Механизм формирования энергетического спектра ионов в Z-пинчах на основе МГД-неустойчивости [[1]](#footnote-1)\*)

1Фролов А.Ю., 2Вихрев В.В.

1МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва, Россия, [alexeyfrolov92@yandex.ru](mailto:alexeyfrolov92@yandex.ru)  
2НИЦ «Курчатовский Институт», г. Москва, Россия, [vikhrev@mail.ru](mailto:vikhrev@mail.ru)

Генерируемые Z-пинчами ионные струи характеризуются энергетическим спектром, существенно отличающимся от Максвелловского. Имеющиеся экспериментальные данные свидетельствуют, что в плазме, вытекающей из перетяжки Z-пинча, спектр ионов dN/dEd имеет обратную степенную зависимость с показателем степени 2 ÷ 4 [1]. Причём,   
с увеличением энергии этот показатель уменьшается.

Нейтроны, генерируемые в дейтериевых и дейтерий-тритиевых Z-пинчах, также имеют свои особенности. Энергетическая анизотропия, определяемая разностью энергий порядка долей МэВ, не может являться следствием гидродинамических процессов в плазме Z-пинча. Ширина энергетических спектров нейтронов для DT плазмы составляет сотни кэВ [2], что значительно больше ширины, соответствующей Максвелловскому распределению ионов в плазме - десятки кэВ [3]. Таким образом, экспериментальные данные свидетельствуют о наличии в Z-пинчах механизма увеличения энергии ионов.

Считается, что основным свойством, определяющим особенности Z-пинча, является наличие у него МГД-неустойчивости. Вследствие сильно развивающегося сжатия, в Z-пинче происходит уменьшение характерных времён гидродинамических процессов до времени, определяющего процесс термализации плазмы. Исходя из чего, в Z-пинче разделяют гидродинамическую и негидродинамическую стадию развития. Показано, что в негидродинамической стадии создаются условия для неравномерного ускорения ионов в зависимости от их энергии [4]. Моделирование упруго взаимодействующих частиц в быстро сжимающейся цилиндрической стенке также показало, что имеются предпосылки для формирования распределения, существенно отличающегося от Максвелловского в области высоких энергий [5]. В работе [6] описан гиро-релаксационный эффект, из которого следует, что в плазме можно создать условия, при которых будет происходить увеличение энергии преимущественно ионной компоненты, минуя электроны.

Данная работа посвящена исследованию механизмов ускорения ионов в Z-пинчах. Исследование проводилось на основе численного решения уравнения Фоккера - Планка для дейтериевой плазмы, сжимающейся магнитным полем. Условия задачи приближены к экспериментам. Из результатов следует, что увеличение длины пробега высокоэнергетических ионов в плазме приводит к тому, что они начинают взаимодействовать, преимущественно, с магнитным полем Z-пинча. Посредством этого, отдельно взятый ион ускоряется, не теряя энергию вследствие ион-ионных взаимодействий. В итоге справедливо, что в Z-пинче имеется механизм передачи энергии от магнитного поля напрямую к ионной компоненте, причём к её высокоэнергетической составляющей. Основой этого механизма является наличие в Z-пинче МГД-неустойчивости.

Литература

1. Вихрев В.В., Королёв В.Д., Физика плазмы, 2007, том 33, №5, с. 397-423.
2. Гаранин С.Ф., Долинский В.Ю., Макеев Н.Г. и др., Физика плазмы, 2020, том 46, № 10, с. 890-903.
3. Усенко П.Л., Гаганов В.В., Молодцев Д.А., Физика плазмы, 2020, том 46, № 1, с. 33-39;
4. Гуреев К.Г., Физика плазмы, 1979, том 5, № 6, с. 1223-1230.
5. Фролов А.Ю., Дружинина О.В., Чирков А.Ю., Электромагнитные волны и электронные системы, 2021, т. 26, № 5, с. 5-14.
6. Шлютер А., Управляемые термоядерные реакции. М.: Атомиздат, 1960, с. 142-151.

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