



Math-Net.Ru

Общероссийский математический портал

А. Г. Еськов, Н. П. Козлов, Р. Х. Куртмуллаев, В. Н. Семенов, В. И. Хвесюк, А. В. Яминский, Энергетический баланс в системе с квазисферической лайнерной компрессией, *Письма в ЖТФ*, 1983, том 9, выпуск 1, 38–41

Использование Общероссийского математического портала Math-Net.Ru подразумевает, что вы прочитали и согласны с пользовательским соглашением

<http://www.mathnet.ru/rus/agreement>

Параметры загрузки:

IP: 18.97.14.88

24 января 2025 г., 10:02:48



[7] С.Н. Иванов, Г.Д. Мансфельд, Е.Н. Хазанов. ФТТ, 15, 2972 (1973).

[8] Л.А. Кулакова, Б.Д. Лайхтман. ФТТ, 19, 1778 (1977).

Институт
радиотехники
и электроники
АН СССР, Москва

Поступило в Редакцию
5 июля 1982 г.

Письма в ЖТФ, том 9, вып. 1

12 января 1983 г.

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ БАЛАНС В СИСТЕМЕ С КВАЗИСФЕРИЧЕСКОЙ ЛАЙНЕРНОЙ КОМПРЕССИЕЙ

А.Г. Еськов, Н.П. Козлов,
Р.Х. Куртмуллаев, В.Н. Семенов,
В.И. Хвесюк и А.В. Яминский

Настоящая работа представляет результаты экспериментальных исследований и численного моделирования термоядерной системы „Тор-Лайнер“ [1], основанной на квазисферическом сжатии тяжелой оболочкой плазмы с замкнутой магнитной структурой.

Параметры установки ТЛ, на которой проводятся исследования и ИАЭ им. И.В. Курчатова: энергия накопителя системы разгона лайнера $E=0.5$ МДж, масса лайнера $m=0.2$ кг, рабочий объем лайнерного модуля $S_2=1.5 \cdot 10^{-3}$ м³, скорость лайнера $v \sim 10^3$ м/с, ведущее поле в тороиде в лайнерной камере $B \sim 0.2-0.4$ Тл, плотность плазмы в лайнере $n \sim (1 \div 10) \cdot 10^{21}$ м⁻³, начальный объем плазмы в лайнерной камере $S_{p0}=2.5 \cdot 10^{-4}$ м³.

В проведенном цикле экспериментов осуществлены новые решения всех систем плазменно-лайнерного комплекса ТЛ, обеспечивающие создание плазменного тороида, его транспортировку и захват в полости лайнера; продемонстрирована возможность нагрева плазмы с помощью квазисферической тяжелой оболочки до термоядерных температур. Инжекция тороида осуществлялась путем несинхронного управляемого пересоединения встречных потоков на различных торцах соленоида [1]. Потери энергии плазмы за время ее движения в транспортном канале ($z=20$ мкс, $l=1$ м) в описываемых экспериментах составляли около половины от начальной энергии в ударной камере так, что в лайнерной камере плазма имела параметры: $n=(0.5 \div 1) \cdot 10^{21}$ м⁻³, температура $T=0.05-0.1$ кэВ. Это обеспечивает выход в термоядерную область при коэффициенте сжатия $k \sim 10^3$. Исследование магнитной структуры тороида при его пролете в транспортном канале не обнаружило какой-либо крупномасштабной МГД-неустойчивости плазмы, приводящей к разрушению магнитной структуры. Указанные потери могут быть отнесены к радиационным эффектам, либо к усиленной диффузии поля.

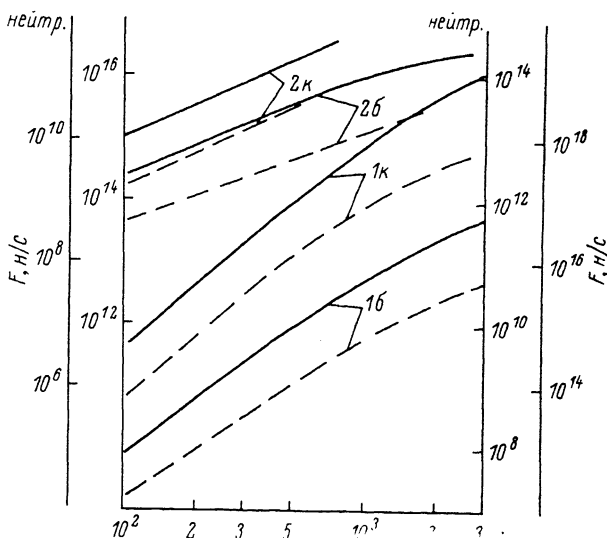


Рис. 1. Зависимость температуры (1) и нейтронного выхода (2) в момент $k=1000$ от начальной концентрации плазмы для классической (сплошная линия) и боровской (пунктир) диффузии для $B=0.2$ Тл (левая серия кривых) и $B=0.4$ Тл.

Одной из главных проблем при захвате тороида в полости лайнера является выбор момента включения толкающего поля таким образом, чтобы время нахождения тороида в лайнерной камере было бы минимальным, а диффузия толкающего поля через стенку лайнера на тонких торцевых областях не привела к запиранию тороида на входе в лайнерную камеру.

Исследование процессов разгона лайнера (с учетом диффузии ускоряющего магнитного поля) и сжатия плазмы при наличии потерь энергии проводилось экспериментально и численно.

Для анализа процессов в системе использовалась численная модель, позволяющая выявить качественные зависимости параметров сжатия (например, нейтронного выхода) от начальных условий эксперимента и интенсивности потерь энергии. Движение лайнера рассматривалось в приближении тонкой оболочки [2] совместно с процессами в электротехническом контуре системы разгона. При этом учитывалась нелинейная диффузия толкающего магнитного поля в материал лайнера. Динамика плазмы описывалась в рамках нулевого приближения с учетом потерь тепла с излучением, теплопроводностью и нагрева плазмы α -частицами.

С помощью расчетов была выбрана и проверена экспериментально оптимальная последовательность процессов инжекции и ускорения оболочки, а также геометрия лайнера, при которой продиффундиро-

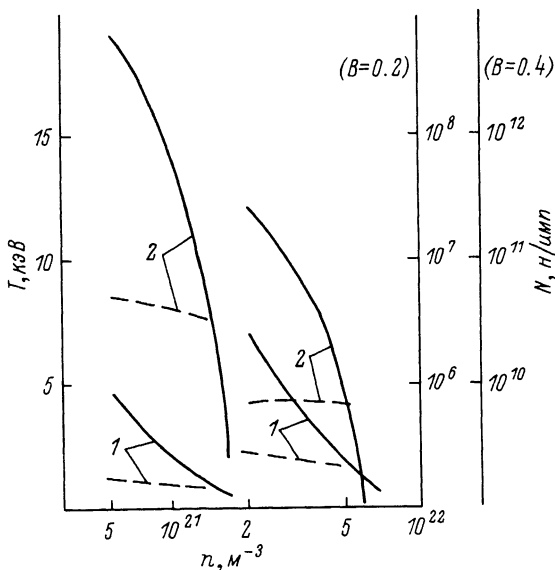


Рис. 2. Динамика интенсивности (сплошная линия) и полного выхода (пунктир) нейтронов при классической (К) и бомовской (Б) диффузии для различных начальных условий: 1 - $B=0.2$ Тл (левая шкала), 2 - $B=2$ Тл (правая шкала).

вавшее толкающее поле к моменту входа тороида в лайнерную полость (через 10 мкс после включения ускоряющего тока) не превышало 1 Тл - характерной величины ведущего поля в транспортном канале. Это делает возможным инжекцию и захват тороида при характерном времени движения лайнера ~ 60 мкс.

Благодаря сильной зависимости кумулятивных параметров от интенсивности тепловых потерь из плазмы сравнение их с экспериментальными данными позволяет сделать определенные заключения относительно характера потерь и максимальной степени сжатия в эксперименте. На рис. 1 показаны зависимости параметров кумулятивной фазы от начальной плотности n для заданного начального значения внешнего поля тороида при классической и бомовской диффузии в плазме. В последнем случае при достаточно низких значениях n , когда параметр замагниченности $(\omega\tau)_{max} \gg 1$, конечные параметры плазмы оказываются значительно ниже, чем при классических потерях. Данные рис. 1 соответствуют моменту, когда степень сжатия $\kappa = 10^3$. Расчетные предельные κ , обусловленные остановкой лайнера противодействием плазмы, оказываются существенно выше из-за малого начального давления плазмы. При увеличении начального внешнего поля, т.е. при приближении его к оптимальным значениям [3] ($B \sim 1 \div 2$ Тл), соответствующим эффективной передаче энергии лайнера в плазму, коэффициент

сжатия естественно уменьшается и определяется уже противодавлением плазмы. При этом проявляется его зависимость от суммарных потерь энергии из плазмы, и, следовательно, от начальных параметров тороида. Полный выход нейтронов N и интенсивность нейтронного излучения F dd -плазмы (при заданном $k = 10^3$) в диапазоне начальных полей $B = 0.2 \div 0.4$ Тл при бомовской диффузии оказываются в среднем на $1 \div 2$ порядка ниже, чем при классической. Это демонстрирует рис. 2, где показана зависимость N и F от мгновенного значения коэффициента сжатия лайнера для $B = 0.2$ Тл, что соответствует условиям описанных экспериментов. Для сравнения на рис. 2 приведены данные для профиля с оптимизированными параметрами и $B = 2$ Тл. Из рис. 2 видно, что при указанных выше начальных условиях эксперимента и наблюдаемом нейтронном выходе $N = 2 \cdot 10^8$ параметры сжатого состояния плазмы (при двух крайних предположениях относительно потерь) лежат в следующем диапазоне: $T \sim 1.5 - 3.5$ кэВ, коэффициент сжатия лайнера $k_2 \sim 700 - 6000$, плазмы $k_p \sim 300 - 5500$.

Как и следовало ожидать, существенное возрастание выхода ($N \sim 10^{14}$ н/имп) и других характеристик возможно при переходе к указанным выше оптимальным значениям начального давления. Физически этот результат объясняется наиболее благоприятным согласованием параметров плазмы и центральной области лайнера, аккумулирующей основную часть кинетической энергии оболочки.

Л и т е р а т у р а

- [1] A.G. E s' k o v, M.I. K i t a e v, R.Kh. K u r t m u l l a e v, V.M. N o v i k o v, V.N. S e m y o n o v, E.F. S t r i s h o v. Experiments in the "Tor-Liner" Device. Tenth European Conference on Controlled Fusion and Plasma Physics. v. 1, L-5, September 14-19, M. (1981).
- [2] Н.П. К о з л о в, Р.Х. К у р т м у л л а е в, В.Н. С е м е н о в, В.И. Х в е с ю к, А.В. Я м и н с к и й. Расчет динамики профилированного лайнера для квазисферического сжатия плазмы. Препринт ИАЭ-3384/7, М. (1981).
- [3] Р.Х. К у р т м у л л а е в, А.И. М а л ю т и н. Мегагаусная термоядерная система с трехмернокумулирующим лайнером. Докл. Всес. сов. по инженерным проблемам термоядерного синтеза, т. 1, с. 238, НИИЭФА, Л. (1975).

Московское высшее
техническое училище
им. Н.Э. Баумана

Поступило в Редакцию
16 июня 1982 г.
В окончательной редакции
6 декабря 1982 г.