитометра. Изучено влияние паразитных взаимных индуктивностей между элементами нейронной ячейки на передаточные характеристики. Установлено влияние начального тока в линии обратной связи измерительного интерферометра на измеряемый сигнал. Кроме того, показано, что сверхпроводящий экран не обеспечивает полной магнитной развязки элементов, что приводит к появлению «паразитной» линейной составляющей в передаточной функции.

Теоретическая значимость исследования обоснована разработкой расширенной модели, описывающей стационарные состояния сверхпроводящих нейронов с учётом полной матрицы взаимных индуктивностей всех элементов схемы, включая управляющие и считывающие контуры. Для полного описания полученных результатов был применён матричный метод расчёта, позволяющий с высокой точностью аппроксимировать экспериментальные передаточные функции. Разработанная физическая модель хорошо описывает полученные результаты, включая эффекты, связанные с влиянием измерительного СКВИДа на состояние нейрона. Также показано, как недиагональные элементы матрицы индуктивностей и асимметрия критических токов джозефсоновских переходов влияют на форму передаточной функции. Предложенная

физическая модель согласуется с экспериментальными данными. В случае, когда начальный ток в измерительном интерферометре достигает определённых значений, обнаружено явление «переворота купола» гаусс-нейрона, что открывает новые возможности для управления его характеристиками.

Значение полученных соискателем результатов для практики подтверждается тем, что одной из ключевых задач современной криогенной электроники является разработка энергоэффективных нейроморфных вычислительных систем, способных работать при температурах 4 К и ниже. Возможные применения таких систем связаны с созданием интерфейсов для квантовых процессоров и сверхпроводниковых кубитных архитектур. Поэтому новые физические подходы, основанные на использовании эффекта Джозефсона и адиабатической логики, крайне востребованы. Разработанные многослойные структуры с интегрированными СКВИД-магнитометрами позволили создать сверхпроводящие нейроны, продемонстрировавшие работу в широком диапазоне температур. Дизайн устройств легко масштабируется для создания многонейронных сетей, что открывает перспективы их применения в системах обработки информации и реализации булевых функций. Кроме того, обнаружение эффектов, связанных с паразитными индуктивными связями, открывает перспективы для оптимизации топологии нейроморфных ячеек и минимизации их влияния на передаточные характеристики.

Достоверность полученных результатов обеспечивается корректностью постановки исследовательских задач; использованием экспериментальных методик, являющихся адекватными и эффективными для изучения рассматриваемых явлений; использованием сертифицированного экспериментального оборудования; сопоставлением результатов эксперимента с теоретическими предсказаниями в тех случаях, когда предсказания существуют, а также сопоставлением физического эксперимента с численным моделированием; апробацией результатов путём их публикации в ведущих международных рецензируемых журналах, докладов на российских и международных конференциях, обсуждения на семинарах в кругу специалистов.

Личный вклад соискателя состоит в непосредственном активном участии в постановке задачи, выборе методологических подходов, разработке конструкции экспериментальных образцов, внедрении метода измерения

передаточных функций, обработке и интерпретации полученных результатов, а также в подготовке и написании научных статей.

Диссертационный совет заключает, что диссертация Ионина А.С. является самостоятельной завершенной научно-квалификационной работой. Работа Ионина А.С. полностью отвечает всем требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук в соответствии с пунктом 9 Положения о присуждении ученых степеней Постановления Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 г.

На заседании 20 октября 2026 года диссертационный совет принял решение присудить Ионину А.С. ученую степень кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8. – «Физика конденсированного состояния» за вклад в решение научно-технических задач создания сверхпроводящих нейроморфных систем, имеющих важное значение для развития сверхпроводящей электроники.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 22 человек, из них 22 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 27 человек, входящих в состав совета, проголосовали: «за» – 20, «против» – 2, недействительных бюллетеней – 0.

Председатель
диссертационного совета
академик РАН



Кукушкин Игорь Владимирович

Ученый секретарь
диссертационного совета
д-р физ.-мат. наук

Гаврилов Сергей Сергеевич

21 октября 2026 г.