

СТЕНД ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫХ ДЕТЕКТОРОВ НЕЙТРОНОВ

А. В. Андреев¹, Ю. М. Бурмистров², Е. С. Конобеевский²,
В. Н. Марин², М. В. Мордовской², С. И. Поташев²

¹ФГУП Всероссийский научно-исследовательский институт автоматики, Москва, Россия

²Институт ядерных исследований РАН, Москва, Россия,

Описан стенд для исследования характеристик время-пролетных детекторов нейтронов. Детекторы в виде прямоугольных призм с сечением 100×100 и 100×200 мм² и длиной 300, 400 и 500 мм изготовлены из сцинтиллирующей пластмассы (полистирол + терфенил + РОРОР) и просматриваются с двух концов фотоумножителями ФЭУ-143. Детекторы облучаются пучком нейтронов с энергией 14 МэВ, получаемых в реакции $d + t \rightarrow n + {}^4\text{He}$ с использованием портативного нейтронного генератора ИНГ-07. Полученные нейтроны проходят через формирующую защиту-коллиматор из борированного полиэтилена в форме призмы с размером $70 \times 90 \times 125$ см³ с проходным отверстием в виде щели с размером $0,5 \times 6$ см². Соотношение числа быстрых нейтронов прямого пучка, прошедших через коллиматор, на оси коллиматора и на расстоянии 2 см от нее составляет $\sim 100 : 1$. Наличие коллимированного пучка позволяет исследовать пространственное разрешение длинных детекторов (возможность определения места взаимодействия нейтрона с веществом детектора), что необходимо для оптимизации временного разрешения детекторов. Точка взаимодействия определяется либо по времени прихода световой вспышки на противоположные концы сцинтилляторов, либо по соотношению амплитуд сигналов, снимаемых с концов сцинтилляторов. Стенд позволяет также измерять абсолютную эффективность детекторов разной длины при энергии нейтронов 14 МэВ.

Цель представленной работы - исследование характеристик детекторов, необходимых для проведения предложенного нами эксперимента по определению синглетной длины pp-рассеяния в реакции pd развала на нейтронном канале Московской мезонной фабрики ИЯИ РАН [1]. В эксперименте предполагается определение длины рассеяния из зависимости выхода реакции pd развала от величины энергии относительного движения $\epsilon_{\text{cm}} = (E_1 + E_2 - 2(E_1 E_2)^{1/2} \cos \theta) / 2$ двух нейтронов в кинематической области, отвечающей малым значениям этой энергии, где наиболее сильно проявляется np -взаимодействие в конечном состоянии. В эксперименте будут регистрироваться в совпадении два нейтрона, вылетающие в узком конусе углов относительно направления движения их центра масс, измеряться энергии этих нейтронов E_1 и E_2 и угол θ между ними. Энергия нейтронов измеряется по времени пролета. По условиям эксперимента нейтронные детекторы должны удовлетворять следующим требованиям: эффективность регистрации нейтронов с энергиями 10 - 20 МэВ не менее 0,1, временное разрешение не хуже 0,5 нс. Кроме того, из экономических соображений (количество детекторов, электроники сбора информации) каждый детектор должен иметь размеры поперечного сечения не менее 10×10 см². Этим требованиям могут соответствовать детекторы из сцинтилляционной пластмассы размерами от $10 \times 10 \times 30$ см³. Большой продольный размер (относительно пролетной базы нейтронов) приводит к заметной неопределенности во времени пролета. Для ее уменьшения необходимо опре-

делять место регистрации нейтрона в детекторе. Для выбора оптимальных размеров детекторов и отработки метода регистрации временных сигналов нами был создан стенд. Описание стенда и предварительные результаты испытания детекторов приведены в настоящей работе.

Пучок нейтронов с энергией 14 МэВ получается в реакции $d + t \rightarrow n + {}^4\text{He}$ с использованием портативного нейтронного генератора ИНГ-07 [2]. Нейтронный генератор на газонаполненных нейтронных трубках ИНГ-07 производства ВНИИА им. Н. Л. Духова имеет ряд достоинств, полезных для данного типа работ: моноэнергетический поток производимых нейтронов, удобство и безопасность эксплуатации, небольшие габаритные размеры ($\varnothing 170 \times 420$ мм) и массу. Благодаря применению смеси газов дейтерия и трития происходит постоянное восстановление свойств мишени («самоабивная» мишень), что обеспечивает постоянство нейтронного выхода на протяжении всего ресурса. Нами использовался импульсный режим работы ИНГ-07 (поток нейтронов $1,4 - 10^9$ нейтрон/с, длительность нейтронного импульса 20 мкс, ускоряющее напряжение 110 кВ).

Полученные нейтроны проходят через формирующую защиту-коллиматор из борированного полиэтилена и набора пластин свинца и кадмия в форме параллелепипеда с размерами $70 \times 90 \times 125$ см³ и проходным отверстием в виде щели с размером $0,5 \times 6$ см².

Размеры защиты рассчитывались по известной программе MCNP-4B (Лос Аламос). Соотношение прямого пучка быстрых нейтронов

(14 МэВ), прошедших через коллиматор, на оси коллиматора и на расстоянии 2 см от нее должно составлять ~100 : 1.

Сформированный пучок попадает на детектор, дистанционно перемещаемый перпендикулярно направлению пучка. Детекторы в виде прямоугольных призм с сечением 100 × 100 и 100 × 200 мм² и длиной 300, 400 и 500 мм изготовлены из сцинтиллирующей пластмассы (полистирол + терфенил + РОРОР, производства завода «Монокристалл», г. Харьков) и просматриваются с двух концов фотоумножителями. Нами были испытаны три типа фотоумножителей - ФЭУ-143, «Каскад» и ФЭУ-83 (имеющие разные диаметры фотокатодов, близкие временные характеристики). Все приведенные далее графики относятся к детекторам с установленными на них ФЭУ-143. Точка взаимодействия нейтрона с веществом детектора может быть определена либо по разнице времен прихода световой вспышки на противоположные концы сцинтилляторов, либо по соотношению амплитуд сигналов, снимаемых с концов сцинтилляторов. Стенд позволяет также измерять абсолютную эффективность детекторов разной длины при энергии нейтронов 14 МэВ. Расположение элементов стенда приведено на рис. 1.

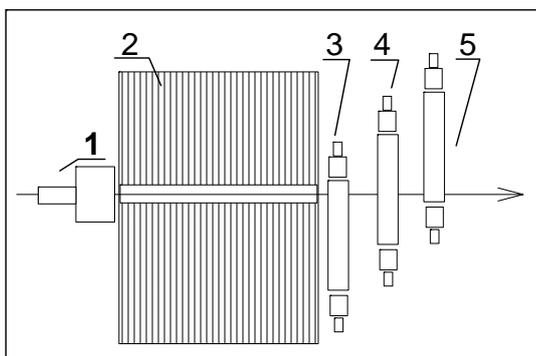


Рис. 1. Испытательный стенд: 1 - нейтронный генератор ИНГ-07; 2 - коллиматор; 3, 4, 5 - положения детектора при измерениях, сдвиг осуществляется только перпендикулярно оси.

Для каждого зарегистрированного нейтрона записывались разница времен прихода вспышки и две амплитуды сигналов. В экспериментах использовались электроника производства фирмы ORTEC, за исключением оригинальных формирователей со следящим порогом, изготовленных в ИЯИ РАН, работающих в диапазоне входных амплитуд от 30 мВ до 4 В и малочувствительных к форме импульса. Собственное разрешение ФСП составляет не более 40 пс вблизи порога. На рис. 2 приведена зависимость “delay walk” от входной амплитуды. На рис. 3 – диаграмма зависимости разрешения формирователя от входной амплитуды.

ды, полученная в тестовом измерении с использованием ФЭУ-143, синего импульсного лазера и оптического аттенюатора (в указанное разрешение входит и разрешение самого ФЭУ).

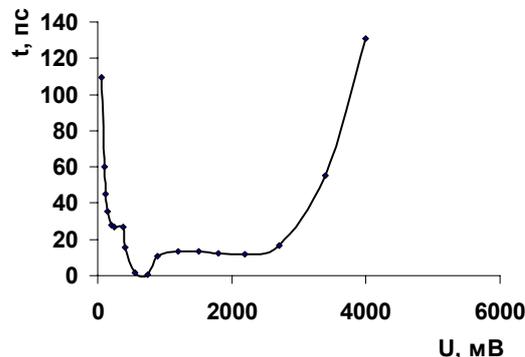


Рис. 2. Зависимость “delay walk” ФСП от входной амплитуды.

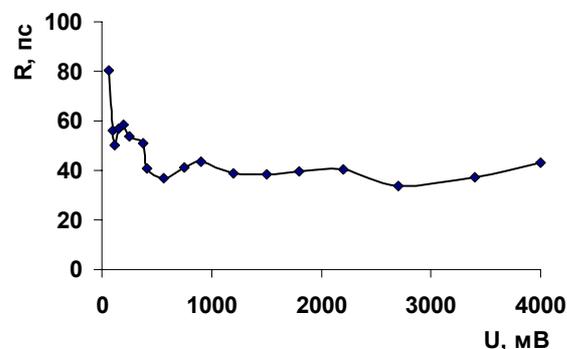


Рис. 3. Зависимость временного разрешения ФСП от входной амплитуды.

Накопление данных осуществлялось при помощи быстрого крэйт-контроллера, также изготовленного в ИЯИ. Из полученного многомерного массива данных строились временные и амплитудные спектры.

На данный момент были проведены первые эксперименты, в которых для облегчения настройки размеры щели коллиматора были существенно увеличены (до 6 × 6 см²) относительно расчетных.

Для определения профиля пучка использовался калиброванный детектор на основе ФЭУ-143 и сцинтиллирующей пластмассы размером Ø20 × 5 мм. Этот детектор устанавливался на механизм дистанционного перемещения вместо основного детектора. На рис. 4 приведена зависимость величины потока нейтронов от расстояния до оси коллиматора. Поток интегральный, без разделения по энергии нейтронов.

На рис. 5 приводятся спектры временных совпадений сигналов с двух концов детектора размерами 150 × 200 × 500 мм, для трех положений

детектора по отношению к оси коллиматора в соответствии с рис. 1.

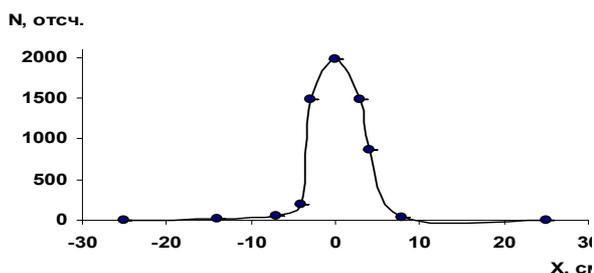


Рис. 4. Зависимость величины потока нейтронов от расстояния до оси коллиматора.

Хорошо видна зависимость положения пика временных совпадений от места попадания пучка в детектор. Сдвиг на расстояние в 44 см приводит к смещению во времени на 8 нс, а полуширина пиков соответствует определению места детектирования с точностью ~ 7 см и соответствует размерам щели коллиматора (с учетом краевых эффектов).

На рис. 6 приведены соотношения амплитуд импульсов, регистрируемых на двух концах детектора для двух крайних положений детектора относительно пучка нейтронов. По осям Y отложены количество зарегистрированных событий, а по осям X – отношение амплитуды сигнала с одного конца детектора к сумме амплитуд сигналов с обоих концов детектора.

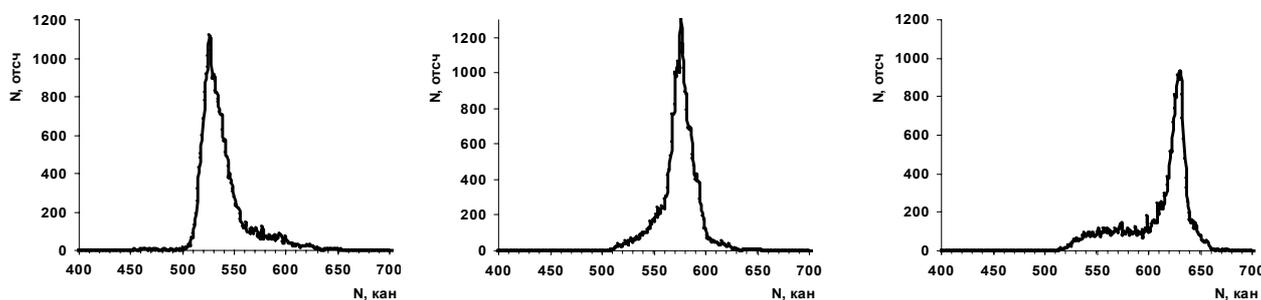


Рис. 5. Спектры временных совпадений для трех положений детектора относительно оси коллиматора.

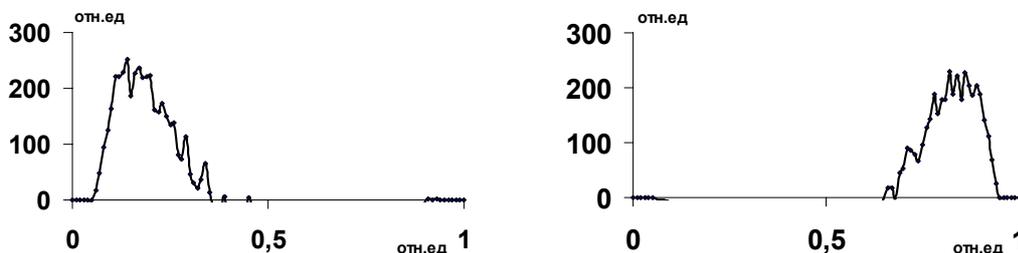


Рис. 6. Спектр соотношений амплитуд сигналов, приходящих с двух концов детектора для крайних положений детектора, относительно пучка.

Видно, что определение места взаимодействия нейтрона с детектором по амплитудам сигналов того же порядка ($\sim 8 - 9$ см), что и аналогичное определение из временных спектров.

Приведены результаты, полученные в первых экспериментах на стенде. В настоящее время ведутся работы по доведению пучка нейтронов

до расчетных параметров (заявленных геометрического размера и потока нейтронов). Однако и первые результаты позволяют надеяться на успешное решение поставленной задачи.

Работа поддержана РФФИ, грант № 06-02-17462а.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Burmistrov J.M., Zuev S.V., Konobeevsky E.S. et al.* Determination of singlet nn-scattering length from data on nn-final state interaction in $n+d \rightarrow p+n+n$ reaction // Current Problems in Nuclear Physics and Atomic Energy: Book of Abstracts. Intern. Conf. (Kyiv, May 29 - June 03, 2006). - P. 70.
2. *Сборник материалов межотраслевой научно-технической конференции «Портативные генераторы нейтронов и технологии на их основе».* – Москва, Россия, 26 - 30 мая 2004 г.

СТЕНД ДЛЯ ВИПРОБУВАННЯ СЦИНТИЛЯЦІЙНИХ ДЕТЕКТОРІВ НЕЙТРОНІВ**А. В. Андреев, Ю. М. Бурмистров, Є. С. Конобєєвський, В. Н. Марін, М. В. Мордовської, С. І. Поташев**

Описано стенд для дослідження характеристик детекторів нейтронів за часом прольоту. Детектори у вигляді прямокутних призм з перерізом 100×100 та 100×200 мм² та довжиною 300, 400 та 500 мм виготовлені із сцинтилюючої пластмаси (полістирол + терфеніл + РОРОР) і проглядаються з двох кінців фотопомножувачами ФЕП-143. Детектори опромінюються пучком нейтронів з енергією 14 МеВ, що одержуються в реакції $d + t \rightarrow n + {}^4\text{He}$ з використанням портативного нейтронного генератора ІНГ-07. Одержані нейтрони проходять через формуючий захист-коліматор із борованого поліетилену у формі призми розмірами $70 \times 90 \times 125$ см³ з прохідним отвором у вигляді щілини з розміром $0,5 \times 6$ см². Співвідношення числа швидких нейтронів прямого пучка, що проходять через коліматор, на осі коліматора і на відстані 2 см від неї становить $\sim 100 : 1$. Наявність колімованого пучка дає змогу досліджувати просторову роздільну здатність довгих детекторів (можливість визначення місця взаємодії нейтрона з речовиною детектора), що необхідно для оптимізації часової роздільної здатності детекторів. Точка взаємодії визначається або за часом приходу світлового спалаху на протилежні кінці сцинтиляторів, або за співвідношенням амплітуд сигналів, що знімаються з кінців сцинтиляторів. Стенд дозволяє також вимірювати абсолютну ефективність детекторів різної довжини при енергії нейтронів 14 МеВ.

STAND FOR TESTING NEUTRON SCINTILLATION DETECTORS**A. V. Andreev, Yu. M. Burmistrov, E. S. Konobeevski, V. N. Marin, M. V. Mordovskoy, S. I. Potashev**

Testing stand of plastic scintillation detectors of neutrons is described. Detectors are irradiated by the beam of 14 MeV neutrons produced in $d + t \rightarrow n + {}^4\text{He}$ reaction using the ING-07 neutron generator. The neutrons obtained pass through the forming shielding collimator made of borated polyethylene ($70 \times 90 \times 125$ cm³ with through slit of 0.5×6 cm²). Formation of narrow collimated beam allows one to study the spatial resolution of the neutron detectors (possibility of determination of the point of interaction of neutron with the detector substance) that is necessary for optimization of time resolution of detectors. The stand also allows to measure the absolute efficiency of detectors of various lengths at neutron energy of 14 MeV.

Поступила в редакцію 23.06.07,
после доработки – 16.06.07.