

УДК 533.9

Д.Б. Гин (5 курс каф. ФП), И.Н. Чугунов к.ф.м.н., снс ФТИ

ИССЛЕДОВАНИЕ УБЕГАЮЩИХ ЭЛЕКТРОНОВ ПО ЖЁСТКОМУ РЕНТГЕНОВСКОМУ ИЗЛУЧЕНИЮ НА ТОКАМАКЕ “ГЛОБУС - М”

Одним из направлений диагностики плазмы является исследование поведения убегающих электронов по вызываемому ими жёсткому рентгеновскому (тормозному) излучению (НХР). Целью данной работы было изучение этого процесса на токамаке ГЛОБУС-М.

Рентгеновское излучение образуется при торможении убегающих электронов на конструктивных элементах камеры токамака. Его энергетический спектр изменяется непрерывно от нуля до максимального значения, равного кинетической энергии электронов. Таким образом, измерение изменения во времени спектров НХР дает сведения об изменении интенсивности убегающих электронов в процессе разряда и об их максимальной энергии. Существенные различия в строении магнитного и электрического полей в поперечном сечении плазменного столба в сферических токамаках по сравнению с традиционными установками вызывают ряд особенностей в поведении частиц. Таким образом, исследования НХР совместно с другими диагностиками позволяет получать данные о строении магнитного поля и существующих турбулентностях.

Исследования НХР на токамаке Глобус-М проводятся на установке, в которой в качестве детектора использован кристалл NaI(Tl) 150x100 с ФЭУ-49Б, помещенный в свинцовую защиту с коллиматором, ось которого направлена по касательной к диафрагме (лимитору) ГЛОБУСА-М в экваториальной плоскости. Энергетическое разрешение спектрометра составляет 10% на линии 1,33МэВ Co^{60} . Диапазон измеряемых энергий жесткого рентгеновского излучения может быть установлен любой в интервале от шумов ФЭУ (50...80 кэВ) до нескольких десятков МэВ. Однако из соображений оптимальности обычно устанавливался в диапазоне от 100...150 кэВ до 2.0...5.0 МэВ. Установка позволяет накапливать 128 энергетических спектров по 256 каналов каждый, за непрерывно следующие друг за другом интервалы времени. Длительность временного интервала накопления одного спектра устанавливается перед началом эксперимента и меняется дискретно от 10 мкс до 100 мс, обычно от 200 мкс до 2 мс. Установка запускается от стартового импульса токамака с задержкой. Время задержки устанавливается в целом количестве временных интервалов. Для учета просчетов регистрирующей аппаратуры был разработан модуль учета “мертвого времени”, результаты работы которого позволяют при обработке эксперимента определить входную загрузку в течение каждого временного интервала.

Анализ данных, полученных в осенне-весенней серии экспериментов на токамаке “ГЛОБУС-М” позволил сделать следующие выводы:

- в разрядах со средней плотностью $(1...3) \cdot 10^{19} \text{ м}^{-3}$, энергия убегающих электронов и уровень их интенсивности снижен, и становится незначимым при плотности плазмы $n_e > 3 \cdot 10^{19} \text{ м}^{-3}$ и даже при низких плотностях не представляется возможным достижение режима разряда преимущественно током убегающих электронов;

- максимальная энергия убегающих электронов при очень низких плотностях скорее снижается с ростом тока плазмы, чем увеличивается, а при более высоких плотностях максимум энергии НХР приходится на $\sim 1...3 \text{ МэВ}$, в зависимости от напряжённости тороидального поля;

Также сформулированы наблюдения:

- в случае большого срыва на фазе окончания разряда не замечено появления интенсивных убегающих электронов в разрядах широкого диапазона изменения параметров;
- ток убегающих электронов, обычно преобладающий в режимах с низкими плотностями в традиционных токамаках, на ГЛОБУСе-М не превышает 10...20% от общего плазменного тока и не играет значительной роли в энергетическом балансе. Каждый раз, когда плазма теряла убегающие электроны вследствие МГД активности, общий ток не падал более чем на эту величину.