

РАЗВИТИЕ ВРЕМЯ-ПРОЛЕТНОЙ СИСТЕМЫ
ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТОВ ПО ИССЛЕДОВАНИЮ
СТРУКТУРЫ ЛЕГКИХ ЯДЕР НА НУКЛОТРОНЕ-М

А.А. Терехин^{1,2)}, И.Е. Внуков¹⁾, В.П. Ладыгин¹⁾, С.М. Пиядин²⁾,
С.Г. Резников²⁾, А.Н. Хренов²⁾

¹⁾Белгородский государственный университет, Студенческая,14, Белгород, 308007, Россия

²⁾Объединенный институт ядерных исследований, Жолио-Кюри, 6, Дубна, 141980, Россия

Приведены результаты тестирования прототипа элемента сцинтилляционного годоскопа для время-пролетной системы DSS-проекта с радиоактивным источником и с космическими мюонами. Показано, что оптические, временные и амплитудные характеристики данного годоскопа удовлетворяют требованиям, предъявляемым к время-пролетной системе установки для изучения структуры легких ядер на выведенном пучке ускорителя Нуклотрон-М (ОИЯИ).

Ключевые слова: время-пролетная система, сцинтилляционный счетчик, ионизационные потери.

Введение. Главной целью DSS-проекта [1] является систематическое изучение поляризационных наблюдаемых в адронных реакциях с участием поляризованных дейтронов при промежуточных и высоких энергиях на ускорителе Нуклотрон-М (ОИЯИ). Одним из экспериментов является измерение дифференциального сечения, тензорной анализирующей способности T_{20} и коэффициента спиновой корреляции C_{yy} реакции ${}^3\text{He}(d,p){}^4\text{He}$ при кинетической энергии дейтрона $T = 1.0 - 2.0$ ГэВ с использованием поляризованного дейтронного пучка Нуклотрона-М и поляризованной ${}^3\text{He}$ мишени [2], разработанной в CNS (Япония). Эксперименты, выполненные в RIKEN при энергиях ниже 270 MeV, показали, что коэффициент корреляции

$$C_{||} = 1 - \frac{1}{2\sqrt{2}} T_{20} + \frac{3}{2} C_{y,y}$$

для реакции ${}^3\text{He}(d,p){}^4\text{He}$ является уникальным способом изучения поведения D-состояния в дейтроне [3]. Цель эксперимента состоит в том, чтобы получить данные по $C_{||}$ в области энергий, где вклад от D-состояния дейтрона достигает максимума в импульсном приближении и реализовать эксперимент по определению матричного элемента реакции ${}^3\text{He}(d,p){}^4\text{He}$ модельно независимым способом. Эти данные помогут понять спиновую структуру дейтрона на малых расстояниях и эффекты ненуклонных степеней свободы.

Ключевым моментом реализации данного эксперимента является надежная идентификация вторичных частиц, для чего будет использована техника измерения времени пролета. Импульс детектируемых частиц будет в диапазоне 1.5-2.5 ГэВ/с, поэтому для надежного разделения протонов и дейтронов при базе пролета 8-10 м требуется временное разрешение время-пролётной системы не больше 0.5 нс.

В рамках DSS-проекта изготовлен и протестирован прототип элемента годоскопа из сцинтилляционных счетчиков на базе ФЭУ-85 для время-пролётной системы установки на выведенном пучке ускорителя Нуклотрон-М (ОИЯИ).

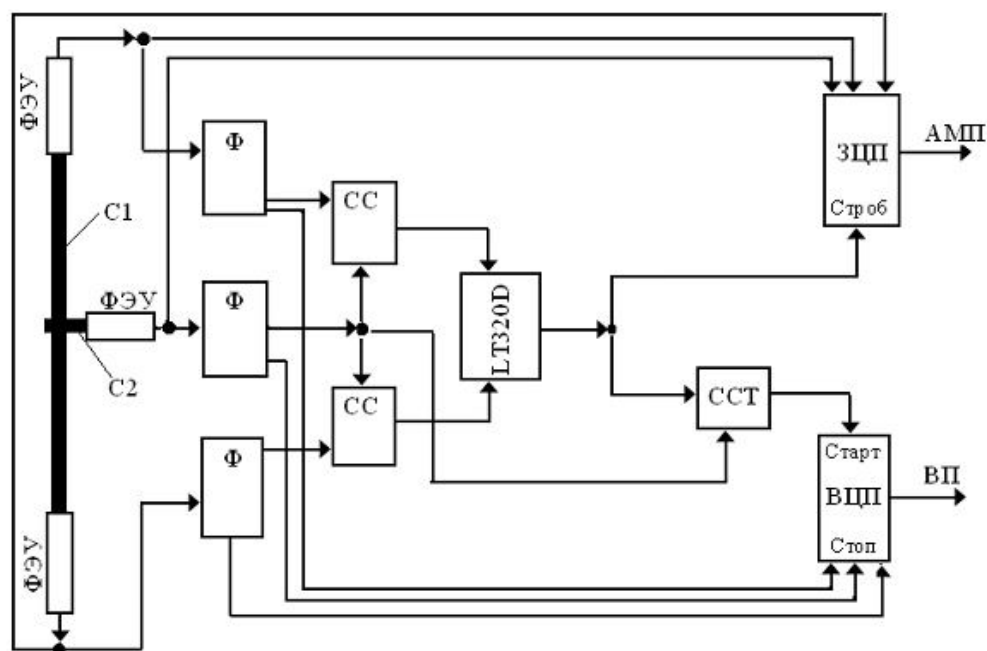


Рис. 1: Блок-схема экспериментальной установки для тестирования элемента годоскопа: С1, С2 – сцинтилляционные счетчики, Ф – формирователи с постоянным порогом (4Ф-115), СС – схемы совпадений (2СС-1511), ССТ – стробируемая схема совпадений, LT320D – логический триггерный модуль, ЗЦП – заряд-цифра-преобразователь (4ЗЦП-397), ВЦП – время-цифра-преобразователь (4ВЦП-397).

1. Стенд для изучения свойств элемента сцинтилляционного годоскопа

Время-пролётная система установки по изучению структуры легких ядер на выведенном пучке ускорителя Нуклотрон-М (ОИЯИ) будет включать в

себя сцинтилляционные счетчики со съёмом информации с помощью фотоумножителей XP2020 и годоскопической системы сцинтилляционных счетчиков на базе ФЭУ-85. С целью минимизации количества вещества предполагается, что толщина пластического сцинтиллятора для отдельного элемента годоскопа будет не более 4 мм. Длина пластического сцинтиллятора для счетчика должна быть в пределах 30-50 см. Поэтому важным моментом является изучение оптических свойств пластического сцинтиллятора, таких как длина затухания и скорость распространения света, а также временного и координатного разрешения детектора.

Для этой цели был создан стенд, схематический вид которого показан на рис.1. Изучаемый пластический сцинтиллятор [4] С1 размером 500x40x4 мм³ просматривался с двух сторон фотоумножителями ФЭУ-85 через световоды типа <рыба>, изготовленные из плексиглаза. Для измерения временных характеристик сцинтиллятора и организации триггера использовался дополнительный сцинтилляционный счетчик с размером пластического сцинтиллятора С2 40x40x4 мм³, просматриваемый через световод фотоумножителем ФЭУ-85. Заряженная частица, попадая в сцинтиллятор, за счет ионизационных потерь возбуждает световой сигнал, который собирается на фотокатоде ФЭУ-85. Полученные сигналы снимаются с анодов ФЭУ-85, разветвляются и через линии задержки поступают на формирователи с постоянным порогом (Ф), а также на входы заряд-цифра-преобразователя (ЗЦП). Сформированные сигналы со счетчиков С1 и С2 поступают на 2 схемы совпадений (СС). Схемы служат для организации совпадений между сигналами со счетчика С2 и сигналом с левого и правого концов счетчика С1 соответственно.

Логические сигналы со схем совпадений СС поступают на входы логического триггерного модуля LT320D, который вырабатывает сигнал управления системой сбора данных и стробирующие сигналы для ЗЦП и стробируемой схемы совпадений (ССТ). В качестве стартового сигнала для ВЦП используется сигнал со счетчика С2, простробированный триггерным сигналом для уменьшения фоновых срабатываний ВЦП. Для организации стенда были использованы стандартные модули, разработанные в ОИЯИ и выполненные в стандарте КАМАК: формирователи 4Ф-115, схемы совпадений 2СС-1511, триггерный логический модуль LT320D, преобразователи заряд-цифра 4ЗЦП-397 и время-цифра 4ВЦП-369.

Система сбора данных выполнена на базе крейт-контроллера ССРС5 в операционной системе FreeBSD [5]. Крейт-контроллер осуществляет управление логическим триггерным модулем LT320D и сбор информации с блоков ЗЦП

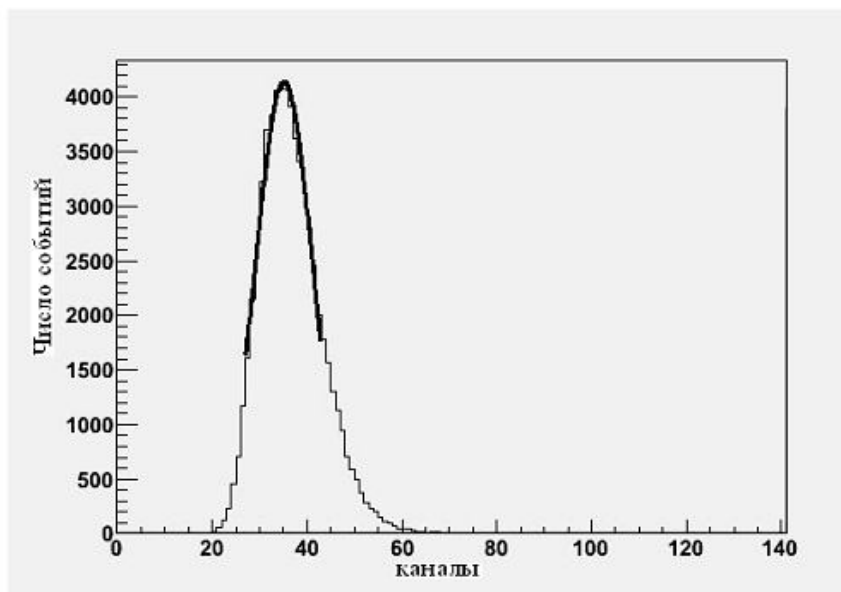


Рис. 2: Распределение амплитуды сигнала одного из ФЭУ. Линия – результат фитирования функции нормального распределения.

и ВЦП. Считанная информация записывается в файл в двоичном формате.

2. Анализ экспериментальных данных

Анализ полученных данных был выполнен с использованием пакета для обработки и представления экспериментальных данных ROOT [6]. Типичное распределение амплитуды сигналы с одного из ФЭУ представлены на рис.2.

Для распределений амплитуд сигнала для каждого ФЭУ вычислялось значение наиболее вероятной амплитуды, для чего выполнялось фитирование распределения функцией нормального распределения. Полученная величина использовалась в дальнейшем для оценки свойств прототипа элемента годоскопа.

Длина затухания в пластическом сцинтилляторе вычислялась следующим образом. Для различного расположения радиоактивного источника (^{106}Ru) вдоль пластического сцинтиллятора измерялось количество срабатываний ФЭУ, расположенных на левом и правом концах пластика. Зависимость числа срабатываний N от расстояния X между соответствующим краем пластического сцинтиллятора и положением радиоактивного источника аппроксимировалась функцией вида $N(X) = N_0 * \exp(-bX)$.

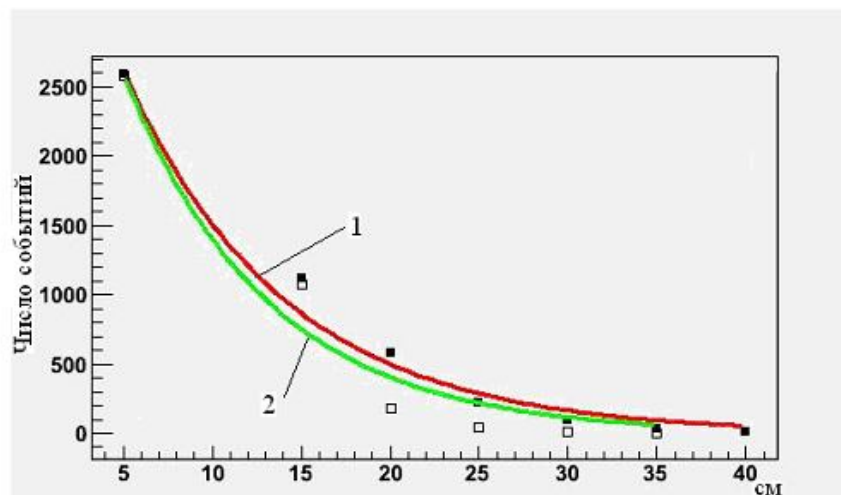


Рис. 3: Зависимость числа событий от расстояния между ФЭУ и радиоактивным источником, перемещаемым по сцинтилляционной пластине. Сплошными и открытыми квадратами обозначены данные, полученные левого и правого ФЭУ. Соответственно кривые 1 и 2 представляют собой аппроксимирующие функции.

Параметр фитирования b определяет длину затухания L как $L = 1/b$. По данным параметра b были получены значения $L_1 = 9.0498 \pm 0.0003$ см и $L_2 = 8.0841 \pm 0.0004$ см для левого и правого ФЭУ соответственно.

Аналогичный анализ был выполнен для космических мюонов. Полученные значения составляют $L_1 = 9.2 \pm 0.3$ см, $L_2 = 8.3 \pm 0.2$ см, что в пределах достигнутой точности совпадает со значениями, полученными для радиоактивного источника.

Оптическая однородность пластики определялась из анализа распределений по амплитудам сигнала для обоих ФЭУ. Для каждого положения центрального счетчика (радиоактивного источника) вычислялись максимумы распределения величин $f_1 = \frac{1}{2}(adc_1 + adc_2)$ и $f_2 = \sqrt{adc_1 * adc_2}$, где adc_1 и adc_2 – распределения амплитуд сигналов для правого и левого ФЭУ. Полученные данные аппроксимировались функцией вида $a + b * x$.

Из рис.4 видна приближенная независимость величин f_1 и f_2 от положения радиоактивного источника на протяжении всей длины сцинтилляционной пластины. Это свидетельствует об однородном распространении светового сигнала в пластине.

Значение средней скорости v распространения света в сцинтилляторе вычислялось следующим образом: для каждого положения радиоактивного ис-

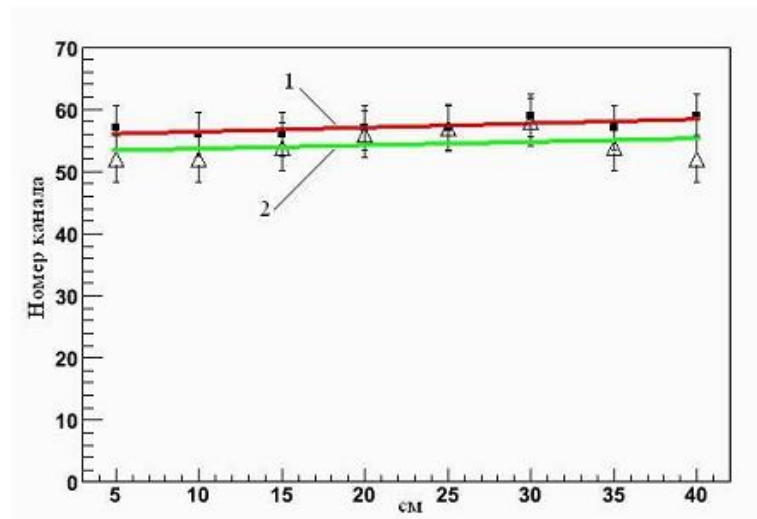


Рис. 4: Квадраты и треугольники соответствуют величинам f_1 и f_2 . Кривые 1 и 2 – результаты фитирования функцией вида $a + b * x$ для величин f_1 и f_2 соответственно.

точника вычислялась экспериментальная разница времен прихода сигнала на вход левого и правого ФЭУ. Полученная зависимость аппроксимировалась функцией вида $a + b * x$.

Скорость распространения светового сигнала v связана с параметром b формулой $v = 47C_{y,y} \text{ нс}/b$, откуда было получено значение $v = 9.1 \pm 0.3 \text{ см}/\text{нс}$. Эта величина совпадает со значением скорости распространения светового сигнала в сцинтилляторе, полученного на космических мюонах, которая составляет $v = 9.0 \pm 0.3 \text{ см}/\text{нс}$.

Временное разрешение определялось из анализа распределений tdc_1 , tdc_2 и $tdc_1 - tdc_2$. Из этих распределений были получены временные разрешения для левого и правого ФЭУ, а также для стартового счетчика, которые составляют соответственно $\sigma_1 = 183 \pm 23 \text{ пс}$, $\sigma_2 = 179 \pm 14 \text{ пс}$ и $\sigma_0 = 202 \pm 14 \text{ пс}$. Координатное разрешение составляет $\delta x = 1.1 \text{ см}$.

Заключение

Результаты исследований могут быть сформулированы следующим образом.

1. Изготовлен прототип элемента годоскопа сцинтилляционных счетчиков на базе ФЭУ-85 который является элементом время-пролётной системы для изучения структуры легких ядер.

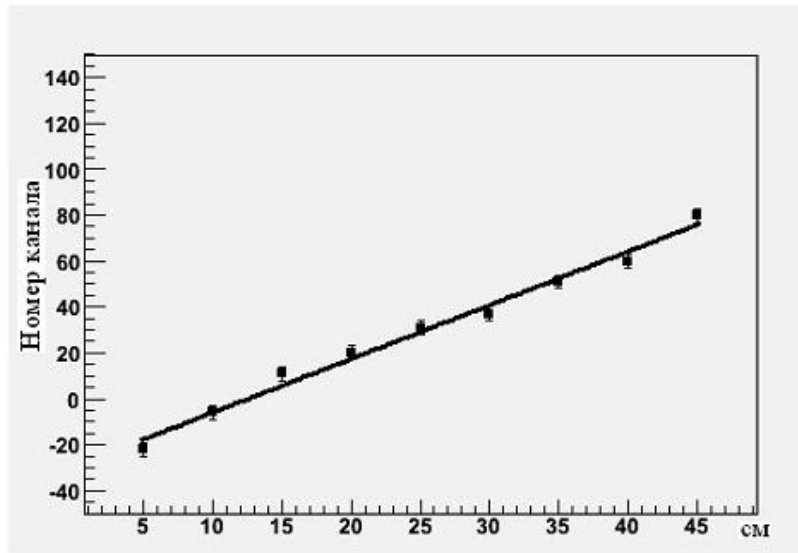


Рис. 5: Распределение значений $(tdc_1 - tdc_2)/2$ в зависимости от местоположения радиоактивного источника.

2. Исследованы свойства прототипа как с помощью радиоактивного источника, так и используя космические мюоны. Получены значения длины затухания и скорости распространения света в пластическом сцинтилляторе, предназначенном для изготовления годоскопа. Показана оптическая однородность используемого образца сцинтилляционной пластины. Получены величины временного и координатного разрешения элемента годоскопа.

3. Полученные оптические, временные и амплитудные характеристики прототипа элемента годоскопа удовлетворяют требованиям, предъявляемым к время-пролетной системе установки для изучения структуры легких на Ну-клотроне-М.

Следующим этапом будет изготовление годоскопа сцинтилляционных счетчиков на базе ФЭУ-85 с цифровым делителем напряжения [7].

Исследования частично поддержаны РФФИ (грант 07-02-00102а).

Литература

1. Ladygin V.P. et al., Relativistic Nuclear Physics and Quantum Chromodynamics // Proc. of the XIX Intern. Baldin Seminar on High Energy Physics Problems - Dubna: JINR, 2008. – XII;2. – P.67-72.
2. Uesaka T. et al. // Nucl.Instr.Meth. in Phys.Res.– 1998.– A402.– P.212.

3. Uesaka T. et al. // Phys.Lett. 2002. – B533.– P.1.
4. Аммосов В.В. // Препринт ОИЯИ Р13-88-779. – Дубна : ОИЯИ,1988.–7с.
5. Isupov A.Yu. // Czech.J.Phys.– 2005.– 55,A407.
6. [http:// root.cern.ru](http://root.cern.ru)
7. <http:// hvsys.dubna.ru>

**DEVELOPMENT OF THE TIME-OF-FLIGHT SYSTEM FOR
EXPERIMENTS ON THE STUDY OF THE LIGHT NUCLEI
STRUCTURE OF NUKLOTRON-M**

**A.A.Terekhin^{1,2)}, I.E.Vnukov¹⁾, V.P.Ladygin²⁾, S.M.Piyadin²⁾,
S.G. Reznikov²⁾, A.N.Hrenov²⁾**

¹⁾Belgorod State University, Studencheskaja St., 14, Belgorod, 308007, Russia e-mail: taa@uc.jinr.ru

²⁾Joint Institute of Nuclear Researches, Zholio-Kjuri St., 6, Dubna, 141980, Russia

The testing results of the scintillation hodoscope element prototype with radioactive source and cosmic muons are presented. It is demonstrated that optical, timing and amplitude parameters of the present hodoscope satisfy to requirements of the time-of-flight system of the setup on the extracted beam at accelerator Nuclotron-M (JINR) where the light nuclei structure are investigated.

Key words: time-of-flight system, scintillation hodoscope, ionizing losses.