

### Отзыв

на автореферат диссертации Воробьева Максима Сергеевича на тему  
**"РАЗВИТИЕ ИСТОЧНИКОВ ЭЛЕКТРОНОВ С СЕТОЧНЫМИ  
ПЛАЗМЕННЫМИ ЭМИТТЕРАМИ НА ОСНОВЕ ДУГОВОГО  
РАЗРЯДА НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ С ПОЛЫМ АНОДОМ"**,  
представленной на соискание ученой степени доктора технических наук по  
специальности **1.3.5 – физическая электроника**

Источники ускоренных электронов изучаются различными научными коллективами в течение многих десятилетий. Однако подобные исследования не потеряли своей актуальности до настоящего времени. Это связано, с одной стороны, с богатством физических процессов, протекающих в таких источниках, а с другой – их чрезвычайно широким диапазоном применения. В частности, источники ускоренных электронов могут использоваться, например, для обработки различных органических материалов (полимеры, пищевые или медицинские продукты и др.), а также металлических и диэлектрических (например, керамических) изделий с целью изменения функциональных и эксплуатационных свойств их поверхности. С учетом вышеизложенного, не вызывает сомнений актуальность данной работы, направленной на глубокое изучение физики процессов в таких системах, разработку и создание на этой основе нового оборудования с уникальными параметрами, пригодного для решения различных задач, как научного плана, так и возникающих в различных областях народного хозяйства.

Среди полученных автором результатов можно выделить следующие наиболее значимые:

- Разработанное новое поколение источников электронов, обеспечивающих генерацию субмиллисекундных высокоэнергичных электронных пучков различных конфигураций с энергией в импульсе до 5 кДж и средней мощностью до 5 кВт, а также отличающиеся возможностью контролируемого изменения параметров пучка в течение импульса тока, которые по совокупности основных параметров не имеют мировых аналогов.
- Предложенные в работе способы генерации электронных пучков позволили достичь кратного увеличения энергии пучка в экспериментах, выполняемых по программе получения управляемого термоядерного синтеза на основе открытых магнитных ловушек. При этом удалось обеспечить поддержание температуры горячей плазмы, созданной релятивистским электронным пучком микросекундной длительности, при инжекции электронного пучка в магнитную пробку установки «ГОЛ-3» (ИЯФ СО РАН), повысив его энергию почти в два раза.

Практическое значение работы определяется, в частности, тем обстоятельством, что разработанные технологии могут быть использованы для решения широкого круга задач науки и практики, в частности, при нанесении функциональных и упрочняющих покрытий.

Автором проделан большой объем экспериментальных исследований, в т.ч. с использованием оригинальных методик, получен ряд интересных физических результатов, касающихся особенностей поведения дуговых разрядов низкого давления и эмиттеров мощных электронных пучков на основе таких разрядов

В целом, работа представляет собой существенный вклад в развитие физических основ процессов, протекающих в дуговых разрядах низкого давления с полым анодом, методов управления параметрами мощных электронных пучков, экстрагированных из таких разрядов, методов высокоэнергичного воздействия и модификации поверхности различных материалов. Важным достоинством диссертации то обстоятельство, что часть исследований выполнена совместно с коллегами-теоретиками, в результате чего экспериментальные результаты поддержаны модельными расчетами, которые позволили, например, восстановить энергетический спектр электронного пучка, выведенного в атмосферу. Следует отметить также широту научных интересов автора и широкий спектр возможных приложений полученных физических результатов, начиная от обработки семян яровой пшеницы импульсным электронным пучком с целью повышения урожайности до повышения параметров установок в рамках программы УТС,

Отмечу также активную публикационную деятельность автора: менее чем за 8 лет им опубликовано свыше 20 статей в ведущих отечественных и зарубежных изданиях, в т.ч. - журналах, входящих в первый и второй квартили базы данных научного цитирования Web of Science (Vacuum, Laser and Particle Beams и др.).

В качестве замечания хочу отметить следующее. Диссертационная работа наряду с серьезными научными достижениями имеет также большой прикладной потенциал. К сожалению, в автореферате лишь весьма бегло перечислены основные результаты прикладных работ с использованием разработанных автором подходов. На мой взгляд, автору следовало более подробно остановиться на этом аспекте диссертации, с указанием цифр, характеризующих достигаемый положительный эффект; указанием организаций, где используется разработанное автором оборудование; сопоставлением полученных результатов с мировым уровнем достижений в соответствующей области. Думаю, что это бы существенно украсило работу.

Высказанное замечание носит рекомендательный характер, и не дает оснований сомневаться в высоком научном уровне диссертационной работы, автором получен ряд первоклассных физических результатов, важных для широкого класса технологических приложений.

На основании изложенного считаю, что диссертация соответствует требованиям ВАК, а ее автор заслуживает присвоения ученой степени доктора технических наук по специальности **1.3.5 – физическая электроника**

Заведующий кафедрой общей и космической физики ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет», доктор физико-математических наук, профессор Паперный Виктор Львович.

664003, г. Иркутск, ул. Карла Маркса, д. 1

Телефон: 8- (3952)-521-254; e-mail: paperny@math.isu.runnet.ru

24.10.2022 года, г.Иркутск

 Паперный В.Л.

