

ОТЗЫВ

официального оппонента Павлова Юрия Сергеевича на диссертацию
Гаврилова Сергея Александровича

«Системы, приборы и методы диагностики пучков для линейных ускорителей ионов»,
представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по
специальности 1.3.2 – «Приборы и методы экспериментальной физики»

Работа Гаврилова Сергея Александровича выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте ядерных исследований Российской академии наук (ИЯИ РАН) и посвящена актуальной задаче разработки приборов и методов диагностики пучков ускоренных заряженных частиц, позволяющих обеспечить эффективную настройку и эксплуатацию сооружаемых и проектируемых линейных резонансных ускорителей ионов. В основе материалов диссертации лежат новые результаты научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, выполненных автором в рамках многочисленных договоров с отечественными и зарубежными ускорительными центрами на разработку, изготовление и поставку систем и отдельных устройств диагностики пучков для линейных ускорителей ионов, действующих или сооружаемых в этих организациях.

Диссертация состоит из введения, четырех глав и заключения. Каждая глава завершается промежуточными выводами, резюмирующими представленные результаты. Общий объем диссертации составляет 350 страниц, включая 283 рисунка и 16 таблиц.

В Введении излагаются актуальность и степень разработанности темы исследования; цель, научная новизна и практическая значимость работы; описывается личный вклад автора и перечисляются положения, выносимые на защиту; отражается степень достоверности, методология и методы проведенного исследования, а также указываются данные о связи с государственными научными программами, апробации работы и публикациях.

В Главе 1 сформулированы основные задачи и потребности в диагностике пучков в зависимости от типа, назначения и характеристик линейных ускорителей ионов, даны определения и типичные значения основных измеряемых параметров пучков, проведен анализ методов и средств диагностики и показан типичный выбор диагностических устройств, приведены описания их физических принципов работы и основных технических характеристик, особенности и примеры практической реализации, а также указаны опытно-аналитические обоснования их применимости для различных типов пучков, что в совокупности формирует согласованную физико-техническую концепцию построения систем базовой диагностики пучков для линейных ускорителей ионов. Представленная физико-техническая концепция была, в частности, использована для составления концепции системы

диагностики пучка сильноточного линейного ускорителя протонов в составе компактного источника нейtronов DARIA.

В Главе 2 описаны результаты работ в рамках нескольких договоров на поставку диагностических устройств и систем для линейных ускорителей ионов, как отечественных, так и зарубежных ускорительных центров, по которым были проведены разработка, изготовление и настройка оригинального оборудования базовой системы диагностики пучков для линейных ускорителей ионов на основе разработанной физико-технической концепции. Из всего многообразия существующего оборудования диагностики параметров пучка было предложено использовать устройства, практическая реализация которых возможна с учетом имеющегося или гарантированно достижимого уровня отечественных технологий.

В Главе 3 описаны процессы разработки, изготовления и настройки оригинальных систем диагностики ионных пучков для стендов облучения на примере установок Ускорительного центра нейтронных исследований структуры вещества и ядерной медицины ИЯИ РАН на базе сильноточного линейного ускорителя протонов и отрицательных ионов водорода. В частности, для стендов протонного облучения и комплекса протонной терапии, где пучки протонов выводятся на воздух, разработаны и реализованы системы диагностики интенсивности, положения и профиля пучка на основе мультианодных газовых счётчиков. Отличительной чертой разработанной системы диагностики является возможность работы с пучками частиц в разных зарядовых состояниях, включая смесь зарядовых состояний, а также атомарные пучки водорода. Результатом выполненных работ стало приборно-методическое обеспечение научных и прикладных исследований по облучению объектов пучками ионов во всём диапазоне энергий и интенсивностей пучков, подаваемых на установки.

В Главе 4 описаны некоторые оригинальные системы и методы диагностики пучков для линейных ускорителей ионов, связанные с опытом автора в проводке высокоинтенсивных пучков протонов в протяженных каналах транспортировки Ускорительного центра ИЯИ РАН.

В частности, предложен, разработан и реализован метод неразрушающей диагностики положения разгруппированных пучков протонов в протяженных каналах транспортировки на основе ёмкостных датчиков положения пучка.

Также для линейного ускорителя проекта DARIA была предложена, разработана и изготовлена система контроля разности измеряемых токов пучка при прохождении двух последовательно установленных индукционных датчиков тока, которая может быть использована для быстрой аварийной защиты сильноточного ускорителя.

В Заключении приводятся основные результаты исследования и выводы по итогам проведенных работ, а также выражаются благодарности тем, кто оказывал помощь и содействие в реализации целей и задач диссертации.

Диссертация, вследствие ее значительного объема, не лишена недостатков, которые можно выделить в виде следующих замечаний, вопросов и пожеланий:

1. С. 5, 9, 15. Вместо «мультифизичных моделей» нужно «мультифизических моделей».
2. С. 10, 54, 296. Вместо «мультифизичное моделирование» нужно «мультифизическое моделирование».
3. С. 153. Уровень фона гелия: $<1 \cdot 10^{-12}$ лторр/с. Размерность у течеискателей обычно измеряется в мбар л/с.
4. С. 156-157. Среднее значение сигнала от датчика ИДТ за определенный промежуток времени (скользящее среднее) определяется с использованием программы LabVIEW. Разность двух скользящих средних применима в машинном обучении, и, если приводить расчет разности двух скользящих средних (формулы 2.1.2 - 2.1.5), то следует давать и цифровые данные для оценки рассчитанных параметров исследуемых сигналов от датчиков. А в формуле (2.1.5) следует давать обозначение параметра k .
5. С. 167. Проведено трехмерное моделирование динамики вторичных электронов, но не указано с использованием каких программ.
6. С. 169. Для оценки эффективности подавления ВЭЭ было проведено трехмерное моделирование, но не указано с использование каких программ.
7. В диссертации приведены различные единицы измерения давления: торр, Торр, бар – в одной работе нужна унификация.
8. В диссертации огромное количество технических характеристик используемых материалов (параметры стальных, вольфрамовых деталей, марки стекол, типоразмеры фланцев) и это очень ценные, исчерпывающие и важные технические сведения. По сравнению с этим представленным массивом данных меньший акцент внимания направлен на новые программные продукты, методики расчетов, математические модели и теории.
9. Публикация по ссылке № 45 выполнена в 2011 г., а не в 2017.
10. Публикация по ссылке № 48 – работу "Arima H. Beam instrumentation and diagnostics" найти не удалось.
11. В ссылках №№ 47, 49, 51, 52, 53 не указан год публикации и нет локации по документу.

Следует отметить, что указанные выше недостатки не имеют принципиального характера и не влияют на общую высокую оценку работы, выполненной автором. Научная новизна, степень обоснованности научных положений и практическая значимость результатов диссертации не вызывают сомнений.

Заключение

Диссертация С. А. Гаврилова является законченной оригинальной научной работой, которая соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой

степени доктора физико-математических наук. В целом представленная работа является блестящим вкладом в ускорительную физику и идеальным воплощением того как можно доходчиво представить и оформить научные сведения.

Результаты диссертации являются оригинальными и опубликованы с достаточной полнотой в 16 статьях в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК, а также в многочисленных трудах международных конференций. Методология исследований и достоверность научных выводов не вызывают сомнений, имеют практическое подтверждение и нашли признание в профессиональном международном сообществе. Подготовка публикаций проводилась совместно с соавторами. Содержание диссертации и положения, вынесенные на защиту, определяют персональный вклад автора в опубликованные работы. Автореферат правильно и в полной мере отражает содержание диссертации.

Диссертация С. А. Гаврилова полностью удовлетворяет всем требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 года № 842, предъявляемым к докторским диссертациям, а ее автор, Гаврилов Сергей Александрович, безусловно заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.2 – «Приборы и методы экспериментальной физики».

Официальный оппонент:

Павлов Юрий Сергеевич, доктор технических наук по специальности 1.3.18 – «Физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника»,

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физической химии и электрохимии им. А. Н. Фрумкина Российской академии наук, лаборатория радиационных технологий, заведующий лабораторией,

адрес: 119071, Москва, Ленинский проспект, д. 31, корп. 4,
электронная почта: rad05@bk.ru, телефон: 8 (499) 743-01-22

Ю. С. Павлов

«29» января 2026 г.

Подпись Ю. С. Павлова удостоверяю,
Секретарь ученого совета ИФХЭ РАН

_____ (И. Г. Варшавская)

Список основных публикаций оппонента по теме рецензируемой диссертации в рецензируемых научных изданиях за последние 5 лет:

1. Pavlov Yu.S., Bystrov P.A. Development of a radiation installation digital twin for simulation of radiation experiments on accelerators // Radiation Physics and Chemistry, 2025. – v. 237, – p. 113024.
2. Павлов Ю.С., Быстров П.А. Устройство для измерения параметров электронного пучка // Изобретения. Полезные модели. Официальный бюллетень Федеральной службы по интеллектуальной собственности (РОСПАТЕНТ), т. 8, 2025.
3. Polyakov A.Y., ..., Pavlov Yu.S. et al. Point defect effects in AlGaN 270-nm light emitting diodes introduced by MeV electron and proton irradiation // APL Materials, 2024. – v. 12 (№12), – p. 121121.
4. Павлов Ю.С., Быстров П.А. Электронно-лучевой реактор для очистки сточных вод // Изобретения. Полезные модели. Официальный бюллетень Федеральной службы по интеллектуальной собственности (РОСПАТЕНТ), т. 32, 2024.
5. Polyakov A.Y., ..., Pavlov Yu.S. et al. Proton irradiation of Ga₂O₃ Schottky diodes and NiO/Ga₂O₃ heterojunctions // Scientific reports, 2024. – v. 14 (№ 1), – p. 27936.
6. Polyakov A.Y., ..., Pavlov Yu.S. et al. Carrier removal rates in 1.1 MeV proton irradiated α -Ga₂O₃ (Sn) // Journal of Physics D – Applied Physics, 2023. – v. 56 (№ 30), – p. 305103.
7. Pavlov Yu.S. et al. Trends and opportunities for the development of electron-beam energy-intensive technologies // Radiation Physics and Chemistry, 2022. – v. 198, – p. 110199.
8. Pavlov Yu.S., Bystrov P.A. Software and hardware complex for radiation processing facility control // Radiation Physics and Chemistry, 2022. – v. 196, – p. 110110.
9. Kasimova V.M., ..., Pavlov Yu S. Effect of Electron Irradiation on the Optical Properties of Gadolinium-Aluminum-Gallium Garnet Crystals // Journal of Surface Investigation: X-ray, Synchrotron and Neutron Techniques, 2021. – v. 15 (№ 6), – p. 1259.
10. Polyakov A.Y., ..., Pavlov Yu.S. et. al. 1 GeV proton damage in β -Ga₂O₃ // Journal of Applied Physics, 2021. – v. 130 (№ 18) – p. 185701.