



УТВЕРЖДАЮ

Врио директора ИПФ РАН,
академик РАН Г.Г. Денисов

« 08 » июля 2026 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики им. А.В. Гапонова-Грехова Российской академии наук» (ИПФ РАН)

по диссертации Выбина Сергея Сергеевича «Электронно-циклотронный резонансный разряд в непрерывном режиме горения для получения интенсивных протонных пучков» на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по научной специальности: 1.3.9. Физика плазмы.

Работа выполнена в отделе физики плазмы (120) Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики им. А.В. Гапонова-Грехова Российской академии наук».

Научный руководитель – Скальга Вадим Александрович, заместитель директора по научной работе ИПФ РАН, доктор физико-математических наук, профессор РАН.

В 2022 г. соискатель учёной степени окончил магистратуру в Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования "Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского" по направлению подготовки 03.04.02. Физика.

Сроки обучения в аспирантуре Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики им. А.В. Гапонова-Грехова Российской академии наук»: с 1 сентября 2022 года по 31 августа 2026 года.

Свидетельство об окончании аспирантуры № 105200 00000041 от 08 июля 2026 года.

В период подготовки диссертации соискатель Выбин Сергей Сергеевич работал младшим научным сотрудником в отделе физики плазмы (120) Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики им. А.В. Гапонова-Грехова Российской академии наук».

Личное участие аспиранта в получении результатов, изложенных в диссертации

Все приведенные в диссертации результаты получены либо лично аспирантом, либо при его непосредственном участии. В частности, аспирантом выполнены все присутствующие в работе численные расчёты с использованием как самостоятельно написанных программ, так и с помощью программ с открытым исходным кодом. При участии аспиранта были проведены экспериментальные исследования параметров

водородной плазмы ЭЦР разряда и характеристики извлекаемых протонных пучков. Аспирантом лично была предложена новая система формирования ионного пучка, а также разработаны соответствующие системы экстракции.

Научная новизна и основные результаты диссертационного исследования

1. Использование для поддержания ЭЦР разряда в магнитной ловушке с объемом плазмы около 50 см^3 в непрерывном режиме работы микроволнового излучения гиротрона с частотой 28 ГГц и мощностью до 10 кВт позволило получить плазму с рекордным уровнем удельного энерговклада (порядка 100 Вт см^{-3}). Исследований ЭЦР источников ионов в непрерывном режиме горения разряда с таким уровнем энерговклада ранее не проводилось.

2. Предложена новая система формирования интенсивных ионных пучков из плазмы, характеризующаяся применением электродов специальной формы. Из-за вытянутой формы плазменного электрода, имеющего заострение на конце, создается неоднородное электрическое поле, которое приводит к уменьшению объемного заряда пучка и благоприятно влияет на возможности системы экстракции по формированию интенсивных ионных пучков.

Степень достоверности результатов проведенных исследований

Все представленные результаты диссертационного исследования являются достоверными и обоснованными. В работе применялись надежные и апробированные методы и подходы. Полученные численные и экспериментальные результаты хорошо согласуются между собой. Положения и основные результаты диссертационной работы опубликованы в рецензируемых российских и зарубежных научных журналах и подвергались оценке независимых международных экспертов. Результаты докладывались на всероссийских и международных симпозиумах, конференциях, школах и обсуждались на научных семинарах.

Практическая и теоретическая значимость результатов исследования

В диссертационной работе исследуется разряд, предназначенный для получения интенсивных протонных пучков высокого качества. Разработана новая система формирования интенсивных ионных пучков из плазмы, характеризующаяся использованием электродов, формирующих неоднородное электрическое поле, которая обеспечивает более эффективное формирование сильноточных ионных пучков при умеренном ускоряющем напряжении. С использованием новой системы экстракции удалось получить протонные пучки с током около 140 мА при энергии около 40 кэВ, что удовлетворяет требованиям современных проектов источников нейтронов. Результаты исследования являются актуальными для институтов, разрабатывающих и эксплуатирующих протонные ускорители. Конструкция ионного источника GISMO была оптимизирована для применения в качестве протонного инжектора для компактного источника нейтронов DARIA, разрабатываемого в России.

Список работ, опубликованных в журналах из Перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук

1. Polyakov A.V., Izotov I.V., Skalyga V.A. et al. Probe experiment on basic plasma parameter investigation in a quasi-gasdynamic ion source GISMO // *Physics of Plasmas*, 30 (4), 043519 (2023).
2. Vybin S. S., Izotov I. V., Golubev S. V. et al. Pure proton beams production using dense ECR plasma // *Physics of Plasmas*, 33 (3), 033508 (2026).
3. Скальга В.А., Изотов И.В., Выбин С.С. и др. Применение плотной плазмы электронно-циклотронного резонансного разряда для генерации положительных и отрицательных ионов водорода // *Письма в журнал технической физики*, 49 (24), 35 (2023).
4. Vybin S.S., Skalyga V.A., Izotov I.V. High current ion beam formation with strongly inhomogeneous electrostatic field // *Plasma Sources Science and Technology*. 29 (11), 11LT02 (2020).
5. Vybin S.S., Skalyga V.A., Izotov I.V. et al. Experiments on intense ion beam formation with an inhomogeneous electric field // *Plasma Sources Science and Technology*. 30 (11), 125008 (2021).
6. Skalyga V.A., Izotov I.V., Vybin S.S. et al. Design of the Proton Injector for Compact Neutron Source DARIA // *Journal of Surface Investigation: X-ray, Synchrotron and Neutron Techniques*, 16 (3), 427-433 (2022).
7. Выбин С.С., Изотов И.В., Миронов Е.А. и др. Оптимизация систем протонного инжектора компактного нейтронного источника DARIA // *Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования*, No7, стр. 4-19 (2023)
8. Vybin S. S., Izotov I. V., Skalyga V. A. et al. Ion Beam Emittance Measurements of Proton Injector for Compact Neutron Source DARIA // *Journal of Surface Investigation: X-ray, Synchrotron and Neutron Techniques*, 18, 1615-1622 (2024)
9. Vybin S. S., Bokhanov A. F., Izotov I. V. et al. Pulsed proton injector for compact neutron source DARIA // *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*, 1091, 171735 (2026)

Ценность научных работ диссертанта отражается высоким уровнем публикаций в рецензируемых международных журналах и призовыми местами на конкурсах молодых специалистов ИПФ РАН. Они неоднократно обсуждались на различных конференциях и семинарах, получили высокую оценку ведущих специалистов.

Результаты, представленные в диссертационной работе, в полной мере изложены в работах, опубликованных соискателем ученой степени. Формулировки результатов изложены в соответствии с личным вкладом автора в каждую из опубликованных статей. Ссылки на источники заимствования материалов оформлены корректно.

Научная специальность, которой соответствует диссертация: 1.3.9. Физика плазмы.

По итогам обсуждения принято следующее заключение:

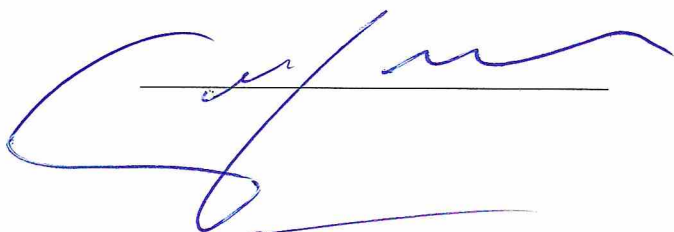
Диссертация соответствует критериям, установленным в соответствии с Федеральным законом Российской Федерации от 23 августа 1996 года № 127-ФЗ "О науке и государственной научно-технической политике".

Диссертация «Электронно-циклотронный резонансный разряд в непрерывном режиме горения для получения интенсивных протонных пучков» Выбина Сергея Сергеевича рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по научной специальности: 1.3.9. Физика плазмы.

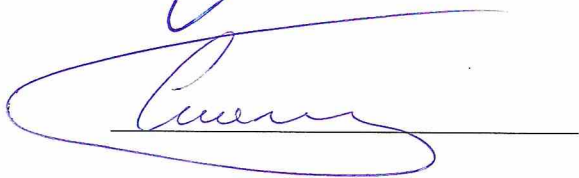
Настоящее заключение составлено на основании решения Ученого совета отделения физики плазмы и электроники больших мощностей ИПФ РАН по проведению итоговой аттестации по программам подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре по научной специальности: 1.3.9. Физика плазмы.

Присутствовало на заседании 17 чел.

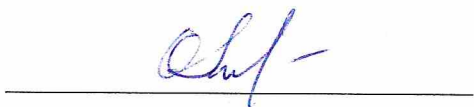
Результаты голосования: «за» — 17 чел., «против» — 0 чел., «воздержалось» — 0 чел.
протокол № 10 от « 30 » июня 2026 г.



Глявин Михаил Юрьевич,
доктор физико-математических наук,
член-корреспондент РАН, заместитель
директора ИПФ РАН, председательствующий
на заседании Ученого совета



Скалыга Вадим Александрович,
доктор физико-математических наук,
Председатель Ученого совета отделения физики
плазмы и электроники больших мощностей



Моченева Ольга Станиславовна,
кандидат физико-математических наук,
Учёный секретарь отделения физики плазмы и
электроники больших мощностей