

$\Delta E-E$ -ДЕТЕКТОР ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ ПРОТОНОВ В РЕАКЦИИ БЕЗМЕЗОННОГО РАЗВАЛА ДЕЙТРОНА НА ВНУТРЕННЕЙ МИШЕНИ НУКЛОТРОНА-М

*С. М. Пиядин^{а,1}, Т. А. Васильев^а, Ю. В. Гурчин^а, А. Ю. Исупов^а,
Ю.-Т. Карачук^{а,б}, В. А. Краснов^а, А. К. Курилкин^а, П. К. Курилкин^а,
В. П. Ладыгин^а, А. Н. Ливанов^а, Г. Мартинска^в, С. Г. Резников^а,
А. К. Семенов^з, А. Е. Туманов^з, А. Н. Хренов^а, М. Янек^{а,д}*

^а Объединенный институт ядерных исследований, Дубна

^б Исследовательский институт электротехники, Бухарест

^в Университет П. Й. Шафарика, Кошице, Словакия

^з Московский государственный институт радиотехники, электроники и автоматики, Москва

^д Физический факультет, Университет г. Жилина, Жилина, Словакия

Представлена конструкция $\Delta E-E$ -детектора для изучения реакции развала дейтрона на внутренней мишени нуклотрона-М в интервале энергии дейтрона 300–500 МэВ. Кратко описана система высоковольтного питания ФЭУ-63 на базе модуля Wenzel Elektronik, управляемого от компьютера. Рассматривается светодиодная система мониторинга работы $\Delta E-E$ -детектора. Представлены результаты тестирования $\Delta E-E$ -детектора как на космических мюонах, так и на пучках дейтронов нуклотрона.

The design of $\Delta E-E$ detector for study of the deuteron breakup reaction at the internal target at Nuclotron-M in the deuteron energy interval 300–500 MeV is presented. The high voltage power system for PMTs-63 that is managed by Wenzel Elektronik module with the computer control is shortly described. The light-emitting diode monitoring of the $\Delta E-E$ detector's work is considered. The results of the $\Delta E-E$ detector tests with cosmic muons and deuterons at Nuclotron are presented.

PACS: 29.20.dk; 29.40.Mc; 25.45.-z; 25.30.Mr

ВВЕДЕНИЕ

Главная цель проекта DSS (Deuteron Spin Structure) — расширение энергетического и углового диапазонов в измерениях различных наблюдаемых для процессов, включающих трехнуклонные системы. Целью экспериментальной программы проекта DSS является получение информации о спинзависимой части трехнуклонных сил из двух процессов: dp -упругого рассеяния и dp -развала с регистрацией двух протонов при промежуточных и высоких энергиях.

¹E-mail: piyadin@jinr.ru

Экспериментальные данные по дифференциальному сечению и дейтронным анализирующим способностям для широкого диапазона фазового пространства были получены при энергии 130 МэВ в KVI [1]. Результаты показывают чувствительность поперечного сечения к спиновой структуре трехнуклонных сил. Теоретические расчеты для реакции безмезонного развала дейтрона, выполненные при энергии 400 МэВ [2], предсказывают, что дифференциальное сечение и тензорная анализирующая способность для различных кинетических конфигураций также чувствительны к вкладу трехнуклонных сил.

Целью данной работы была разработка ΔE – E -детектора на основе пластических сцинтилляторов и ФЭУ для изучения реакции развала дейтрона с энергией до 500 МэВ. В работе приведены конструкция детектора, схема делителя напряжения для ФЭУ-63, а также результаты тестирования детекторов на космических мюонах и пучке.

1. СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫЙ ΔE – E -ДЕТЕКТОР

Для изучения реакции развала дейтрона с регистрацией двух протонов будут использоваться восемь детекторов ΔE – E -типа. Схематический вид детектора приведен на рис. 1, б.

Детектор ΔE – E состоит из двух сцинтилляторов ΔE и E . Первый имеет цилиндрическую форму с высотой 10 мм и диаметром 80 мм. Данный сцинтиллятор просматривается двумя ФЭУ-85, расположенными друг напротив друга. Для увеличения площади соприкосновения фотокатода каждого из ФЭУ-85 на сцинтилляторе были сделаны проточки, которые потом были отполированы (рис. 1, а). ΔE -сцинтиллятор покрыт белой бумагой. E -сцинтиллятор также имеет цилиндрическую форму высотой 200 мм и диаметром 100 мм. В качестве светоприемника для E -сцинтиллятора был использован ФЭУ-63, обладающий необходимым для эксперимента размером фотокатода (100 мм) и хорошими временными и амплитудными свойствами. E -сцинтиллятор также был обернут белой бумагой. Торцевая часть сцинтиллятора, примыкающая к ΔE -сцинтиллятору, была покрыта черной бумагой, чтобы исключить возможность попадания света от одного сцинтиллятора к другому.

Все элементы представленного счетчика расположены в светонепроницаемом металлическом кожухе. Все ФЭУ и делители установлены на пружинах, что позволяет достичь хорошего контакта ФЭУ со сцинтилляторами.

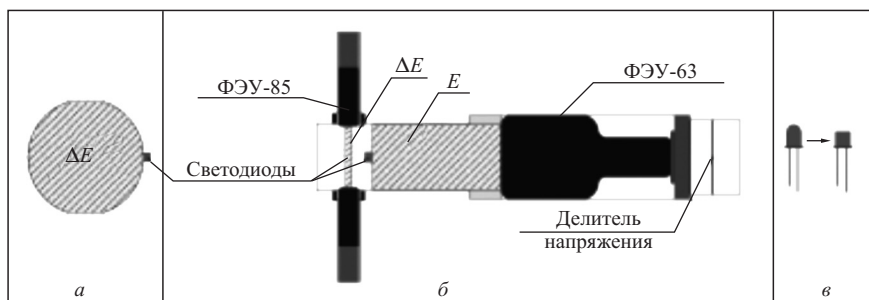


Рис. 1. а) Вид пластического сцинтиллятора ΔE -детектора. б) Общий вид ΔE – E -детектора для изучения реакции dp -развала. в) Модификация светодиода

3. СИСТЕМА ВЫСОКОВОЛЬТНОГО НАПРЯЖЕНИЯ ДЛЯ ФЭУ

Управление высоковольтным напряжением цифровых делителей ФЭУ-85 осуществляется с помощью модуля, соединенного с компьютером через шину RS232. Этот модуль был разработан в ЛФВЭ ОИЯИ [7]. Система высоковольтного питания ФЭУ-63 основана на модуле Wenzel Electronik, напряжение которого управляется и контролируется с помощью ЦАП и двух АЦП-модулей КАМАК [8] (рис. 3). Использование двух модулей АЦП позволило контролировать как напряжение, так и ток, проходящий через делитель ФЭУ-63. Для управления и контроля высоким напряжением модуля Wenzel Electronik в режиме on-line был использован пакет MIDAS [9].

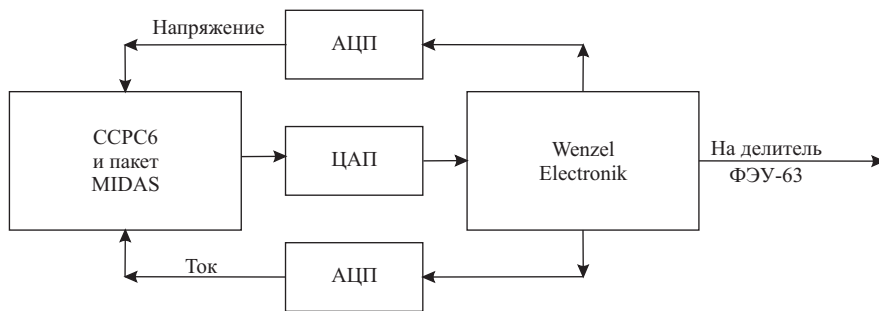


Рис. 3. Блок-схема системы высоковольтного питания ФЭУ-63 на базе модулей «Wenzel Electronik»: ЦАП — 8-канальный 12-разрядный цифроаналоговый преобразователь (8DAC-12). АЦП — 8-канальный 14-разрядный аналого-цифровой преобразователь (8ADC-14)

4. СВЕТОДИОДНАЯ СИСТЕМА $\Delta E-E$ -ДЕТЕКТОРА

Для мониторинга работы $\Delta E-E$ -детектора в конструкцию счетчика введена светодиодная импульсная система мониторинга работы детекторов на базе генератора ГСД-712. Светодиодный генератор ГСД-712 разработан в ЛФВЭ ОИЯИ. На рис. 4 представлены амплитуды сигналов ФЭУ-63, полученные с помощью светодиода и от космических мюонов соответственно. Можно видеть, что распределения амплитуд импульсов от светодиода и от минимально ионизирующей частицы близки по форме. Для каждого

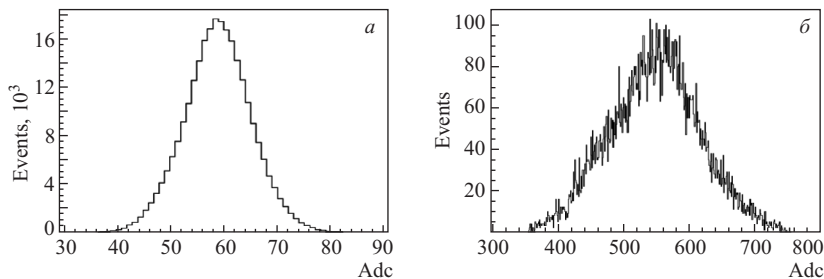


Рис. 4. Амплитуды сигнала ФЭУ-63, полученные с помощью светодиода (а) и от космических мюонов (б) соответственно

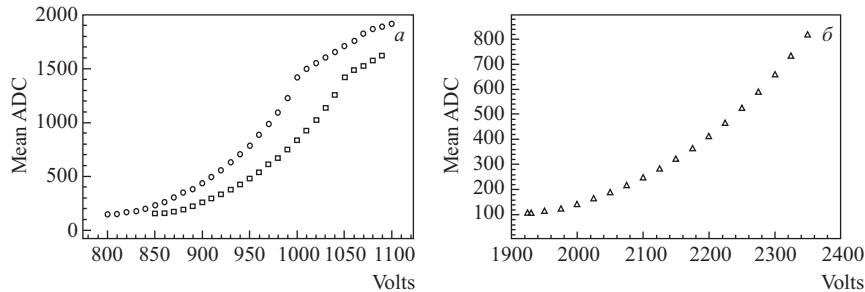


Рис. 5. Результаты, полученные на светодиодах: а) для двух ФЭУ-85; б) для ФЭУ-63

сцинтиллятора был использован индивидуальный светодиод, линза которого была сточена и отполирована для увеличения площади соприкосновения его со сцинтиллятором (рис. 1, в).

С помощью светодиодной системы были измерены вольт-амплитудные зависимости для ФЭУ-85 и ФЭУ-63 (рис. 5). Данные были получены при изменении напряжения с шагом 10 В для ФЭУ-85 и 25 В — для ФЭУ-63. Для каждой точки по напряжению полученные распределения амплитуды фитировались распределением Гаусса для определения наиболее вероятного значения амплитуды. На рис. 5, а видно, что при значениях напряжения выше 1000 В ФЭУ-85 работают в режиме насыщения. Во время набора данных на пучке дейтронов для ФЭУ используются напряжения ниже данного значения.

Разработанная светодиодная система эффективно использовалась для настройки и мониторинга стабильности работы $\Delta E-E$ -детектора во время набора данных.

5. ТЕСТИРОВАНИЕ ДЕТЕКТОРОВ $\Delta E-E$ НА КОСМИЧЕСКИХ МЮОНАХ

При тестировании на космических лучах $\Delta E-E$ -детектор был расположен вертикально. Снизу от него был установлен дополнительный детектор со сцинтиллятором цилиндрической формы, диаметр и высота которого составляли 100 и 20 мм соответственно. Для съема информации с данного сцинтиллятора был использован ФЭУ-85. Блок-схема установки для тестирования представлена на рис. 6.

Сформированные сигналы с двух ФЭУ-85 (один из которых является стартом для ВЦП) заведены на одну схему совпадений, сигнал с выхода которой поступает на вход триггерного модуля LT320D. Сигналы с ФЭУ-63 и дополнительного детектора также были заведены на вход схемы совпадений, сигнал с выхода которой поступал на второй триггерный вход модуля LT320D. Модуль LT320D позволяет управлять мажоритарной схемой совпадений в режиме on-line. Данный модуль разработан в ЛФВЭ ОИЯИ. Использование дополнительного детектора позволило полностью избавиться от мюонов, траектория которых проходила через боковую поверхность E -сцинтиллятора.

Амплитуды сигналов с ФЭУ-85, ФЭУ-63 и корреляция этих амплитуд, полученные на космических мюонах, представлены на рис. 7.

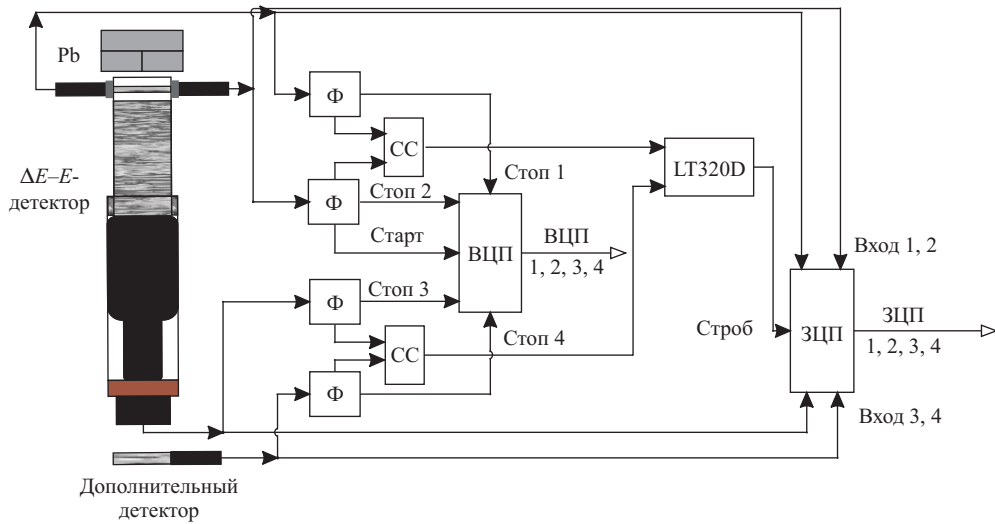


Рис. 6. Блок-схема установки для тестирования ΔE - E -детектора на космических мюонах: Ф — формирователь сигнала 4Ф-115; СС — схема совпадения 2СС-1511; ВЦП — четырехканальный ВЦП-369; ЗЦП — четырехканальный ЗЦП-397; LT320D — триггерный модуль

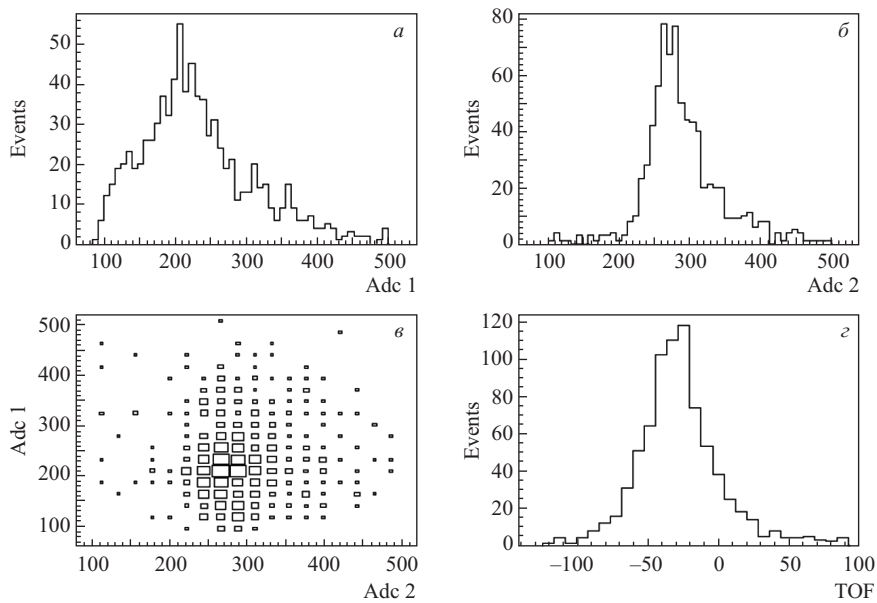


Рис. 7. Результаты тестирования ΔE - E -детектора на космических мюонах: а) амплитуда с одного из ФЭУ-85 ΔE - E -детектора; б) амплитуда с ФЭУ-63; в) корреляция этих двух амплитуд; г) разница времен прихода сигналов для ФЭУ-85 и ФЭУ-63

6. ТЕСТИРОВАНИЕ $\Delta E-E$ -ДЕТЕКТОРОВ НА ПУЧКЕ ДЕЙТРОНОВ

На рис. 8 представлена блок-схема установки для включения $\Delta E-E$ -детектора в экспериментах с пучками дейтронов.

В эксперименте использовали два $\Delta E-E$ -детектора, расположенных с внутренней и с внешней стороны ионопровода нуклотрона. В сеансе использовалась система сбора

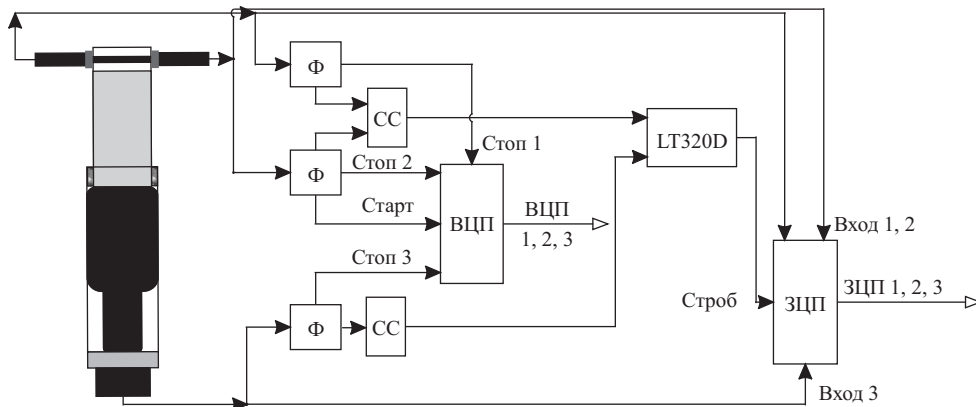


Рис. 8. Схема сбора информации в экспериментах с пучками дейтронов на нуклотроне с $\Delta E-E$ -детектора: Ф — формирователь сигнала 4Ф-115; СС — схема совпадения 2СС-1511; ВЦП — четырехканальный ВЦП-369; ЗЦП — четырехканальный ЗЦП-397; LT320D — триггерный модуль

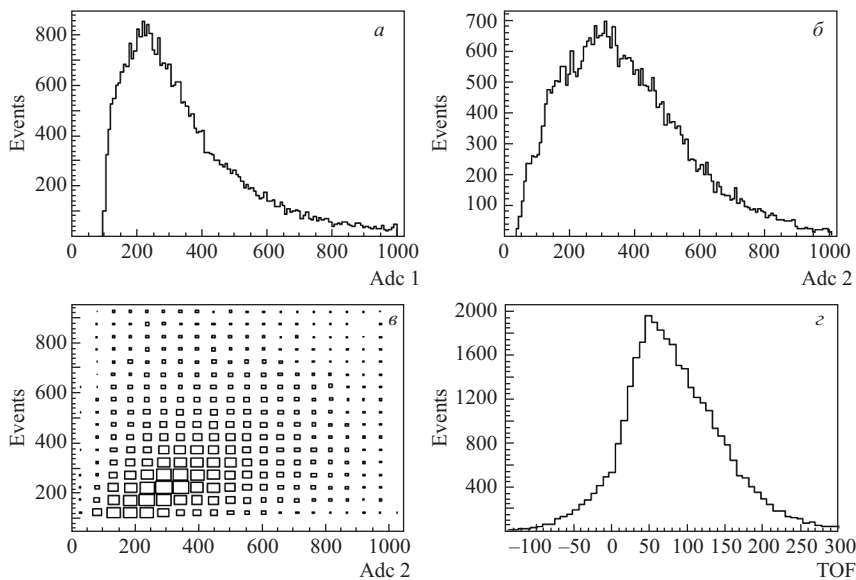


Рис. 9. Результаты тестирования $\Delta E-E$ -детектора на пучке дейтронов: а) амплитуда с одного из ФЭУ-85; б) амплитуда с ФЭУ-63; в) корреляция этих двух амплитуд; г) разница времен между ФЭУ-85 и ФЭУ-63

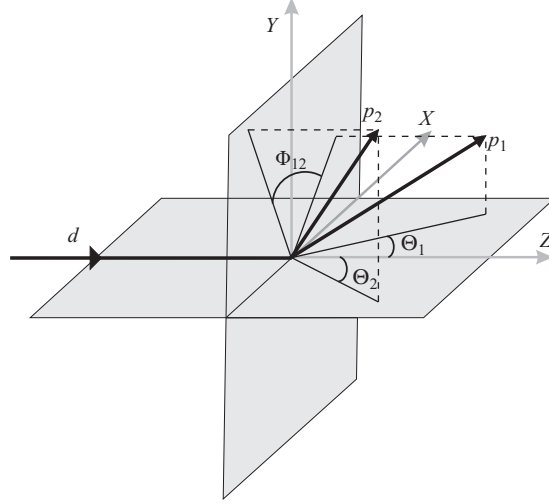


Рис. 10. Определение кинематических переменных для реакции развала дейтрона

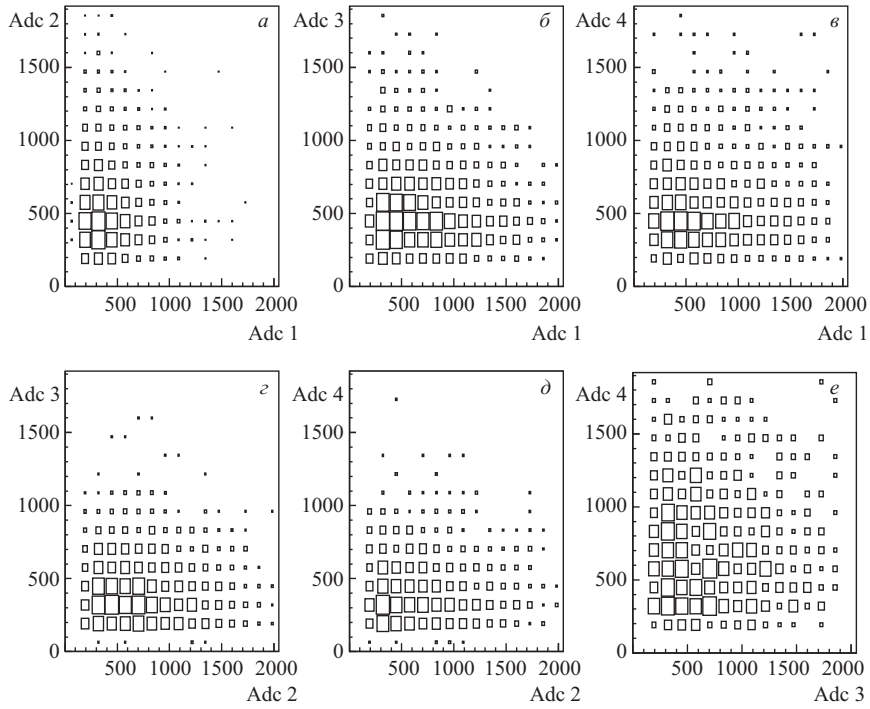


Рис. 11. Корреляция амплитуд E -детекторов для четырех различных кинематических конфигураций ΔE - E -детекторов. а) $\Theta_1 = 19^\circ$, $\Theta_2 = 28^\circ$, $\Phi_{12} = 180^\circ$; б) $\Theta_1 = 19^\circ$, $\Theta_2 = 41^\circ$, $\Phi_{12} = 35^\circ$; в) $\Theta_1 = 19^\circ$, $\Theta_2 = 55^\circ$, $\Phi_{12} = 142^\circ$; г) $\Theta_1 = 28^\circ$, $\Theta_2 = 41^\circ$, $\Phi_{12} = 145^\circ$; д) $\Theta_1 = 28^\circ$, $\Theta_2 = 55^\circ$, $\Phi_{12} = 38^\circ$; е) $\Theta_1 = 41^\circ$, $\Theta_2 = 55^\circ$, $\Phi_{12} = 107^\circ$

данных стандарта КАМАК, основанная на триггерном модуле LT320D [10]. Результаты тестирования $\Delta E-E$ -детекторов, полученные на внутренней мишени на пучке дейтронов с энергией 2 ГэВ, представлены на рис. 9.

В 40-м сеансе нуклотрона при импульсе дейтронов 3,5 ГэВ/с на углеродной мишени был проведен набор данных с использованием четырех $\Delta E-E$ -детекторов, расположенных под различными углами друг к другу.

Определение кинематических переменных для реакции развала дейтрона показано на рис. 10. Плоскость XZ — горизонтальная плоскость, в которой находится налетающий дейтрон. Плоскость XU перпендикулярна импульсу налетающего дейтрона. На данном рисунке не изображена траектория вылетающего нейтрона. Θ_1 и Θ_2 являются полярными углами двух протонов в продольной плоскости XZ , а Φ_{12} — угол между $P_{1\perp}$ и $P_{2\perp}$ в поперечной плоскости.

Набор данных осуществлялся с помощью системы сбора данных на базе VME-стандарта. Результаты по корреляциям амплитуд E -детекторов представлены на рис. 11. Наблюдаемая четкая корреляция всех четырех $\Delta E-E$ -детекторов различных кинематических конфигураций свидетельствует о их надежной работе.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработан и создан $\Delta E-E$ -детектор для изучения реакции развала дейтрона.

В конструкции $\Delta E-E$ -детектора использована система светодиодного мониторинга работы счетчика.

Выполнен ряд тестов $\Delta E-E$ -детекторов как на космических мюонах, так и на пучке дейтронов нуклотрона.

Продемонстрирована надежная работа детектирующей аппаратуры для эксперимента по изучению безмезонного развала дейтрона.

Работа была частично поддержана грантом для молодых ученых ОИЯИ и грантами РФФИ (№ 07-02-00102а и № 10-02-00087а).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Kistryn St. et al.* Systematic Study of Three-Nucleon Force Effects in the Cross Section of the Deuteron-Proton Breakup at 130 MeV // *Phys. Rev. C.* 2005. V. 72. P. 044006.
2. *Kuros-Zolnierczuk J. et al.* Three-Nucleon Force Effects in Nucleon Induced Deuteron Breakup. 1. Predictions of Current Models // *Phys. Rev. C.* 2002. V. 66. P. 024003.
3. *Цитович А. П.* Ядерная электроника. М.: Энергоатомиздат, 1984.
4. *Абрамов А. И., Казанский Ю. А., Матусевич Е. С.* Основы экспериментальных методов ядерной физики. М.: Энергоатомиздат, 1985.
5. *Басиладзе С. Г., Иванов В. И.* Питание ФЭУ для работы с частотой 100 МГц. Сообщение ОИЯИ 13-9172. Дубна, 1975.
6. *Атанасов И. Х., Русанов И. Р.* Источник высоковольтного напряжения для питания ФЭУ // Письма в ЭЧАЯ. 2000. № 3[100]. С. 62–67.
7. <http://hvsys.dubna.ru>

8. *Pilyar A. V.* Multichannel High Voltage System for the Detection System of LNS-Project // Proc. of XXII Intern. Symp. on Nuclear Electronics and Computing «NEC2009», Varna, Dubna, 2009. Dubna, 2010. P. 186–191.
9. <http://midas.psi.ch>
10. *Isupov A. Yu.* Upgrade of the DAQ Systems for the LHE Polarimeters to Support Vector-Tensor Polarimeter on the Nuclotron Internal Target // Czech. J. Phys. Suppl. 2006. V. C56. P. 385–392.

Получено 22 июня 2010 г.