ИЗУЧЕНИЕ ИОННОЙ И ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ В ПЛАЗМЕ ТОКАМАКА Т-10

Ключников Л.А., Крупин В.А., Нургалиев М.Р., Немец А.Р., Земцов И.А., Рыжаков Д.В., Сарычев Д.В., 1Науменко Н.Н., Тугаринов С.Н.

Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», г. Москва,  
 Россия, [lklyuchnikov@list.ru](mailto:lklyuchnikov@list.ru)  
1Институт физики им. Степанова НАН республики Беларусь, г. Минск, Беларусь

Актуальность изучения процессов переноса тепла в плазме обуславливается необходимостью реализации в ближайшем будущем длительной управляемой реакции термоядерного синтеза, для чего необходимо глубокое понимание физики процессов, обуславливающих удержание энергии в плазменном шнуре.

На токамаке Т-10 возможно получение плазменных режимов в очень широком диапазоне изменения параметров плазмы, в том числе с мощным (до 3 МВт) ЭЦР-нагревом. Кроме того, имеющийся на Т-10 подвижный литиевый лимитер позволяет эффективно контролировать поступление лёгких примесей, что обеспечивает возможность проведения экспериментов в диапазоне величины Zeff в пределах от 1 до 3,5 – 4.

Для определения профилей ионной и электронной теплопроводности необходимо иметь надёжные данные об абсолютных величинах и профилях температуры и концентрации ионов и электронов плазмы. На Т-10 данные о профилях электронной температуры обеспечиваются диагностиками электрон-циклотронного излучения (ECE) и мягкого рентгеновского излучения (SXR). Диагностика SXR излучения обеспечивает абсолютные измерения электронной температуры, в то время как ECE-диагностика предназначена только для измерений профиля Te(r) в относительных величинах. Профили электронной температуры, полученные с помощью двух диагностик, хорошо совпадают друг с другом в пределах их рабочих диапазонов. Данные о профилях электронной плотности обеспечиваются 16-ти канальными интерферометрическими измерениями. Профили концентрации и температуры ионов обеспечиваются с помощью активной спектроскопической диагностики (CXRS). Дополнительно проводятся измерения периферийной ионной температуры с помощью пассивной спектроскопии по величине доплеровского уширения линии иона C5+.

Определение коэффициентов теплопроводности производится с использованием транспортного кода ASTRA, который учитывает неоклассический и аномальный перенос тепла в плазме токамака.

Для того чтобы отработать методику определения коэффициентов теплопроводности были проведены измерения в омических плазменных разрядах. Для измерений была выбрана та область параметров плазмы, где наблюдается хорошее согласие двух диагностик электронной температуры, то есть при величинах плотности электронов ne = 1,5 – 3 ×   
1019 м–3.

Установлено, что наблюдаемые в эксперименте величины ионной теплопроводности в омических режимах Т-10 в исследованном диапазоне параметров близки к неоклассическим величинам в градиентной области плазмы (ρ ~ 0,5). Как неоклассические, так и полученные в эксперименте величины ионной теплопроводности сильно растут с ростом величины Zeff.

Работа по модернизации диагностик профилей температуры и концентрации ионов выполнена за счёт гранта Российского научного фонда (проект №14-22-00193). Авторы благодарят за финансовую поддержку Российский фонд фундаментальных исследований (проект № 16-32-00148 мол\_а).