

ИЗМЕРЕНИЕ СПЕКТРОВ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПУЧКОВ УСКОРЕННЫХ ЭЛЕКТРОНОВ В ТОКАМАКЕ Т-15МД ^{*)}

^{1,2}Тепикин В.И., ^{1,2}Саврухин П.В., ¹Шестаков Е.А., ^{1,2}Аристов А.И., ¹Лисовой П.Д.,
¹Храменков А.В.

¹НИЦ «Курчатовский Институт», г. Москва, Россия, Tepikin_VI@nrcki.ru,
nrcki@nrcki.ru

²НИУ «Московский Энергетический Институт», г. Москва, Россия

Образование мощных пучков ускоренных электронов на начальной стадии разряда, а также при развитии неустойчивости срыва, и их последующее взаимодействие с внутрикамерными элементами, может приводить к повреждениям первой стенки и дивертора токамака. Развитие пучков ускоренных электронов сопровождается генерацией тормозного излучения с энергиями до десятков МэВ. Детектирование рентгеновского излучения в комбинации с модельными расчётами может обеспечить важную информацию о развитии пучков ускоренных электронов внутри плазменного шнура [1].

На токамаке Т-15МД оборудована система регистрации жесткого рентгеновского излучения, состоящая из монитора NaI(Tl) и двух спектрометрических детекторов $\text{LaBr}_3(\text{Ce})$. Монитор жесткого рентгеновского излучения представляет собой сборку из сцинтилляционного кристалла NaI(Tl) размером $d25 \times 25$ мм, ФЭУ и повторителя сигнала. Монитор расположен на расстоянии 3 м снаружи вакуумной камеры и с боковых сторон закрыт свинцовым экраном толщиной 40мм. Проведена абсолютная калибровка монитора жесткого рентгеновского излучения с помощью рентгеновской трубки Eclipse-IV.

Спектр жесткого рентгеновского излучения измеряется с помощью двух сцинтилляционных детекторов $\text{LaBr}_3(\text{Ce})$ размером $d38.1 \times 38.1$ мм, расположенных в герметичном корпусе с ФЭУ и предусилителем сигнала 2007Р. Детекторы располагаются в подвижной коллимационной системе, обеспечивающей угловое поле зрения детекторов в 2° и позволяющей перемещать поле зрения по сечению плазменного разряда [2]. Для получения спектров жесткого рентгеновского излучения разработан алгоритм HARDSPEC численной обработки импульсных сигналов, включающий фильтрацию данных, определение амплитуд импульсов и сортировку импульсов по амплитуде.

В первых экспериментах на токамаке Т-15МД в режимах с ЭЦР инициацией разряда получены спектры жесткого рентгеновского излучения пучков ускоренных электронов. Максимальная энергия ускоренных электронов E_{RE} определяется по спектру жесткого рентгеновского излучения при аппроксимации экспонентой $\sim \exp(E/E_{RE})$. Также проведена оценка полного тока пучка ускоренных электронов. По максимальной энергии ускоренных электронов определяется дифференциальное сечение тормозного излучения $d\sigma_k/dk$ при их торможении в графитовой облицовке вакуумной камеры. Затем вычисляется поглощенная энергия рентгеновского излучения в мониторе жесткого рентгеновского излучения $W = d\Omega \cdot dt \cdot [d\sigma_k/dk \cdot N_{RE} \cdot n_s \cdot k \cdot dk]$, что позволяет получить значение тока ускоренных электронов $I_{RE} = N_{RE} \cdot e \cdot 2\pi R/v$.

Работа проведена в рамках выполнения государственного задания НИЦ «Курчатовский институт»

Литература

- [1]. А.Е. Шевелев, Развитие методов гамма спектроскопии для диагностики убегающих электронов в компактных токамаках. Диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук. Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе РАН – Санкт-Петербург, 2019 – 158с.
- [2]. V.I. Tepikin, et.al., Hard X-Ray Collimation System at the T-15MD Tokamak // Plasma Physics Reports, 2024, Vol. 50, No. 10, pp. 1189–1197. DOI:10.1134/S1063780X24601172

^{*)} DOI – тезисы на английском