

ОТЗЫВ

официального оппонента

на диссертацию Белозерова Олега Сергеевича «Особенности ускорения ионов до мегаэлектронвольтных энергий на сильноточных генераторах релятивистского электронного пучка», представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.08 – «Физика плазмы».

Диссертационная работа Белозерова Олег Сергеевича «Особенности ускорения ионов до мегаэлектронвольтных энергий на сильноточных генераторах релятивистского электронного пучка» посвящена получению экспериментальных данных по эффективности ускорения ионов до мегаэлектронвольтных энергий при воздействии сильноточного релятивистского электронного пучка на анодные нагрузки, в частности, в постановке, где в качестве анода используется тонкая фольга.

Актуальность данной темы исследования состоит в том, что ускорение ионов в вакуумных высоковольтных диодах сильноточных генераторах релятивистского электронного пучка и при данном методе ускорения тяжелых многозарядных ионов достигается энергия в несколько МэВ, что многократно превосходит приложенное напряжение импульсного генератора, умноженное на ионный заряд. А благодаря технической простоте и относительной экономичности этот метод ускорения ионов является перспективным для разнообразных технологических применений.

Диссертация Белозерова О.С. состоит из введения, 4 глав, заключения и списка литературы, включающего в себя 114 наименований.

Основное внимание в работе Белозерова О.С. уделено экспериментальным результатам измерений параметров ионных потоков, ускоренных на выходе диода с плазменным анодом на установках «Кальмар» и «Катран». В работе автор использовал логичное сочетание взаимодополняющих диагностических методов, позволяющих измерить целый ряд параметров ионного пучка, плазмы анодной фольги и релятивистского электронного пучка с высоким временным и пространственным разрешением.

К наиболее значимым результатам диссертационной работы Белозерова О.С., имеющим научную новизну, можно отнести следующие:

- Разработана оригинальная методика регистрации одномерного рентгеновского изображения с помощью щелевой развёртки на электронно-оптической камере с временным разрешением ~ 3 нс. Она в сочетании с времяпролётным масс-спектрометрированием и электротехническими измерениями позволяет определить эффективность ускорения ионных ступок в вакууме в зависимости от плотности тока релятивистского электронного пучка на тонком фольговом аноде.

- Разработаны диагностические системы, позволяющие устанавливать: энергию отдельных групп ионов по измерению скорости их движения на известной базе; полную энергию ионного пучка и её угловое распределение по нагреву тонкой мишени попадающим на неё сгустком ионов; температуру анодной плазмы и заряд ускоренных ионов по интенсивности вакуумного ультрафиолетового излучения; усреднённую по времени площадь анодной фольги, на которую воздействует электронный пучок.

- Получены экспериментальные результаты на генераторе «Кальмар»: максимальная энергия ионов алюминия – 6.1 МэВ, протонов – 800 кэВ; энергия отдельных ионов, идущих в осевом направлении, больше примерно на 15%, чем энергия ионов в направлении $\sim 20^\circ$ от оси; угловая расходимость ионного пучка составляет 1-2°; значение энергии, переносимое сгустком ионов - 0.35 Дж. Затем на генераторе «Катран», который имеет втрое больший уровень токов, были получены ионы алюминия с энергией, доходящей до 28 МэВ и протоны с энергией до 4 МэВ. При этом было отмечено, что создаются условия для ускорения ионов всех сортов атомов, составляющих анодную нагрузку.

- Установлено, что ускорения ионов происходит в двух местах: внутри высоковольтного диода генератора и снаружи за тонкой анодной фольгой. Первый механизм связан с глубокими и многократно повторяющимися осцилляциями тока в течение одного пуска генератора, а второй – с движением виртуального катода в процессе ускорения.

Теоретическая значимость полученных результатов заключается в том, что на данный момент не существует однозначной теоретической модели физического явления по коллективному ускорению ионов релятивистским электронным пучком, инжектируемым в вакуумную камеру. Поэтому уточнение актуальных механизмов ускорения на основе дополнительных экспериментальных данных имеет большое значение для конкретной постановки эксперимента.

Основное содержание диссертационного исследования представлено в 10 публикациях, в том числе – в четырех опубликованных статьях в рецензируемых научных журналах, индексируемых в Web of Science, Scopus и рекомендованных в действующем перечне ВАК Минобрнауки России, и в шести сборниках материалов и тезисов конференций. Все материалы диссертации отражены в опубликованных работах.

Автореферат соискателя в полной степени отражает положения, выводы и рекомендации, содержащиеся в диссертации.

В качестве замечания следует отметить одномерность пространственного разрешения линейной развёртки рентгеновского изображения. Подобная диагностика позволяет определить размер фокусного пятна РЭП только в одном направлении, что снижает точность оценки плотности электронного тока.

Указанное замечание не снижает научную и практическую значимость представленной диссертационной работы.

Диссертационное исследование Белозерова Олега Сергеевича на тему «Особенности ускорения ионов до мегаэлектронвольтных энергий на сильноточных генераторах релятивистского электронного пучка» выполнено на высоком уровне, соответствует требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.08 «Физика плазмы».

Официальный оппонент

Главный научный сотрудник ИСЭ СО РАН

Отдел высоких плотностей энергии

д.ф.-м.н.

02.08.2021

 Орешкин Владимир Иванович

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт сильноточной электроники Сибирского отделения Российской академии наук

Адрес: 634055, г. Томск, пр. Академический, д. 2/3.

Тел.: +7(3822)491-544

e-mail: contact@hcei.tsc.ru

Подпись Орешкина В.И. удостоверяю

Ученый секретарь ИСЭ СО РАН

к.т.н.





Крыгина О.В.