

## МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ УДАРНЫХ ВОЛН В ПОЛИМЕРНЫХ МИШЕНЯХ, С УЧЁТОМ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ КАТОДНОЙ И АНОДНОЙ ПЛАЗМ В ДИОДНОМ ЗАЗОРЕ СИЛЬНОТОЧНОГО ЭЛЕКТРОННОГО УСКОРИТЕЛЯ «КАЛЬМАР»<sup>\*)</sup>

<sup>1,2,3</sup>Смирнова А.Р., <sup>3</sup>Бойков Д.С., <sup>1,2</sup>Казаков Е.Д., <sup>3</sup>Ольховская О.Г., <sup>1,2,3</sup>Ткаченко С.И.

<sup>1</sup>Московский физико-технический институт (Национальный исследовательский институт), Долгопрудный, Россия, [anya4113@gmail.com](mailto:anya4113@gmail.com)

<sup>2</sup>Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», Москва, Россия

<sup>3</sup>Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН, Москва, Россия

Для исследования прочностных характеристик различных материалов проводятся эксперименты по взаимодействию высокоэнергетичных пучков электронов с мишенями из этих материалов [1]. В результате эксперимента можно оценить степень разрушения поверхности, наличие отколов на тыльной стороне, измерить давление, оказываемое на мишень. Моделирование подобных экспериментов зачастую не учитывает некоторые особенности установок и дополнительных внешних факторов. В данной работе было проведено моделирование взаимодействия пучка электронов с мишенью, последующего появления анодной и катодной плазм, взаимодействия этих плазм в диодном зазоре и влияния данного взаимодействия на распространение ударных волн внутри мишени.

Эксперименты проводились на сильноточном ускорителе электронов «Кальмар» (ток до 40 кА, напряжение до 350 кВ, длительность импульса порядка 100 нс, энергия электронов в пучке порядка 0,35 МэВ). С помощью измерений полного падения напряжения рассчитывался ток пучка электронов, который в дальнейшем использовался при моделировании. Были получены хронограммы распространения ударных волн внутри мишени.

Моделирование воздействия РЭП на исследуемый образец проводилось с помощью разработанного в ИПМ им. М.В.Келдыша РАН кода MARPLE [2], дополненного моделью катода [3]. Вычисления производились в приближении однотемпературной 3-х мерной гидродинамической модели с учетом теплопроводности и объемных потерь энергии на тормозное излучение. Расчеты выполнены с использованием широкодиапазонных уравнений состояния вещества.

Получены и проанализированы результаты математического моделирования процессов, происходящих в диодном промежутке генератора сильноточных пучков релятивистских электронов «Кальмар». Исследовано влияние взаимодействия потоков плазмы с анода и катода на характер и скорость распространения ударных волн внутри полимерной мишени. Результаты моделирования совпадают с экспериментальными данными.

Экспериментальное исследование выполнено в рамках выполнения государственного задания НИЦ «Курчатовский институт».

Математическое моделирование выполнено при поддержке Российского научного фонда (проект № 23-21-00248).

### Литература

- [1]. Садовничий Д.Н., Милёхин Ю.М. и др. Физика горения и взрыва. 2022. Т. 58. № 2. С. 88-99.
- [2]. Пакет прикладных программ высокопроизводительных магнитоускоренной плазмы / В. А. Гасилов и др. // Препринты ИПМ им. М.В.Келдыша. 2011 № 20 36 с.
- [3]. Смирнова А.Р., Бойков Д.С. и др. Сборник тезисов I Международной (Звенигородской) конференции по физике плазмы и УТС, 20–24 марта 2023, ICRAF-2023. С. 211.

<sup>\*)</sup> DOI – тезисы на английском