



УДК 539.1.074.6, 539.1.074.3

## ГОДОСКОП СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫХ СЧЕТЧИКОВ ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТОВ НА ВЫВЕДЕННОМ ПУЧКЕ НУКЛОТРОНА ОИЯИ

\*\*\*А.А. Терехин, \*В.П. Ладыгин, \*\*И.Е. Внуков, \*\*С.М. Пиядин,  
\*\*С.Г. Резников, \*\*А.Н. Хренов

\*Белгородский государственный университет,  
ул. Студенческая, 14, Белгород, 308007, Россия, e-mail: [aterekhin@jinr.ru](mailto:aterekhin@jinr.ru)  
\*\*Объединенный институт ядерных исследований,  
ул. Жолио-Кюри, 6, Дубна, 141980, Россия

**Аннотация.** В статье представлено описание 8-канального годоскопа сцинтилляционных детекторов, предназначенного для эксперимента на выведенном пучке Нуклотрона ОИЯИ. Приведены результаты тестирования годоскопов на космических мюонах, радиоактивном источнике  $^{106}\text{Ru}$  и на выведенных пучках ядер дейтерия и углерода Нуклотрона.

**Ключевые слова:** годоскоп, сцинтилляционный детектор, радиоактивный источник, дейтерий.

### Введение

Создание годоскопов сцинтилляционных счетчиков является одним из этапов осуществления экспериментальной программы проекта Deuteron Spin Structure (DSS) [1], направленной на изучение поляризационных характеристик легких ядер. В частности, задачей этого проекта является проведение эксперимента по измерению дифференциального сечения, тензорной анализирующей способности  $T_{20}$  и коэффициента спиновой корреляции  $C_{y,y}$  реакции  $^3\text{He}(d,p)^4\text{He}$  с использованием поляризованного дейтронного пучка Нуклотрона и поляризованной  $^3\text{He}$  мишени [2], разработанной в CNS (Япония). Результаты экспериментов, выполненных в RIKEN при энергиях 140, 200 и 270 МэВ показали, что измерение коэффициента корреляции  $C_{//}$  в реакции  $^3\text{He}(d,p)^4\text{He}$  является уникальным способом изучения поведения D-состояния в дейтроне [3]. Цель эксперимента на Нуклотроне состоит в том, чтобы получить данные по  $C_{//}$  в области энергий дейтрона  $T = 1,0\text{-}2,0$  ГэВ, где вклад от D-состояния дейтрона достигает максимума. Эти данные помогут понять спиновую структуру дейтрона на малых относительных расстояниях между составляющими его нуклонами, а также вклад ненуклонных степеней свободы.

Неотъемлемой частью в реализации данного эксперимента является надежная идентификация вторичных частиц, для чего будет использована техника измерения времени пролета. Процесс идентификации вторичных частиц заключается в восстановлении массы детектируемых частиц по известным значениям импульса и времени пролета. Импульс детектируемых частиц будет в диапазоне 1,5-2,5 ГэВ/с.

В рамках DSS-проекта для триггерной и время-пролетной систем изготовлены и протестированы два годоскопа, каждый из которых состоит из восьми сцинтилляционных счетчиков на базе ФЭУ-85. В качестве предварительного этапа были исследованы свойства прототипа элемента годоскопа [4,5], получены амплитудные и временные характеристики используемого сцинтиллятора.

### 1. Годоскоп сцинтилляционных детекторов

Детектирующая система установки по изучению структуры легких ядер на выведенном пучке ускорителя Нуклотрон (ОИЯИ) будет включать в себя отклоняющий магнит, дрейфовые камеры и время-пролетную систему, состоящую из триггерных счетчиков и годоскопов сцинтилляционных счетчиков. Идентификация частиц будет осуществляться путем измерения их времени пролета.

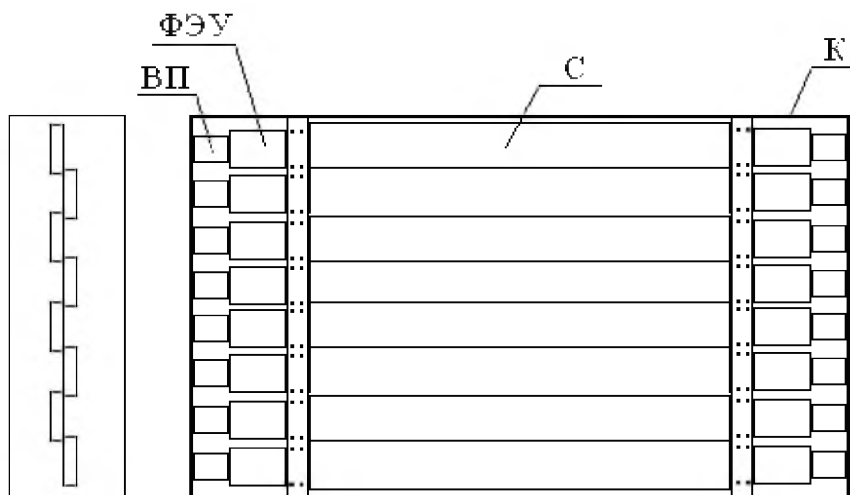


Рис. 1. Схематический вид сцинтилляционного годоскопа. Расположение сцинтилляционных пластин по пучку показано слева. Размещение элементов годоскопа в металлическом корпусе К показано справа. С – сцинтилляционная пластина, ФЭУ – фотоумножители, ВП – ячейки высоковольтного питания.

Каждый годоскоп (рис. 1) представляет собой набор из восьми отдельных счетчиков с размерами сцинтиллятора  $400 \times 40 \times 4 \text{ мм}^3$ , размещенных в металлическом корпусе. Сцинтиллятор плотно обернут слоем металлизированного майлара и черной светонепроницаемой бумагой для исключения попадания света, которое может привести к появлению фоновых событий. Каждый сцинтиллятор просматривается с обеих торцов фотоумножителями ФЭУ-85. Высоковольтное питание подается и управляется посредством системной шины через цифровые высоковольтные ячейки от источника HVSM 512 (High Voltage System system module) [6]. Элементы годоскопа расположены с перекрытием в 1 мм для уменьшения геометрической неэффективности детектора. Сигнальные кабели от всех ФЭУ заведены на вход 16-ти канального модуля время-цифровых преобразователей с амплитудной коррекцией и триггерной логикой (TQDC-16) [7]. Для сбора данных будет использоваться VME (VersaModule Eurocard) система.

Изготовлению годоскопов предшествовало исследование свойств используемого сцинтиллятора с помощью прототипа одного из элементов [5,6], которое заключалось в получении временных и амплитудных характеристик с использованием радиоактивного источника  $^{106}\text{Ru}$  и космических мюонов.

## 2. Результаты тестирования годоскопа на космических лучах и радиоактивном источнике $^{106}\text{Ru}$

При тестировании на космических лучах и радиоактивном источнике годоскопы располагались один над другим горизонтально под углом  $90^\circ$  друг относительно друга. На рис. 2 представлено распределение событий по элементам одного из годоскопов, на поверхности которого находился радиоактивный источник. По доле событий, приходящейся на каждый элемент, можно определить координатное положение источника. Перекрестное расположение годоскопов позволяет определить координатное положение пучка.

На рис. 3 представлено распределение событий по всей площади, перекрываемой годоскопами при тестировании на космических лучах. По краям годоскопа заметно снижение эффективности регистрации частиц, связанное с поглощением слабого светового сигнала в сцинтилляторе. Такое снижение эффективности характерно только для слабого мюонного сигнала, а для высокоэнергетических частиц при данной длине сцинтиллятора им можно пренебречь.

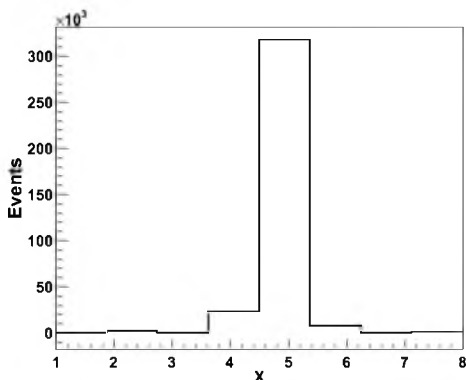


Рис. 2. Распределение числа событий в зависимости от номера элемента годоскопа при облучении радиоактивным источником  $^{106}\text{Ru}$ .

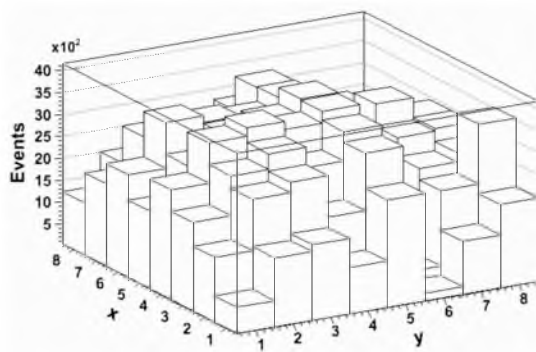


Рис. 3. Распределение событий в X-Y плоскостях при измерении на космическом излучении.

Из анализа временных распределений было получено значение эффективной скорости распространения света в сцинтилляторе. Зависимость разницы времен прихода сигнала от длины сцинтиллятора для одного счетчика в отдельности и для всей плоскости годоскопа показана на Рис. 4 и Рис.5 соответственно. Значение  $v_{eff}$  определялось из параметра наклона аппроксимирующей линии, как средне взвешенное по всем элементам для обоих годоскопов, и составило:  $v_{eff} = 4.0 \pm 0.2$  см/нс.

Временное разрешение элемента годоскопа  $\sigma \approx 1.7$  нс оценивалось с использованием стартового счетчика на базе ФЭУ XR2020.

#### 4. Результаты тестирования на выведенном пучке нуклотрона

Тестовые измерения проводились на выведенных пучках ядер углерода  $^{12}C$  с энергией 3.42 ГэВ/н и дейтерия с энергией 4 ГэВ/н. Ускоренные пучки выводились в зону 6В, расположенную на расстоянии 110 м от кольца Нуклотрона. Схема экспериментальной установки представлена на рис. 6. Она включает дуплет квадрупольных линз QL, обеспечивающих фокусировку пучка, отклоняющие магниты M1-M3, ионизационную камеру IC, триггерные счетчики S1 и S2 на базе ФЭУ XP 2020 и ФЭУ-87, два годоскопа сцинтилляционных детекторов H, повернутых относительно друг друга на  $90^\circ$ .

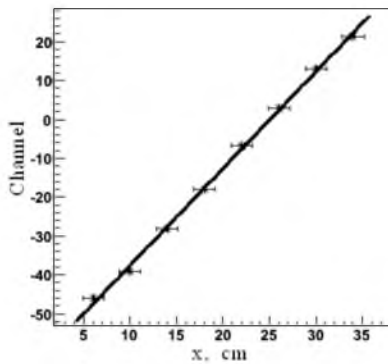


Рис. 4. Распределение разности времен прихода сигнала для отдельного элемента. Линия – результат аппроксимации данных функцией вида  $f(x) = a * x + b$ .

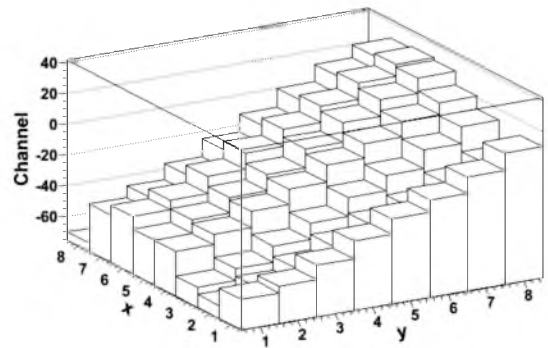


Рис. 5. Распределение разности времен прихода сигналов с обеих ФЭУ для каждого элемента одного из годоскопов.

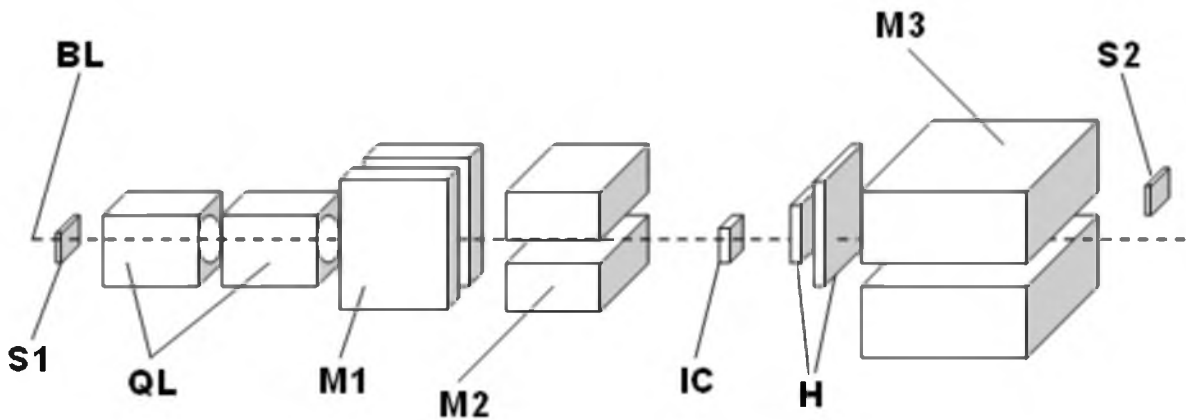


Рис. 6. BL – траектория пучка, S1-S2 – триггерные счетчики, QL – дуплет квадрупольных линз, M1-M3 – отклоняющие магниты, IC – ионизационная камера, H – сцинтилляционные годоскопы.

По корреляции амплитуд сигналов с каждого ФЭУ для отдельного счетчика годоскопа (Рис. 7) можно различить пучок ядер углерода  $^{12}C$  и фоновые однозарядные частицы. Фоновые события исключались путем наложения ограничительного условия

на величину восстановленной амплитуды. На Рис. 8 представлены координатные корреляции в горизонтальной (X) и вертикальной (Y) плоскостях для ядер углерода. Видно, что в Y-плоскости профиль пучка более широкий, чем в X-плоскости.

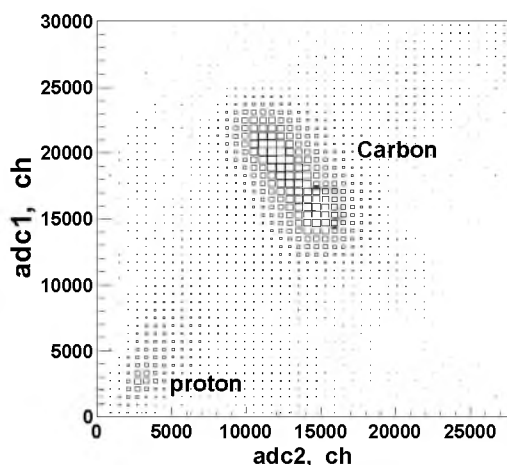


Рис. 7. Корреляция амплитуд для одного элемента сцинтилляционного годоскопа.

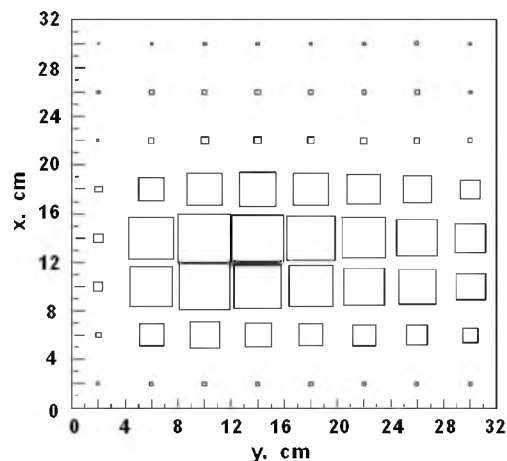


Рис. 8. Двумерный координатный профиль пучка ядер углерода  $^{12}\text{C}$ .

В ходе эксперимента были получены профили пучка  $^{12}\text{C}$  и однозарядных частиц в горизонтальной и вертикальной плоскостях (рис. 9). Открытые гистограммы соответствуют пучку ядер  $^{12}\text{C}$ , заполненные – однозарядным частицам.

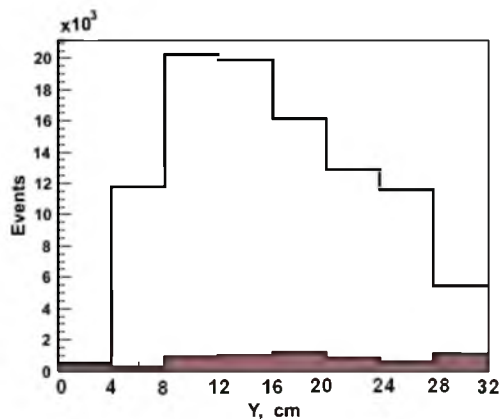
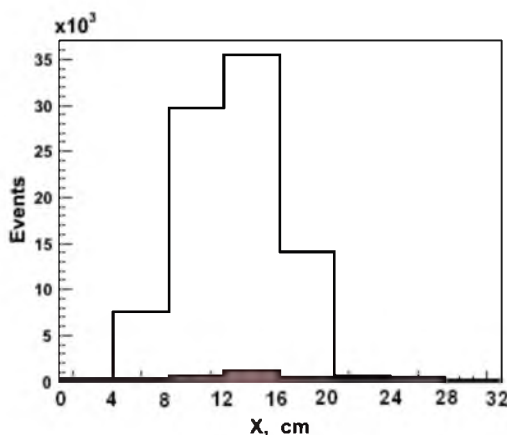


Рис. 9. Распределение углеродного пучка энергией 3.42 ГэВ/н в горизонтальной (слева) и вертикальной (справа) плоскостях. Открытые гистограммы соответствуют пучку ядер  $^{12}\text{C}$ , заполненные – однозарядным частицам.

Из анализа временных распределений была определена скорость распространения светового сигнала в сцинтилляторе, которая составляет  $v_{eff} = 4.1 \pm 0.3$  см/нс, что хорошо совпадает с результатами, полученными на космических лучах. Для определения величины  $v_{eff}$  использовались счетчики, на которые приходилась основная часть пучка.



Включение квадрупольных линз при тестировании годоскопов на пучке дейтронов позволило существенно улучшить поперечные размеры пучка (рис. 10). На рис. 11 представлена корреляция амплитуд для одного из детекторов годоскопа. Положение корреляционного пятна соответствует положению пучка однозарядных частиц в случае измерений на пучке углерода  $^{12}\text{C}$ . Пространственное распределение пучка в горизонтальном и вертикальном направлениях показано на рис. 12.

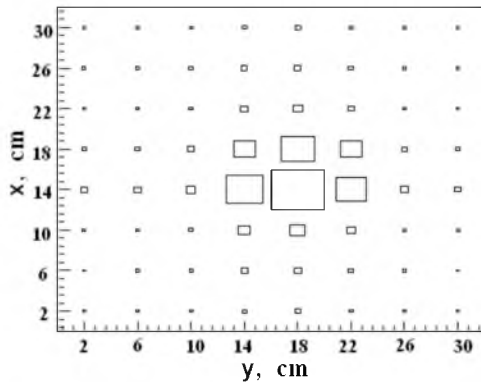


Рис. 10. Двумерный координатный профиль пучка дейтронов.

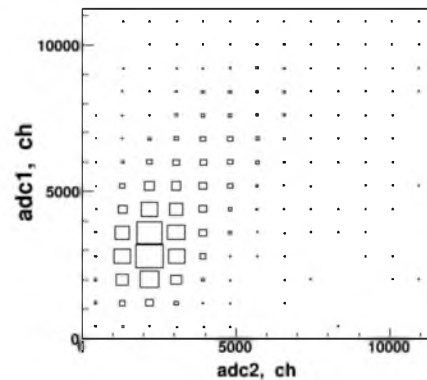


Рис. 11. Корреляция амплитуд для одного элемента сцинтиляционного годоскопа для пучка дейтронов.

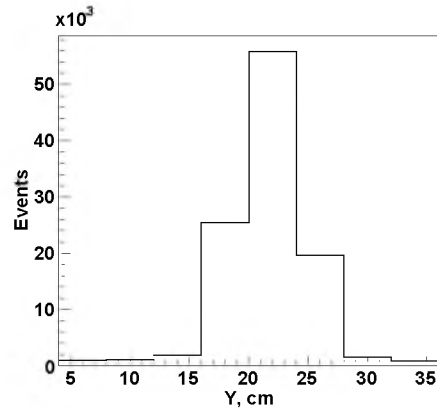
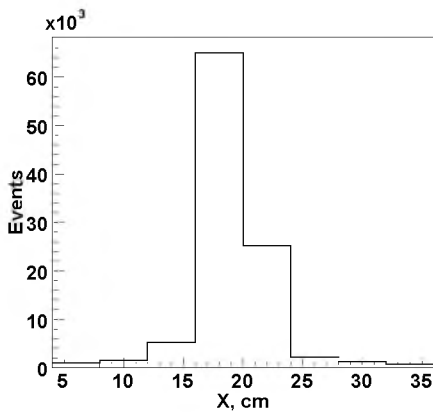


Рис. 12. Распределение дейтронного пучка энергией 1 ГэВ/н в горизонтальной (слева) и вертикальной (справа) плоскостях.

## 5. Заключение

Изготовлены два 8-ми канальных годоскопа сцинтиляционных счетчиков для эксперимента по исследованию структуры легких ядер на выведенном пучке Нуклотрона.

Получены результаты тестирования годоскопов с помощью радиоактивного источника, космических мюонов. Проведены измерения на экспериментальной установке в зоне 6В корпуса 205 ЛФВЭ ОИЯИ по настройке канала вывода пучков ядер углерода и дейтронов с включением годоскопов в триггерную систему.



Авторы выражают благодарность Рукояткину П.А., Исупову А.Ю., Курилкину П.К., Курилкину А.К., Гурчину Ю.В., Васильеву Т.А. за совместную работу по подготовке и проведению эксперимента.

Работа поддержана грантом для молодых ученых БелГУ и грантом РФФИ №10-02-00087а

### Литература

1. Ladygin V.P. et al. Short-range correlation studies in collisions of polarized nuclei at Nuclotron-M / EPJ Web of Conferences. 2010. Vol. 3. 04004.
2. Uesaka T. et al. // Nucl.Instr.Meth. in Phys.Res. A. – 1998. – 402. – P.212.
3. Uesaka T. et al. // Phys.Lett.B. – 2002. – 533. – P.1.
4. Терехин А.А., Внуков И.Е. и др. Развитие время-пролетной системы для экспериментов по исследованию структуры легких ядер на Нуклотроне-М // Научные ведомости БелГУ, Сер. Математика. Физика. – 2009. – 1. – С.124-131.
5. Терехин А.А. и др. Время-пролетная система для экспериментов по исследованию структуры легких ядер на Нуклотроне-М / XIV конференция молодых ученых и специалистов, Дубна, ОИЯИ, (Февраль,1-6, 2010) / С.159-162.
6. <http://sunhe.jinr.ru/struct/trd/hv.html> // <http://www.hvsys.dubna.ru>
7. <http://ccpc4.jinr.ru/tqdc-16/>, <http://afi.jinr.ru/TQDC-16>

### HODOSCOPE OF SCINTILLATOR COUNTERS FOR EXPERIMENTS WITH EXTRACTED BEAM OF NUCLOTRON JINR

\*\*\* A.A. Terekhin, \*V.P. Ladygin, \*\*I.E. Vnukov, \*\*S.M. Piyadin,  
\*\*S.G. Reznikov, \*\*A.N. Hrenov

\*Belgorod State University,  
Studencheskaya St., 14, Belgorod, 308007, Russia, e-mail: [aterekhin@jinr.ru](mailto:aterekhin@jinr.ru)

\*\*Joint Institute of Nuclear Researches,  
Zholio-Kjuri St., 6, Dubna, 141980, Russia

**Abstract.** The 8-channel hodoscope for experiments at the extracted beam at Nuclotron JINR is presented. Testing results using cosmic muons,  $^{106}\text{Ru}$  radioactive source and extracted deuteron and carbon beams at Nuclotron are given.

**Key words:** hodoscope, scintillator counter, radioactive source, deuteron.