Излучение высокотемпературной плазмы токамака в мегагерцовом диапазоне частот

С.В. Лебедев, Г.И. Абдуллина, Л.Г. Аскинази, А.А. Белокуров, Н.А. Жубр, В.А. Корнев, С.В. Крикунов, А.Д. Мельник, Д.B. Разуменко, А.И. Смирнов, А.С. Тукачинский, Чернышев Ф.В., Шевелев А.Е.

ФТИ им. А.Ф. Иоффе, Санкт-Петербург, РФ, sergei.lebedev@mail.ioffe.ru

Излучение в диапазоне частот 1-100 МГц обусловлено наличием в плазме токамаков замагниченных ионов. При индукции магнитного поля 1-5 Тл и плотности плазмы 1019‑1020 м-3 в этом диапазоне оказываются альфвеновские волны (АВ) и ионное циклотронное излучение (ИЦИ). Наблюдение АВ и ИЦИ позволяет анализировать состав плазмы и поведение энергичных ионов. В большинстве случаев излучение в мегагерцовом диапазоне частот не является тепловым, а обусловлено развитием неустойчивостей в присутствии энергичных частиц. Анализ этого излучения дает возможность исследования физики возбуждения плазменных неустойчивостей. Практическое значение исследования генерации мегагерцового излучения состоит в том, что сильные магнитные возмущения, являясь потенциальным каналом потерь альфа-частиц, представляют опасность для достижения самоподдерживающейся реакции синтеза в термоядерном реакторе и, следовательно, нуждаются в разработке методов, препятствующих их развитию.

Наряду с кратким обзором характерных неустойчивостей, приводящих к возникновению МГц излучения, в докладе представлены результаты исследования АВ и ИЦИ на токамаке ТУМАН-3М. В частности, представлены результаты экспериментов по идентификации типа альфвеновских волн, возникающих в плазме с различными сортами рабочего газа (протий, дейтерий, гелий). Эти эксперименты показали, что частота регистрируемых зондами колебаний меняется пропорционально альфвеновской скорости, $∝{B\_{T}}/{\left(A\_{i}n\_{i}\right)^{0,5}}$. На основании полученных данных был сделан вывод о том, что наблюдаемые АВ являются глобальной альфвеновской модой (GAE), область возбуждения которой находится в центральной части сечения токамака.

В токамаке ТУМАН-3М ИЦИ обнаружено как при омическом, так и при инжекционном нагреве плазмы. Омическое ИЦИ характеризуется значительным числом наблюдаемых гармоник – порядка 10-ти в дейтериевой плазме, а также наличием зависимости частоты от расположения зонда – регистрируемая частота первой гармоники близка к частоте ионного циклотронного резонанса вблизи зонда – частоты на зондах, расположенных со сторон слабого и сильного магнитного поля, отличаются более, чем в 2 раза. Эта особенность указывает на локальный характер генерации омического ИЦИ. В отличие от омического ИЦИ ионное циклотронное излучение, наблюдаемое при инжекционном нагреве в токамаке ТУМАН-3М, (NBI ИЦИ) имеет одинаковую частоту первой гармоники на всех зондах, независимо от их расположения и возникает в центральной области плазмы. Амплитуда регистрируемых гармоник быстро спадает с номером, в результате чего доступными для наблюдения остаются в лучшем случае первые 4 гармоники. В докладе представлены модели генерации омического и NBI ионного циклотронного излучения.

Особый интерес представляет диагностический потенциал МГц излучения плазмы. В докладе представлены результаты экспериментов по измерению изотопного состава плазмы по спектрам альфвеновских волн и по ионному циклотронному излучению, наблюдаемому в отсутствие энергичных ионов. Измерения отношения амплитуд основных гармоник ИЦИ в плазме, состоящей из смеси изотопов водорода может служить методом определения изотопного отношения в перспективных установках УТС