Измерения скоростей полоидального и тороидального вращения плазмы с помощью активной спектроскопии на токамаке Т-10

Ключников Л.А., Крупин В.А., Нургалиев М.Р., Немец А.Р., Земцов И.А., Тугаринов С.Н. 1, Серов С.В. 1, Науменко Н.Н.2

НИЦ «Курчатовский институт», Москва, Россия, [lklyuchnikov@list.ru](mailto:lklyuchnikov@list.ru)  
1ГНЦ РФ ТРИНИТИ, Троицк, Россия  
2ИФ НАН РБ, г. Минск, Республика Беларусь

На токамаке Т-10 развита активная спектроскопическая диагностика, предназначенная в первую очередь для локального измерения профилей ионной температуры и концентрации ядер примесей плазмы [1]. В ходе экспериментов 2017-го года на Т-10 были проведены измерения скорости полоидального и тороидального вращения плазмы с помощью активной спектроскопии. Измерения скоростей вращения необходимы для того, чтобы определить величину и профиль такой важной физической величины, как радиальное электрическое поле плазмы. Радиальное электрическое поле имеет связь с процессами переноса тепла и частиц в плазме токамака, а также может влиять на развитие и подавление различных турбулентных процессов, включая геодезические акустические моды (ГАМ). Выражение для величины радиального электрического поля имеет следующий вид:

 (1)

Где *Pi* – давление данной ионной компоненты, *ni* , *Zi* – концентрация и заряд ионов, *e* – заряд электрона, BT и BP – тороидальная и полоидальная компоненты магнитного поля, VT,VP – скорости тороиадльного и полоидального вращения.

Скорость вращения плазмы определяется по доплеровскому сдвигу спектральной линии водородоподобного углерода C5+ 5291 Ǻ. Как показал опыт, измерения скорости вращения – гораздо более трудоёмкая задача, чем определение температуры или концентрации ионов. Сложность измерений в первую очередь связана с тем, что на положение данной спектральной линии оказывает влияние не только вращение плазмы, но также и другие эффекты, связанные с физическими процессами, протекающими при взаимодействии ядер плазмы с пучком нейтралов. Отметим, что сдвиг линии, связанный с полоидальным вращением плазмы может быть меньше, чем сдвиг, связанный с другими эффектами. Для того чтобы провести надёжные измерения скоростей полоидального и тороидального вращения на Т-10 были осуществлены эксперименты с прямыми и обратными направлениями всех магнитных полей в токамаке. При этом направление скоростей вращения также изменяется на противоположное. Такой подход позволил измерить удвоенную величину доплеровского сдвига спектральной линии, а также проверить влияние атомных эффектов на положение спектральной линии.

В результате были отлажены измерения скоростей вращения и проведено экспериментальное определение профиля радиального электрического поля.

Работа выполнена при частичной поддержке Госкорпорации РОСАТОМ (Контракт № Н.4х.241.9Б.17.1011). Работа по модернизации активной спектроскопической диагностики для измерения скоростей вращения плазмы выполнена за счёт Российского научного фонда (проект №14-22-00193). Авторы выражают благодарность Российскому фонду фундаментальных исследований, проект 18-32-00100.

Литература

1. L.A. Klyuchnikov, V.A. Krupin, M.R. Nurgaliev et al., Rev. Sci. Instrum. 87, 053506 (2016).