

ОТЗЫВ НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ

на диссертационную работу Николенко Андрея Сергеевича
«Исследование динамики импульсных плазменных струй на крупномасштабной
экспериментальной установке», представленную на соискание ученой степени кандидата
физико-математических наук по специальности
по специальности 1.3.9. Физика плазмы

Диссертация Николенко А.С. посвящена разработке актуального направления, развиваемого на стыке лабораторной плазмодинамики, плазменной геофизики и астрофизики. Попытки лабораторного моделирования свойств плазменных струй, подобных астро- и геофизическим плазменным потокам, предпринимаются уже на протяжении более 50 лет. Эксперименты, выполняемые в данной области, в сочетании с исследованиями в области УТС и развитием различных плазменных устройств (двигателей, сильноточных коммутаторов и пр.), дали богатый материал для развития и верификации моделей динамики плазмы во внешнем магнитном поле, в т.ч. при наличии фоновой ионизации. Активные плазменно-инжекционные эксперименты, проводимые в ионосфере, с одной стороны, дают бесценную «натурную» информацию, с другой – продолжают ставить новые проблемы, которые могут быть решены методами лабораторного моделирования. До сих пор остаются открытыми вопросы о механизмах торможения и предельных размерах плазменного облака, расширяющегося в замагниченной ионизированной фоновой среде, о времени жизни магнитных возмущений и корпускулярных остатков облака в условиях развития различных неустойчивостей. Привлекают внимание исследователей механизмы «прорыва» плазменных струй поперек внешнего магнитного поля, что важно не только для понимания режима проникновения плазмы во внутренние области магнитосфер планет и молодых звездных объектов (аккреция), но и для решения практических задач, связанных с наполнением плазмой различных магнитных систем. Именно решению таких задач посвящена диссертация Николенко А.С.

Николенко А.С. начал работу под моим руководством в 2018 году, будучи студентом магистратуры ВШОПФ ННГУ, затем поступил в аспирантуру ИПФ РАН и успешно ее закончил в 2024 году. Он участвовал в первых экспериментах, проводившихся на стенде «Крот» с коаксиальными ускорителями, и за эти годы прошел большой путь – от поиска оптимальных технических решений импульсных источников плазмы и изготовления диагностик до применения лабораторных результатов к объяснению космических эффектов. Новизна исследований, выполняемых Николенко А.С., заключается как в постановке эксперимента – расширение плазменных струй в камеру с магнитным полем и фоновой плазмой на масштабах более 1 метра по всем измерениям, т.е. в приближении «безграничного» разлета, так и в результатах, которые эта постановка позволила получить:

- созданы и оптимизированы источники плазмы на основе коаксиальных генераторов с эрозионным разрядом на полиэтилене, позволяющие получать струи плазмы со скоростями от первых десятков км/с до почти 100 км/с, которые можно использовать для ограниченного моделирования астро- и геофизических плазменных явлений;

- показано, что практически весь комплекс явлений, типичных для активных космических и лабораторных лазерных экспериментов, включая формирование глубоких диамагнитных каверн с полным вытеснением магнитного поля, развитие электромагнитных и желобковых неустойчивостей, может быть реализован при весьма скромной энергии плазменной струи уровня 0,1 Дж и, что важно, при невысокой скорости плазмы уровня 20 км/с;

- установлено, что режим восстановления магнитного поля в плазме определяется спитцеровской проводимостью и кулоновскими столкновениями, а не аномальной частотой столкновений за счет развития мелкомасштабных неустойчивостей как во многих активных космических и лазерных лабораторных экспериментах;

- детально исследована неустойчивость Рэлея-Тейлора в режиме незамагниченных ионов на границе плазменной струи при необычных (высоких) значениях параметра замагниченности – отношения направленного гирорадиуса ионов к классическому радиусу торможения, что, в перспективе, позволяет проверить и скорректировать имеющиеся скейлинги для нелинейной стадии развития неустойчивости;

- при поперечной инжекции плазмы с помощью коаксиального генератора в камере стенда «Крот» удалось реализовать и детально исследовать коллимированное струйное течение – «плазменный лист» – рекордно большого размера, более 1 м поперек квазиоднородного магнитного поля, который можно рассматривать как лабораторную модель струй плазмы, прорывающейся в магнитосферы планет и молодых звездных объектов.

Теоретическая значимость полученных Николенко А.С. результатов заключается, на мой взгляд, в том, что реализованные на стенде «Крот» плазменные объекты, эволюционирующие в режиме «безграничного» разлета, могут использоваться для верификации современных теоретических моделей динамики струй плазмы со сложным ионным составом. В этой части я бы отметил, в первую очередь, выводы относительно режима прорыва плазменного потока поперек магнитного поля, который, с одной стороны, не сопровождается существенными магнитными возмущениями, с другой – не сопровождается торможением потока. Эти результаты могут быть использованы при разработке моделей аккреции ионизированного вещества на молодых звездах, проникновения плазмы Солнечного ветра во внутреннюю магнитосферу Земли и т.д.

На практике, освоенная в ходе подготовки диссертации технология генерации плазменных потоков и их диагностики может быть использована при создании новых экспериментальных установок (например, в рамках Национального центра физики и математики в г. Саров), в технике УТС, при разработке движителей, прерывателей тока и иных плазменных устройств. Полученные результаты и наблюдаемые физические эффекты, потенциально, могут найти применение при разработке космических систем прикладного назначения.

Достоверность полученных Николенко А.С. результатов подтверждается использованием различных дублирующих и дополняющих друг друга диагностических методик, сопоставлением результатов с данными других научных групп, аналитическими оценками, а также их публикацией в ведущих научных журналах («Письма в ЖЭТФ», «Письма в ЖТФ», «Физика плазмы», «Астрономический журнал»), апробацией на конференциях и семинарах. Отмечу, что ряд диагностических методик, использованных Николенко А.С. при подготовке диссертации, прошел совместную калибровку на двух установках России – стенде «Крот» и лазерно-плазменной установке КИ-1 (г. Новосибирск) в экспериментах с участием сотрудников ИЛФ СО РАН.

Сильной стороной проводимых Николенко А.С. исследований является комплексный подход к диагностике, подразумевающий получение всесторонней информации об исследуемых процессах с помощью различных зондов, методами радиопросвечивания и синхронной скоростной фотосъемки. На будущее я бы пожелал диссертанту развивать навыки «научного письма», поскольку то, что Николенко А.С. умеет доходчиво изложить в

устном выступлении, не всегда легко ложится на бумагу. И, естественно, для того, чтобы в дальнейшем успешно работать в области моделирования нелинейных МГД явлений, нагруженной серьезным математическим аппаратом, Николенко А.С. – как еще достаточно молодому человеку – нужно неуклонно повышать уровень теоретической подготовки.

Николенко А.С. – инициативный, самостоятельный и коммуникабельный человек, любящий экспериментальную деятельность, способный организовать работу в небольшой команде, умеющий работать с литературой. Как научному руководителю, мне всегда интересно изучать материалы, добытые Николенко А.С. в ходе его библиографических изысканий. Николенко А.С. имеет опыт публичных выступлений, в которых склонен объяснять цели исследований и получаемые результаты простым языком с хорошими наглядными материалами. Николенко А.С. владеет информацией по направлению, в состоянии самостоятельно планировать и проводить эксперименты на стенде «Крот», то есть является сложившимся исследователем-экспериментатором.

Считаю, что диссертационная работа Николенко Андрея Сергеевича «Исследование динамики импульсных плазменных струй на крупномасштабной экспериментальной установке» соответствует требованиям ВАК, а автор достоин присвоения степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.9. Физика плазмы.

Научный руководитель

Заведующий лабораторией моделирования геофизических плазменных явлений,
кандидат физико-математических наук

Гущин Михаил Евгеньевич

«24» сентября 2025 г.



Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики им. А.В. Гапонова-Грехова Российской академии наук» (ИПФ РАН)

603950, г. Нижний Новгород, ул. Ульянова, 46

Телефон +7 (831) 436-80-71.

Адрес электронной почты mguschin@ipfran.ru

Подпись М.Е. Гущина удостоверяю.

Ученый секретарь ИПФ РАН

кандидат физико-математических наук



И. В. Корюкин