Генерация ускоренных электронов на начальной стадии разряда в токамаке Т-10

Шестаков Е.А., Саврухин П.В., Ершова М.И., Храменков А.В.

НИЦ «Курчатовский институт», 123182, Москва, РФ

Образование пучков ускоренных электронов является одной из особенностей работы установок магнитного удержания плазмы токамак и связано с наличием сильных электрических полей. Проведенные на токамаке Т-10 исследования показывают, что энергия электронов в пучке может достигать 10 МэВ, а плотность тепловыделения 3ГВт/кв.м [1]. Эволюция ускоренных электронов во время пробоя может определять ход начальной стадии разряда [2]. Образовавшиеся во время пробоя ускоренные электроны продолжают существовать и на квази-стационарной стадии разряда. При этом их взаимодействие с лимитером может вызывать эрозию его поверхности. Ускоренные электроны на квази-стационарной стадии могут быть инициаторами возникновения плазменных колебаний и неустойчивостей [3].

В данной работе исследуется процесс образования высокоэнергетичных электронов в сильном продольном магнитном поле на начальной стадии плазменного разряда в токамаке. Исследования связаны в первую очередь с необходимостью разъяснения влияния ускоренных электронов, образовавшихся на начальной стадии разряда в токамаке, на параметры плазмы на протяжении всего разрядного импульса. Образование высокоэнергетичных электронов на начальной стадии разряда в токамаке, как правило, регистрируется традиционными мониторными диагностическими системами (монитор жесткого рентгеновского излучения). Однако такие мониторные диагностики не позволяют провести подробные исследования параметров ускоренных электронов. При проведении исследований используются детекторы надтеплового (50кэВ - 1МэВ) и жесткого рентгеновского (500 кэВ – 10 МэВ) излучения, работающие как в потоковом, так и в счетном режиме. Измерения в счетном режиме позволяют определить энергетический спектр рентгеновского излучения и на его основе дать оценку для энергии электронов в пучке. По измерениям в потоковом режиме с помощью подвижного внутрикамерного датчика с высоким пространственным разрешением (до 15 мм) определяется место возникновения и траектория пучка. Совместные измерения рентгеновского излучения с помощью стандартного NaI спектрометра жесткого рентгеновского излучения и внутрикамерного CdTe детектора позволили уточнить факторы, влияющие на процесс образования ускоренных электронов в токамаке Т-10.

В докладе приводятся результаты измерений рентгеновских спектров в токамаке Т-10 в плазменных разрядах с различными параметрами (плотность плазмы, концентрация примесей, температура плазмы, продольные электрические поля). На основе этих измерений была определена энергия ускоренных электронов и их локализации на начальной стадии разряда. Проведено исследование влияния внешних резонансных магнитных полей и СВЧ нагрева на пучки ускоренных электронов на начальной стадии разряда

Работа выполнена при содействии Росатом и РФФИ (18-02-00999 и 18-32-00365).

Литература.

1. Budaev, V.P. et. al, Tungsten melting and erosion under plasma heat load in tokamak discharges with disruptions, Nuclear Materials and Energy, 2016
2. A.S. Sharma and R. Jayakumar, Runaway electrons during tokamak startup, 1988 Nucl. Fusion 28 491
3. Tukachinsky, A.S., Askinazi, L.G., Balachenkov, I.M. et al. Alfvén oscillations in ohmic discharges with runaway electrons in the TUMAN-3M tokamak, Tech. Phys. Lett. (2016) 42: 1167.