

УДК 533.9.082.79

DOI 10.53403/9785951505170_2021_26_2_48

Экспериментальные исследования пространственных характеристик импульсного нейтронного источника на основе плазменной камеры

А. В. Гарин, Д. А. Ершов, Н. В. Завьялов,
А. В. Калущкий, Е. Н. Лимонова,
В. И. Смердов, В. Н. Сударчиков

В Институте ядерной и радиационной физики РФЯЦ-ВНИИЭФ в 2010 г. был разработан, изготовлен и испытан импульсный нейтронный источник на основе плазменной нейтронной камеры (ПНК). В статье представлены результаты исследований пространственных характеристик излучающей области нейтронного источника при наполнении камеры как дейтерием, так и смесью дейтерия с тритием. Исследования проводились методом камеры-обскуры.

Введение

В 2010 г. в ИЯРФ была создана установка на основе сферической камеры с плазменным фокусом [1]. Эта установка основывалась на новой разработке – ПНК-13, которая в сравнении с предшествующей ей камерой имела существенно больший диаметр анода и катода. Работа ПНК-13 обеспечивалась новой конденсаторной передвижной установкой (КПУ) КПУ-200, представляющей из себя генератор импульсов тока, в котором происходят накопление электрической энергии, формирование импульса тока и передача его в ПНК. Установка предназначалась для целей нейтронной радиографии объектов высокой плотности. Для реализации этих целей необходимы высокий выход нейтронов в импульсе, малая длительность импульса и малые геометрические размеры нейтронного источника излучения.

Первые эксперименты, проведенные в 2011 г., в которых камера наполнялась дейтерием, показали, что нейтронный выход (Y) составляет $7,5\text{--}8 \cdot 10^{10}$ ДД-нейтронов за импульс, длительность которого на полувысоте составляла ~ 110 нс. При наполнении камеры равнокомпонентной смесью дейтерия с тритием нейтронный выход составил $1,3 \cdot 10^{13}$ ДТ-нейтронов с длительностью импульса на полувысоте $75\text{--}80$ нс [1].

Для получения данных о пространственных характеристиках нейтронного источника потребовалось создание высокоэффективного регистратора нейтронных изображений. Нейтронный регистратор был создан на базе электронно-оптической камеры ПФК. В его состав входили:

- 1) электронно-оптическая камера ПФК с фотокатодом S20, диаметром 25 мм;
- 2) компьютер со встроенным контроллером и программным обеспечением, обеспечивающим:

- задание режима работы электронно-оптического преобразователя камеры (усиление, длительность кадра, время задержки включения);
- регистрацию (запоминание) и демонстрацию полученного изображения.

На базе нейтронного регистратора был создан измерительный канал для определения размеров импульсного нейтронного источника установки по методу камеры-обскуры.

Для получения сведений о размерах нейтронного источника ПНК-13 в 2012 г. были проведены исследования пространственных характеристик нейтронного источника при заполнении ПНК-13 равнокомпонентной смесью дейтерия с тритием. Измерения проводились по двум проекциям – фронтальной и боковой (рис. 1).

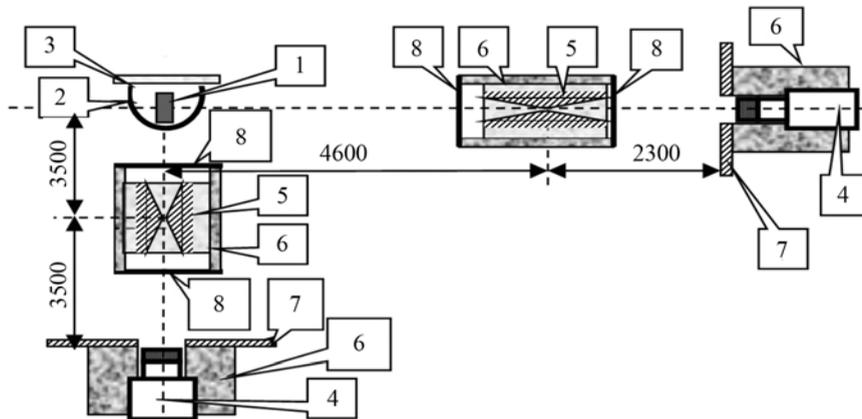


Рис. 1. Постановочная геометрия для регистрации изображения в ДТ-нейтронах: 1 – источник излучения, 2 – корпус ПНК-13, 3 – коллектор установки, 4 – регистратор, 5 – коллиматор камеры-обскуры с диаметром отверстия 2 мм, 6 – канал вывода излучения; 7 – защита регистратора, 8 – Pb фильтр

На оси просвечивания был установлен фильтр рентгеновского излучения $Pb = 10$ мм.

Эксперименты проводились с коллиматором камеры-обскуры, имеющим форму отверстия в виде однополостного гиперboloида с минимальным диаметром 2 мм (изготовлен в виде наборных шайб), общая длина – 400 мм. Коллиматор камеры-обскуры для регистрации фронтальной проекции нейтронного источника был изготовлен из ВНЖ (вольфрам–никель–железо) и размещался на равном расстоянии $\sim 3,5$ м между источником и регистратором. Ось фронтальной проекции совпадала с продольной осью ПНК-13. Регистрация боковой проекции изображения нейтронного источника осуществлялась в масштабе 1 : 2 при общей измерительной базе 6,9 м.

Изображения нейтронного источника при максимально высоком выходе ДТ-нейтронов за импульс, полученные методом камеры-обскуры, а также результаты их обработки показаны на рис. 2.

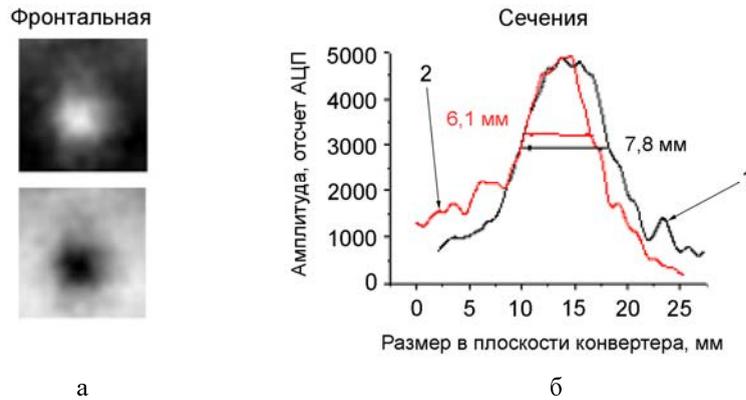


Рис. 2. Изображение нейтронного источника: а – изображения нейтронного источника при выходе $Y = 1,3 \times 10^{13}$ ДТ-нейтронов за импульс для фронтальной (положительные и отрицательные изображения) проекции, б – горизонтальное (1) и вертикальное (2) сечения фронтальной проекции

Область генерации нейтронов достаточно компактна. По полученным данным определены диаметр яркой области на изображениях фронтальной проекции 6–8 мм и ее длина по боковой проекции 17–20 мм.

В дальнейших исследованиях, проведенных в 2013 г. при заполнении камеры дейтерием, была разработана новая постановочная геометрия. Изображения нейтронного источника формировались гиперболическим коллиматором камеры-обскуры (изготовленным также из наборных дисков) из ВНЖ внутренним диаметром 1,6 мм. Масштаб проецирования $M = 1,6$. Тем самым была улучшена разрешающая способность метода. На оси просвечивания был установлен фильтр рентгеновского излучения $Pb = 10$ мм. Использовался сцинтиллятор из волоконного полистирола $80 \times 80 \times 100$ мм, сечение волокна 1×1 мм. На рис. 3 приведено изображение нейтронного источника, полученное в ходе одного из экспериментов, а также результат его обработки.

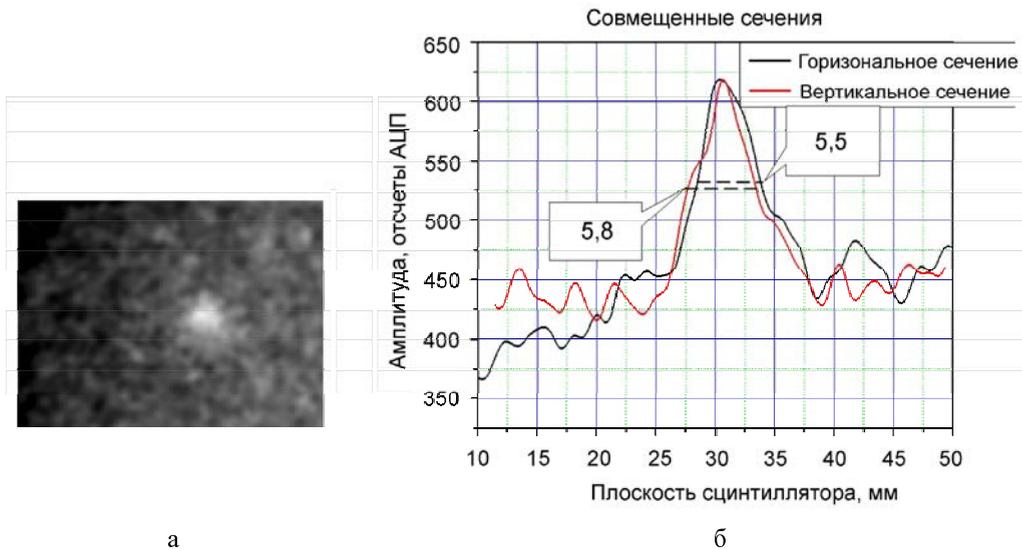


Рис. 3. Изображение нейтронного источника и его сечения по двум плоскостям: а – экспериментальное нейтронное изображение, б – горизонтальное и вертикальное сечение изображения

Полученное изображение характеризуется круговой симметрией. Измерение размеров по двум направлениям дало следующие величины: 5,5 и 5,8 мм. С учетом масштаба увеличения 1,6 при формировании нейтронного изображения переход в плоскость источника дает следующие размеры: 3,4 мм по горизонтали и 3,6 мм по вертикали. Данные значения приведены без учета размытия в скинтилляторе и конечного размера полной ширины на полувысоте.

Таким образом, проведенные эксперименты показали, что разработанный в ИЯРФ РФЯЦ-ВНИИЭФ для целей нейтронографии импульсный источник на основе ПМК имеет размеры, не превышающие 3–4 мм. При этом достаточно значительным является вклад функции размытия точки коллиматора камеры-обскуры. Истинный размер нейтронного источника может оказаться на уровне 2–2,5 мм. Для его подтверждения необходимы эксперименты с использованием коллиматора камеры-обскуры диаметром менее 1 мм и большим масштабом проецирования.

Список литературы

1. Завьялов Н. В., Маслов В. В., Румянцев В. Г. и др. Источник с выходом 10^{13} ДТ-нейтронов на основе сферической камеры с плазменным фокусом // Физика плазмы. 2013. Т. 39, № 3. С. 276–280.

Experimental Researches of Space Characteristics of a Plasma Chamber-Based Pulsed Neutron Source

**A. V. Garin, D. A. Yershov, N. V. Zavyalov, A. V. Kalutskii, Ye. N. Limonova,
V. I. Smerdov, V. N. Sudarchikov**

In the Institute of Nuclear and Radiation Physics of RFNC-VNIIEF there was developed, produced and tested in 2010 a pulsed neutron source on the base of plasma neutron chamber (PNC). The paper presents the results of studying space characteristics of the neutron source irradiating region for the cases of chamber filling with deuterium and with a mixture of deuterium and tritium. The researches were performed using a camera obscura method.