

УДК 539.122.164.074.3, 539.1.074.88

Модель нейтронного спектрометра в составе Анализатора Нейтральных частиц ИТЭР

А.В. Батюнин^{1,2}, С.А. Швыкин^{2,3}, Ю.А. Кацук^{1,2}

¹ГНЦ РФ Троицкий институт инновационных и термоядерных исследований

²Частное учреждение Государственной корпорации по атомной энергии «Росатом»

«Проектный центр ИТЭР»

³Московский физико-технический институт (государственный университет)

Анализатор нейтральных частиц ИТЭР, расположенный в 11 экваториальном порту включает подсистему «Нейтронный спектрометр». Она будет располагаться в нейтронной ловушке, находящейся за основными системами диагностического комплекса. Спектрометр должен осуществлять независимые измерения температуры плазмы в центре плазменного шнура и отношение плотностей nd/nT . Эти параметры также будут измеряться основными системами Анализатора Нейтральных Частиц, что позволяет получить дополнительные данные для выполнения калибровки.

Нейтронный спектрометр будет выполнять измерения с временным разрешением 100мс. В соответствии с MCNP расчетами, нейтронный поток в месте установки составит до $3 \cdot 10^9$ нейтронов/(см²·с) (рассеянных – до $9 \cdot 10^8$ нейтронов/(см²·с)) (данные приводятся для импульса 500 МВт).

Сцинтилляционные спектрометры обладают малым радиационным ресурсом и при высоких значениях нейтронного потока быстро выйдут из строя (радиационный ресурс составляет до 10^{13} нейтронов/см² в спектрометрическом режиме и до 10^{14} нейтронов/см² в счетном [1]). Алмазные детекторы обладают существенно большим радиационным ресурсом (более $1,2 \cdot 10^{14}$ нейтронов/см² [2]). При этом с помощью сцинтилляционного спектрометра можно выполнить измерения отношения плотностей нейтронного потока в центре плазменного шнура.

Для алмазного детектора энергетический отклик от DD-нейтронов (2, 45 МэВ) не превышает 0,8 МэВ, тогда как для DT-нейтронов (энергия 14,1 МэВ) отклик составляет порядка 8,4 МэВ (реакция $^{12}\text{C}(n, \alpha_0)^9\text{Be}$ в алмазе), что не позволяет производить одновременные измерения потоков DD и DT нейтронов.

Т.о. для обеспечения измерения требуемых параметров будут использоваться несколько детекторов: 2 сцинтилляционных детектора (стильбен) с ФЭУ и 2 алмазных детектора, что и получить данные для выполнения калибровки систем NPA (выполняемое с помощью сцинтилляционных детекторов), а также выполнять измерения нейтронного потока, нейтронного спектра, ионной температуры в центре плазменного шнура на протяжении существенно более длительного периода времени.

Расчеты нейтронного потока на элементах системы LENPA Анализатора нейтральных частиц при размещении вольфрамового экрана для обеспечения радиационной защиты спектрометра показали существенный рост уровня нейтронного излучения. Это привело к отказу от нейтронной защиты и существенным изменениям в конструкцию системы спектрометра.

Магнитные поля в месте расположения спектрометра составляют достигают 200 мТ. При таких магнитных полях для работы ФЭУ требуется использование магнитных экранов. [3]

Для эффективной регистрации нейтронного излучения с помощью алмазного детектора требуется размещение предварительного усилителя на наиболее близком расстоянии от детектора. Однако, кремниевая электроника имеет существенно меньший радиационный ресурс, чем алмазный детектор. Поэтому предварительные усилители алмазных детекторов будут располагаться на расстоянии 1м под нейтронной ловушкой в магнитной защите. Согласно MCNP расчетам, в месте установки предварительных усилителей нейтронный поток составит порядка 10^6 нейтронов/(см²·с).

Модель нейтронного спектрометра была изменена несколько раз. В текущей модификации, детекторы подсистемы будут размещаться в двух модулях: высокочувствительном и низкочувствительном. Для первого модуля будут использоваться сцинтиллятор (стильбен Ø40 мм, Н = 20 мм) с ФЭУ, для второго – сцинтиллятор с (Ø10 мм, Н = 10 мм) с ФЭУ и 2 алмазных детектора различных объемов. Конкретные параметры алмазных детекторов уточняются. Модули могут использоваться для проведения измерений по-отдельности. Модули размещаются в общем корпусе. Перемещение корпуса осуществляется с помощью ходового винта и электродвигателя по цилиндрическим направляющим.

Нейтронный спектрометр имеет 3 эффективных положения — в потоке находится:

- Высокочувствительный модуль;
- Низкочувствительный модуль;
- Оба модуля выведены из потока.

При необходимости элементы спектрометра будут выводиться из пучка. Это требуется, поскольку рассеянные нейтроны на элементах конструкции будут попадать в помещение экваториального порта, увеличивая уровень фонового нейтронного излучения. Возможность выведения элементов спектрометра из потока позволит увеличить время жизни системы, а также позволит выполнять измерения фонового нейтронного излучения в месте установки детектора.

Литература.

1. Radiation Hardness of a Fast Neutron Scintillation Spectrometer with a Stilbene Crystal. Klimenkov E. E., Kashchuk Yu. A., Krasil'nikov A. V., Oleinikov A. A., Sevast'yanov V. D., Trykov L. A., Semenova N. N., Nuclear experimental technique, 2004
2. Development and application of CVD diamond detectors to 14 MeV neutron flux monitoring. Angelone M, Pillon M, Marinelli M, Milani E, Paoletti A, Tucciarone A, Pucella G, Verona-Rinati G.
3. Кашук Ю.А., Фрунзе В.В., Батюнин А.В. «Цилиндрические экраны для нормальной работы ФЭУ в магнитных полях токамаков типа ИТЭР», Теоретические и экспериментальные исследования, выполненные в 2008 году, ТРИНИТИ, 2009
4. Knoll G. F. Radiation Detection and Measurements. N.Y.: John Wiley&Sons, Inc., 2000
5. V.G. Kiptily, et.al. «Advanced Diagnostics for Magnetic and Inertial Fusion», Varena, Kluwer Academic/Plenum Publishers, NY, USA, 2001
6. W.R. Leo Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiments, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1987

Рис. 1 3D модель нейтронного спектрометра в корпусе.