Генерация и анизотропия нейтронного излучения в Z-пинчах

Вихрев В.В.

НИЦ Курчатовский Институт, 123182, Москва, Россия, vikhrev@mail.ru

Z-пинчи явились первыми устройствами, в которых была создана плазма, являющаяся источником нейтронного излучения без каких либо облучений ее пучками извне. Однако некоторое время сомневались в термоядерном происхождении этого излучения, поскольку нейтроны имели довольно значительную анизотропию по направлению, а их спектры по энергии были слишком широкими. По этой причине избегали строит какие-либо серьезные планы относительно увеличения этого излучения и получения непосредственно в Z-пинчах управляемой термоядерной реакции. Однако дальнейшие исследования нейтронного излучения в Z-пинчах показали, что скейлинг нейтронов с увеличением вкладываемой энергии довольно высокий – выход нейтронов пропорционален току в четвертой степени.

Постепенно в Z-пинчах остались неясными только вопросы относительно характеристик и причин появления нейтронного излучения. Были также вопросы типа - откуда берется такая анизотропия нейтронов и почему слишком большая ширина спектра испускаемых нейтронов. На эти вопросы удалось ответить тогда, когда выяснили спектр ионов, участвующих в генерации нейтронов. Дело в том, что оказалось, энергетический спектр ионов, генерируемых в плазме Z-пинча, содержит значительное содержание ионов с энергией выше 10 кэВ. При исследовании распределения дейтонов по энергии было выяснено, что спектр ионов в плазме в области высоких энергий ближе всего к степенному с показателем степени 2,5 – 4, и такого рода распределение ионов будет иметь место даже в том случае, когда будут достигнуты условия для зажигания Z-пинче самоподдерживающейся термоядерной реакции. Столкновения между ионами не успевают полностью максвеллизовать такие распределения.

Прямое получение высокотемпературной плазмы в Z-пинчах является более простым и перспективным методом зажигания самоподдерживающейся термоядерной реакции в плазме по сравнению с использования Z-пинчей как источника рентгеновского излучения с последующим облучением этим излучением термоядерной мишени.

Действительно, скейлинг величины нейтронного выхода непосредственно из плазмы пинча от вкладываемой энергии достаточно высокий и имеются факторы, которые способствуют увеличению этого излучения: к ним относится радиационный коллапс Z-пинча и возможность зажигания волны термоядерного горения вдоль пинча. Важным преимуществом получения термоядерной плазмы прямо в пинчах оказалась компактность такой системы. В отличие от других систем в Z-пинчах используется как магнитное, так и инерционное удержание; в радиальном направлении плазма пинча удерживается магнитным полем, а в осевом направлении за счет инерционного удержания плазмы.

В данном докладе дан обзор исследований по проблеме генерации нейтронов в Z-пинчах и дано описание характеристик нейтронного излучения на различных установках. Приведены результаты измерений нейтронного излучения возникающего в перетяжке быстрого Z-пинча. Объяснено появление анизотропии в распределениях нейтронов по энергиям в аксиальном направлении. Приведены результаты анализа появления анизотропии в энергетических спектрах нейтронов для Z-пинчей в случае образования в них немаксвелловской изотропной плазмы. Как следствие были выяснены не только зависимости нейтронного излучения от параметров в данных системах, но и основные характеристики этого нейтронного излучения.

Обсуждаются перспективы использования образования высокотемпературной плазмы в Z-пинчах для реализации реактора ядерного синтеза.