

Плазменная линза для ускорителя тяжелых ионов ИТЭФ

Голубев Александр Александрович¹, Дроздовский Александр Андреевич¹,
Канцырев Алексей Викторович¹, Кузнецов Андрей Петрович³, Пронин Олег
Вячеславович³, Сасоров Павел Васильевич¹, Собур Денис Анатольевич²
студент

¹ФГУП ГНЦ РФ Институт теоретической и экспериментальной физики, Москва, Россия

²Московский физико-технический институт (государственный университет), Россия

³Московский инженерно-физический институт (государственный университет), Россия

soburda@gmail.com

Исследование нестационарных физико-химических процессов и экстремальных состояний вещества при интенсивном импульсном воздействии является одной из наиболее актуальных фундаментальных задач физики высоких плотностей энергии и решения проблем осуществления инерциального термоядерного синтеза инициированного пучком тяжелых ионов [1]. Интенсивный пучок тяжелых высокоэнергичных ионов ($E \sim 300$ МэВ/нуклон) позволяет при взаимодействии с веществом обеспечивать быстрое выделение энергии в объеме, ограниченном пятном фокусировки и длиной пробега ионов в исследуемом веществе. Ускорители тяжелых ионов могут быть использованы для достижения интенсивностей пучка вплоть до $10^{11} - 10^{13}$ частиц при длительности импульса 50–250 нсек. Короткое время выделения энергии (меньшее, чем время гидродинамического разлета) обеспечивает режим изохорического нагрева. В Институте теоретической и экспериментальной физики (ИТЭФ) г. Москва на базе ускорительно накопительного комплекса ТВН-ИТЭФ (Тераватного Накопителя) создается экспериментальная установка для проведения исследований в области физики высокой плотности энергии в веществе. При выходе ТВН-ИТЭФ на планируемые параметры появляется возможность ускорять тяжелые ионы до ~ 0.7 ГэВ/нуклон и накапливать их в количестве до $\sim 10^{13}$ частиц с последующей компрессией ионного пучка во времени до 10^{-7} с. Для получения максимальной величины удельной поглощенной энергии в мишени необходимо сконцентрировать интенсивный ионный пучок в минимальный объем. Так при фокусировке пучка ионов с указанными выше параметрами в пятно диаметром менее 1 мм на мишени может быть достигнут удельный энерговыход в вещество более 100 кДж/г. Это соответствует результирующему нагреву вещества до температуры $\sim 10^5$ К и достижению давлений в несколько Мбар. На сегодняшний день в ИТЭФ используется фокусирующая система, состоящая из двух квадрупольных магнитных линз, что позволяет сфокусировать ионный пучок в пятно диаметром 2 - 3 мм. Планируемое увеличение интенсивности ионного пучка на несколько порядков приведет к значительному увеличению эмиттанса пучка и, следовательно, потребует значительного увеличения фокусирующей способности, что трудно достижимо средствами традиционной квадрупольной фокусировки.

В настоящее время разрабатывается новая фокусирующая системы ускорительно накопительного комплекса ТВН-ИТЭФ на основе плазменной линзы. Фокусировка ионного пучка в плазменной линзе осуществляется следующим образом. Импульс тока J плазменного разряда создаёт азимутальное магнитное поле H в газоразрядной трубке линзы. В этом поле на пролетающие ионы действует сила Лоренца, направленная к оси разряда, что приводит к фокусировке ионного пучка. Между диаметром пучка d в фокальной плоскости линзы, эмиттансом пучка ϵ и током в линзе I выполняется соотношение $d_{\min} \sim \epsilon I^{1/2}$.

В плазменной линзе фокусирующие силы соответствуют напряженности магнитного поля, в первом порядке его величины по двум координатам одновременно, и нет ограничения величины напряженности поля, связанной с насыщением железа. Это является одним из основных преимуществ плазменной линзы перед традиционными квадрупольными линзами. Внутри линзы имеет место нейтрализация пространственного заряда пучка, также при фокусировке тяжелых ионов жесткость пучка существенно снижается из-за обдирки ионов в плазме.

В работе приводится описание плазменной линзы, предназначенной для

исследований на тяжелоионном ускорительно-накопительном комплексе ТВН-ИТЭФ. Был разработан мощный генератор для получения однополярного разрядного тока в камере плазменной линзы. В качестве коммутирующих элементов используются тиратроны ТГИ 2500/50. Для генератора на 8 тиратронах при зарядном напряжении 25 кВ величина тока в линзе равна 250 кА с длительностью импульса 5 мкс. При этом пучок ионов с энергией 300 МэВ/а.е.м. может быть сфокусирован в пятно диаметром в 300 мкм при эммитансе пучка $\sim 40\pi$ мм мрад. По электрической прочности линза рассчитана на напряжение 30 кВ. Разрядная керамическая трубка длиной 10 см и диаметром 2 см устанавливается между электродами, изготовленными из графита. Разряд производится в атмосфере аргона при давлении 1-5 Торр. Начаты исследования пространственно-временного поведения плазменного разряда. Электронная плотность плазмы определяется с использованием двухлучевого интерферометра в режиме фотоэлектрического смещения. Вместе с тем, измеряется вращение плоскости поляризации зондирующего излучения, проходящего сквозь исследуемую область плазмы. Компьютерная обработка результатов интерференционных и поляризационных измерений позволяет рассчитать распределение магнитного поля и оценить фокусирующую способность линзы. Приведены результаты численных расчетов динамики плазмы в одномерном приближении, а также прохождения фокусируемого пучка через линзу.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (гранты № 05-02-08119 офи_э и № 06-02-17180-а)

Литература

1. Sharkov et al., Nucl. Instr.Meth. A464 (2001) 1-5.
2. В. Yu. E. Boggasch, В. Heimrich, D.H.H. Hoffmann, Nucl. Instr.Meth.336 (1993) 438-41.