Моделирование спектра быстрых ионов Z-пинча при исчезающем эффекте столкновений [[1]](#footnote-1)\*)

Чирков А.Ю., Морхова Е.А., Фролов А.Ю.

МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва, Россия, [chirkov@bmstu.ru](mailto:chirkov@bmstu.ru)

При сжатии Z-пинча образуется перетяжка, в которой происходит ускорение ионов до энергий уровня нескольких сотен кэВ (иногда свыше 1 МэВ). Два возможных механизма, «тепловой» и «ускорительный», как правило, рассматриваются раздельно. Но попытки искусственного разделения ионов на «тепловые» и «быстрые» («ускоренные») сталкиваются с трудностями обоснования. Видимо, указанные механизмы генерации высокоэнергетичных ионов дополняют друг друга, в результате формируя наблюдаемый энергетический спектр ионов, покидающих перетяжку. Объединить моделирование ионов всех энергий можно на основе кинетического уравнения Фоккера–Планка с учетом ускорения ионов за счет сжимающего магнитного поля [1, 2]. Его численное решение может удовлетворительно объяснить наблюдаемый спектр ионов и выход нейтронов [3]. Однако существует проблема устойчивости численной схемы, возникающая на самой конечной стадии, соответствующей сильному сжатию. Физически это связано с тем, что механизм ускорения приводит к темпу ускорения на конечной стадии сжатия, значительно превышающему кулоновское торможение. Иными словами, наступает момент, начиная с которого влияние столкновений на кинетику частиц определенных энергий становится исчезающее малым. Причем для ионов различных энергий это происходит в различные моменты времени. Такие особенности кинетики требуют единого подхода к описанию ионов всех энергий, но с учетом особенностей, присущим разным энергетическим диапазонам.

В настоящей работе распределение ионов по энергиям в перетяжке и спектр ионов на выходе моделируются в многогрупповом приближении, согласно которому весь энергетический диапазон подразделяется на своего рода пучки в фазовом пространстве скоростей. Далее рассматривается динамика каждого пучка с учетом потерь частиц, их ускорения нестационарным сжимающим магнитным полем и торможения. Потери частиц, в конечном итоге, складываются в спектр выходящих ионов.

Анализ показал, что корректное объяснение спектра ускоренных ионов требует совместного использования кинетического описания, макроскопической динамики плазмы и электромагнитных полей, но даже в этом случае ряд параметров модели требует уточнения, информация для которого быть получена на основе моделирования траекторий отдельных частиц в нестационарном электромагнитном поле Z-пинча.

Литература

1. Чирков А.Ю., Морхова Е.А., Фролов А.Ю. Моделирование кинетики быстрых ионов в сжимающемся Z-пинче на основе уравнения Фоккера–Планка с учетом электромагнитного ускорения // Физика плазмы. 2022. Т. 48, № 10. С. 962–966.
2. Фролов А.Ю., Дружинина О.В., Чирков А.Ю. Моделирование изменения энергетического распределения частиц при адиабатическом сжатии плазмы // Электромагнитные волны и электронные системы. 2021. Т. 26, № 5. С. 5–14.
3. Vikhrev V.V., Frolov A.Yu., Chirkov A.Yu. Neutron yield from Z-pinches at generation of the power-degree spectrum of fast deuterons // J. Phys.: Conf. Series. 2019. V. 1370. 012026.

1. \*) [DOI – тезисы на английском](http://www.fpl.gpi.ru/Zvenigorod/L/It/en/DH-Chircov_e.docx) [↑](#footnote-ref-1)