Исследование плазмы, образующейся при столкновении встречных плазменных потоков в продольном магнитном поле

Гаврилов В.В., Еськов А.Г., Житлухин А.М., Кочнев Д.М., Пикуз С.А.1, Позняк И.М., Рязанцев С.Н.1, Скобелев И.Ю.1, Топорков Д.А., Умрихин Н.М.

ГНЦ РФ ТРИНИТИ, Троицк, Москва, Россия, toporkov@triniti.ru
1ОИВТ РАН, Москва, Россия, sergryaz@mail.ru

Импульсные плазменные ускорители (ИПУ) [1] способны генерировать мощные потоки дейтериевой плазмы с энергосодержанием до 100 кДж и температурой торможения до 10 кэВ, что позволяет использовать их в программе УТС для получения форплазмы. Кроме этого, ИПУ успешно применяются в испытаниях перспективных материалов дивертора в проекте ИТЭР и, при использовании более тяжелых газов, для создания мощных источников мягкого рентгеновского излучения (МРИ).

В предлагаемом докладе приводятся результаты исследования взаимодействия встречных плазменных потоков ИПУ, в которых рабочими газами являлись азот, неон и их смеси с дейтерием. Работа выполнена на установке 2МК-200 (ТРИНИТИ) с энергозапасом емкостных накопителей каждого ИПУ до 300 кДж при стартовом напряжении до 24 кВ. Плазменные потоки с ионной плотностью (2÷4)×1015 см-3, со скоростями (2÷4)×107 см∙с-1 и энергосодержанием 70÷100 кДж транспортировались навстречу друг другу и сталкивались в продольном магнитном поле индукцией 1÷2 Тл.

Диагностика плазмы включала в себя магнитно-зондовые измерения, интегральную по времени спектроскопию МРИ в диапазоне 1-20 нм, измерение электронной температуры методом фильтров и регистрацию абсолютной мощности излучения рентгеновскими фотодиодами. Моделирование спектров в рамках расчетной модели позволило провести независимую от метода фильтров оценку электронной температуры.

Характерное время жизни плазменного сгустка в зоне столкновения, которое определялось по длительности сигналов магнитных зондов, составляло 15÷20 мкс. Импульс МРИ имел длительность 10÷15 мкс, в течение которых энергия излучения достигала ≈ 10 кДж для азотосодержащей плазмы и ≈ 2 кДж для плазмы с ионами неона.

В случае плазмы, содержащей ионы азота, не менее 80% энергии линейчатого излучения высвечивается в виде резонансных линий Не- и Н-подобных ионов азота (длина волны 2.88 нм и 2.48 нм соответственно). Основная доля энергии из зоны столкновения сгустков плазмы, состоящей из неона и дейтерия, высвечивается в линиях Li- и Не-подобных ионов неона с длиной волны 9.8 нм и 8.8 нм (соответственно переходы 1s22p-1s23d и 1s22s-1s23p в ионе Ne VIII) и с длиной волны 1.34 нм (переход 1s2-1s2p в ионе Ne IX). При расчетном моделировании спектров электронная температура плазмы, состоящей из ионов азота, определялась на уровне 120 эВ, а в случае плазмы с ионами неона - 160÷170 эВ.

Электронная температура, измеренная по непрерывному излучению, составляла ≈ 140÷160 эВ для азотной плазмы и ≈ 180÷200 эВ для неоновой плазмы, меняясь незначительно (≤ 15%) в течение 8÷10 мкс. Слабые изменения температуры во время импульса МРИ позволяют считать расчетное моделирование спектра достаточно надежным средством измерения электронной температуры в зоне столкновения плазменных потоков азота или неона.

Коллективом из ГНЦ РФ ТРИНИТИ работа выполнена при финансовой поддержке Госкорпорации «Росатом» (контракт № Н.4x.44.9Б.16.1011). Моделирование и анализ рентгеновских спектров выполнены за счет средств гранта Российского научного фонда № 17-72-20272.

Литература.

1. Skvortsov Y. V., 1992, Phys. Fluids B, V.4, P.750