

СПЕКТРОСКОПИЯ НЕЙТРОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ТОКАМАКА EAST ПРИ ПОМОЩИ ДЕТЕКТОРА НА ОСНОВЕ LaCl_3 *)

¹Панкратенко А.В., ¹Кормилицын Т.М., ¹Обудовский С.Ю., ¹Кашук Ю.А., ²Zhong G.,
²Zhang Y., ²Xu M.

¹ЦУ ИТЭР-Центр, г. Москва, Россия, a.pankratenko@iterrf.ru

²Institute of Plasma Physics, Hefei, China

Большинство современных и перспективных установок УТС проводят эксперименты с дейтериевой плазмой. По интенсивности и спектру нейтронного излучения плазмы возможно определить ее параметры, например, ионную температуру, термоядерную мощность, влияние систем нагрева. В качестве детекторов нейтронов используются ионизационные камеры деления, полупроводники, сцинтилляторы.

$\text{LaCl}_3(\text{Ce})$ – неорганический сцинтиллятор, отличающийся высоким световыходом (40000 фотонов/МэВ), малым временем высвечивания (30 нс), линейностью световыхода и высоким разрешением для γ -лучей (~3,5% для 662 кэВ). Благодаря реакции $^{35}\text{Cl}(n,p)^{35}\text{S}$ материал чувствителен к нейтронам. LaCl_3 обладает собственным фоном, обусловленным α -распадами примеси ^{227}Ac . При помощи разделения по форме импульса возможно отделить отсчеты, вызванные γ -лучами, от отсчетов, вызванных нейтронами и α -частицами. Более подробное описание свойств LaCl_3 как сцинтиллятора приведено в [1, 2].

В июле 2024 г спектрометр на основе LaCl_3 был установлен на токамаке EAST, ASIPP, г. Хэфэй, КНР[3]. Детектор был расположен за радиационной защитой на расстоянии 8,5 м от центра плазменного шнура. Защита состояла из слоя свинца в 10 см и слоя борированного полиэтилена в 50 см со стороны токамака и 15 см в остальных направлениях и снижала фоновый уровень γ -лучей и нейтронов в ~100 раз [4]. Обзор плазмы производился через коллиматоры 2 см в диаметре в горизонтальной плоскости установки. Было записано около 300 разрядов, из которых ~100 проводились с работой инжекторов быстрых нейтронов (сценарии с высоким выходом быстрых нейтронов). Фотоны сцинтиллятора регистрировались при помощи ФЭУ Hamamatsu R6231, сигнал с ФЭУ подавался без усиления на АЦП с частотой дискретизации 500 МГц внутренней разработки ASIPP. Детектор калибровался при помощи собственного фонового α -излучения, а также калибровочных γ -источников ^{152}Eu , ^{137}Cs , ^{60}Co , ^{22}Na и ^{54}Mn .

При помощи разделения по форме импульса из общего спектра были выделены сигналы, соответствующие регистрации быстрых нейтронов. Полученные распределения по энергии и зависимости скорости счета от времени сравнивались с другими нейтронными диагностиками и временными зависимостями параметров разрядов. Измерения LaCl_3 с хорошей точностью согласуются с результатами измерений камер деления и штатных нейтронных диагностик на установке EAST. Получена энергия нейтронов и плотность нейтронного потока от времени. Продемонстрировано первое успешное применение детектора на основе сцинтиллятора LaCl_3 для регистрации быстрых нейтронов на действующем токамаке в длительном (>10 с) разряде.

Литература

- [1]. Kormilitsyn T. et al. (2021). Application of the $\text{LaCl}_3(\text{Ce})$ Scintillator to Fast Neutron Measurements. *Physics of Particles and Nuclei Letters*, 18(1), 75–81.
<https://doi.org/10.1134/S154747712101009X>
- [2]. Pankratenko A.V. et al. (2023). Analysis of the $\text{LaCl}_3(\text{Ce})$ scintillator response function to fast neutrons. *NIM A*, 1052. <https://doi.org/10.1016/j.nima.2023.168282>
- [3]. Hu J. et al. (2023). All superconducting tokamak: EAST. In *AAPPS Bulletin* (Vol. 33, Issue 1). Springer. <https://doi.org/10.1007/s43673-023-00080-9>
- [4]. Chen W. et al. (2021). Design of the radiation shield and collimator for neutron and gamma-ray diagnostics at EAST. *Fusion Engineering and Design*, 172.
<https://doi.org/10.1016/j.fusengdes.2021.112775>

*) [DOI – тезисы на английском](#)