

УВЕЛИЧЕНИЕ СВЕТОСБОРА СО СЦИНТИЛЯЦИОННОГО СТРИПА ПРИ ЗАПОЛНЕНИИ ОТВЕРСТИЯ ДЛЯ СПЕКТРОСМЕЩАЮЩЕГО ВОЛОКНА НАПОЛНИТЕЛЯМИ РАЗНОГО ТИПА

*А. М. Артиков^{а,б}, В. Ю. Баранов^а, Ю. А. Будагов^а, В. В. Глаголев^а,
Ю. И. Давыдов^а, В. И. Коломоец^а, А. В. Симоненко^{а,1},
В. В. Терещенко^а, Ю. Н. Харжеев^а, Д. Чохели^{а,б}, А. Н. Шалюгин^а*

^а Объединенный институт ядерных исследований, Дубна

^б Ядерно-физическая лаборатория Самаркандского государственного университета,
Самарканд, Узбекистан

^с Институт физики высоких энергий Тбилисского государственного университета, Тбилиси

Измерен светосбор образцов экструдированных сцинтиляционных стрипов с помощью спектросмещающего волокна, размещенного в продольном отверстии внутри пластин. Отверстия заполнялись различными жидкими наполнителями. Измерения проведены при облучении космическими мюонами. Разработан и успешно испытан метод закачки жидкого наполнителя вязкостью более 10 Па·с в отверстие стрипа после размещения в нем спектросмещающего волокна.

The light collection of the extruded scintillator strip samples with WLS fibers placed in the longitudinal hole in the plates has been measured. The holes were filled with various liquid fillers. Measurements were carried out under irradiation by cosmic muons. The method of pumping liquid filler with viscosity more than 10 Pa·s in the strip's hole with WLS fiber inside was designed and successfully tested.

PACS: 29.40.Mc

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время детекторы на основе экструдированных пластмассовых сцинтиляторов являются неотъемлемой частью большинства физических экспериментов в физике элементарных частиц. Одним из их преимуществ является малое время нарастания сигнала τ_{rise} , равное нескольким наносекундам. Еще одно немаловажное обстоятельство — это относительно низкая стоимость материала. Такие сцинтиляторы изготавливаются, как правило, в виде длинномерных (до нескольких метров) пластин различного сечения [1, 2]. Съём света обычно происходит с помощью спектросмещающих волокон

¹E-mail: simonenko-av@yandex.ru, simonenko@jinr.ru

Таблица 1. Характеристики наполнителей, использованных в данной работе

Параметр	Наполнитель			
	Дистиллированная вода	Водный раствор глицерина	УФ-клей «Спектр-К-59-ЭН»	Каучук низкомолекулярный «СКТН-МЕД» марки Е
Показатель преломления (20 °С)	1,333	1,388	1,460	1,606
Динамическая вязкость, мПа·с	1	20	20	10 000
Примечание		43 %-й раствор		Использовалась одна компонента без отвердителя

(WLS), которые поглощают свет, излучаемый материалом сцинтиллятора, и переизлучают его в диапазоне, близком к максимуму спектральной чувствительности фотоприемника. Часто WLS-волокна фиксируются с помощью оптического клея на одной из граней по всей длине сцинтиллятора [3].

Однако более технологичным решением для размещения волокон является создание экструдированных сцинтилляторов с отверстиями, проходящими внутри сцинтиллятора по всей его длине [4, 5]. Обычно диаметр отверстия в 2–3 раза превышает диаметр волокна. В таких сцинтилляторах WLS-волокна вставляются в отверстия и свет из сцинтиллятора захватывается ими через воздушный зазор.

При использовании достаточно длинных сцинтилляционных стрипов с WLS-волокнами, вставленными в отверстия, может оказаться недостаточным количество света, поступающего на фотоприемник. Вклеивание волокон внутри отверстий может увеличить светосбор [4]. Однако высокая вязкость и ограниченное время использования двухкомпонентного клея делают задачу заполнения отверстий трудно выполнимой. Решением в такой ситуации может быть заполнение отверстий сцинтилляторов подходящими жидкостями с низкой вязкостью или использование оптических клеев без отвердителя, что снимает условие по времени (скорости) закачки. В данной работе мы представляем результаты тестов с различными наполнителями. Были выбраны четыре вида наполнителей: дистиллированная вода, водный раствор глицерина, УФ-клей сверхнизкой вязкости «Спектр-К-59-ЭН» [6] и каучук низкомолекулярный «СКТН-МЕД» марки Е [7]. Их характеристики приведены в табл. 1. Следует отметить, что на данном этапе исследований выбор наполнителей производился без учета их радиационной стойкости и возможных химических воздействий на сцинтиллятор.

ПРИБОРЫ И МАТЕРИАЛЫ

Тесты проводились с образцами сцинтилляционных стрипов треугольного сечения (база 33 мм, высота 17 мм) длиной 50 см, с продольными отверстиями диаметром 2,6 мм, произведенными в ИСМА (Харьков, Украина). Стрипы изготовлены методом экструзии из полистирола с добавками 2 % РТР и 0,03 % РОРОР с одновременным покрытием све-



Рис. 1. Образцы сцинтилляционных стрипов

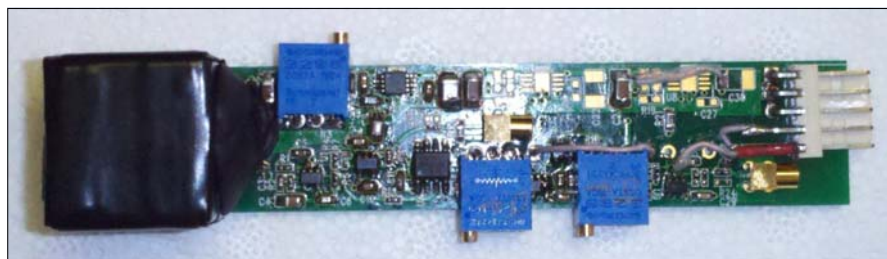


Рис. 2. Триггерный счетчик на основе SiPM SensL

тоотражающим слоем оксида титана (TiO_2). Торцы образцов были отшлифованы и покрыты слоем зеркального майлара. Использовалось двухоболочечное спектросмещающее волокно «Kugaгау Y11 (200)» [8] диаметром 1,2 мм, которое фиксировалось в отверстии с двух концов сцинтиллятора при помощи клея. Для закачки наполнителей на поверхности (базе) стрипов были изготовлены отверстия с резьбой и пластиковые заглушки к ним (рис. 1).

В качестве фотоприемника использовался ФЭУ ЕМІ 9814В с диаметром фотокатода 51 мм. Триггерные счетчики выполнены на основе SiPM SensL размером 3×3 мм со сцинтиллятором размерами $20 \times 20 \times 20$ мм (рис. 2). Данные счетчики имеют выходные сигналы в аналоговом и цифровом форматах.

УСЛОВИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА

Измерения проводились путем сравнения светосбора с одних и тех же стрипов «всухую» (без наполнителя) и наполненных определенной жидкостью при прохождении через них космических мюонов. Свет собирался только с волокна, имеющего оптический контакт с окном ФЭУ через оптическую смазку. В качестве триггера космических мюонов использовались две пары счетчиков, т. е. спектры набирались в двух точках одновременно

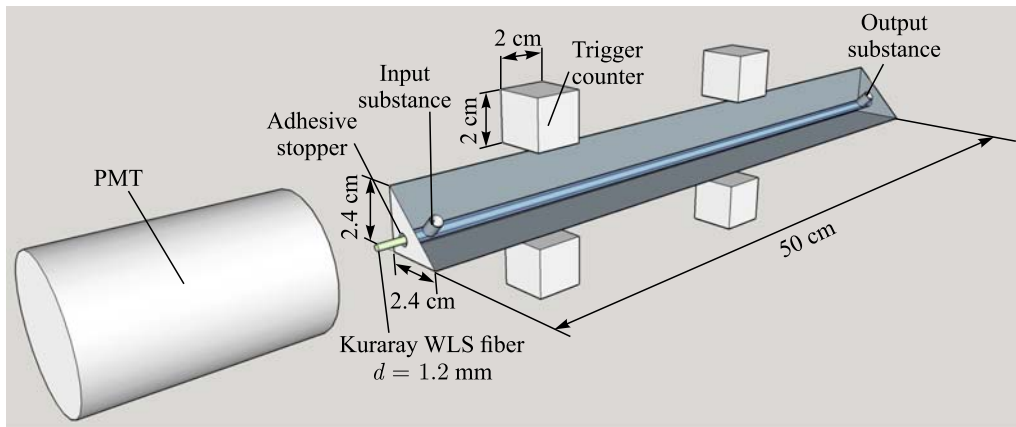


Рис. 3. Схема расположения элементов

(рис. 3). Сцинтилляторы триггерных счетчиков юстировались по центру поперек стрипа, перекрывая таким образом площадь 20×20 мм исследуемого стрипа. Наполнители закачивались в отверстия двумя способами: жидкие (вода, глицерин и УФ-клеи) — вручную, с помощью шприца; вязкий каучук — с использованием компрессора и дозатора давления (см. далее).

Для определения количества собираемого света в фотоэлектронах использовался метод абсолютной калибровки [9]. Так как пробег космических мюонов в веществе сцинтиллятора сильно различается (от 4 мм до размера катета 24 мм для нормально падающих мюонов) ввиду треугольного сечения, спектр сигналов шире, чем в случае стрипа прямоугольного сечения (рис. 4).

Система сбора данных (рис. 5) была реализована следующим образом. Сигналы от двух пар триггерных счетчиков после прохождения компаратора и попарно схемы совпадения суммировались и подавались на вход генератора ворот. Тот в свою очередь генерировал сигнал с определенной длительностью (строб-импульс) на вход зарядово-цифрового

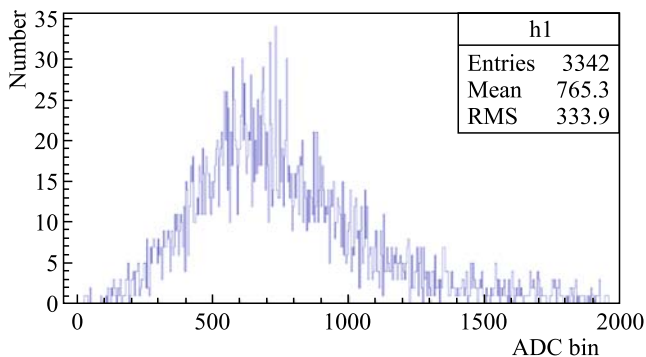


Рис. 4. Типичный спектр космических мюонов для сцинтилляционного стрипа треугольного сечения

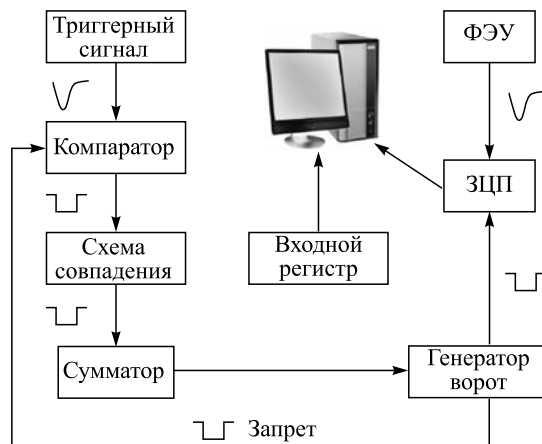


Рис. 5. Система сбора данных

преобразователя (ЗЦП LeCroy 2249W), тем самым запуская процесс обработки сигнала, поступающего с основного ФЭУ. Одновременно генерировался запрет на поступление очередных сигналов. Оцифрованные сигналы с ЗЦП считывались ЭВМ, входной регистр указывал сработавшую пару триггерных счетчиков.

МЕТОДЫ ЗАКАЧКИ НАПОЛНИТЕЛЕЙ

Как было сказано выше, для закачки воды, глицерина и УФ-клея в образец сцинтилляционного стрипа мы использовали обычный шприц и прозрачную трубочку. Шприц подсоединяли к первому отверстию, а трубочку вставляли во второе отверстие и выдавливали содержимое до тех пор, пока жидкость не начинала вытекать из трубочки. Процесс продолжали, пока не выйдут все пузырьки воздуха. В конце в отверстия закручивали пластиковые заглушки.

В случае вязкого каучука использовался коммерческий компрессор для подачи воздуха к дозатору фирмы «Fisnar» [10] и далее в сосуд с жидким каучуком. Опытным путем было подобрано избыточное давление в дозаторе в 0,2 атм. Каучук под воздействием такого малого постоянного давления медленно выдавливался в трубочку, соединенную с отверстием сцинтилляционного стрипа. На заполнение отверстия стрипа длиной 50 см уходило 30 мин. Нами были проведены предварительные опыты с образцами стрипов без слоя TiO_2 . Результаты показали хорошее заполнение отверстия с отсутствием пузырьков воздуха. Герметизацию отверстий после закачки каучука проводили путем закапывания малого количества отвердителя в оба отверстия.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Итоговые результаты повышения светосбора по каждому наполнителю представлены в табл. 2. Измерения проводились в четырех фиксированных позициях, 13, 23, 33 и 43 см от плоскости окна ФЭУ. Для каждой позиции набирался спектр сигналов и определялось среднее значение фотоэлектронов методом абсолютной калибровки. Резуль-

Таблица 2. Суммарное увеличение светосбора по каждому наполнителю

Параметр	Наполнитель			
	Дистиллированная вода	Водный раствор глицерина	Каучук СКТН	УФ-клей «Спектр»
Увеличение светосбора, %	38 ± 6	43 ± 6	50 ± 5	36 ± 6

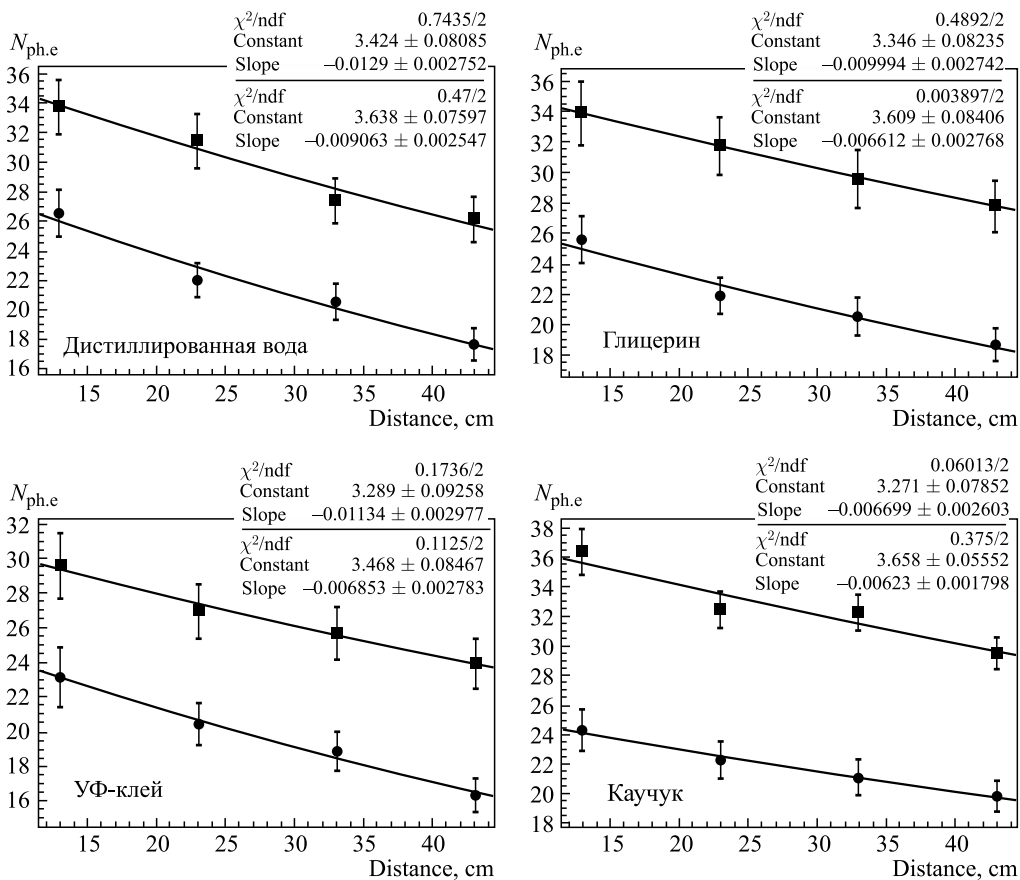


Рис. 6. Светосбор со стрипов для различных вариантов наполнителя. Кружки — без наполнителя; квадраты — с наполнителем

таты измерений представлены на рис. 6. Полученные данные фитировались функцией $f(x) = \exp(p_0 + p_1x)$.

Данные без наполнителя обозначены кружками, данные с соответствующим наполнителем — квадратами. Очередность графиков представлена следующим образом (слева направо, сверху вниз): дистиллированная вода, водный раствор глицерина, УФ-клей и низкомолекулярный каучук.

В результате все четыре жидкости дали увеличение светосбора в интервале 36–50 % по сравнению со стрипом без наполнения. Наибольшее увеличение светосбора продемонстрировал каучук низкомолекулярный «СКТН-МЕД» марки Е (кружки).

ИТОГИ

Протестированы образцы экструдированных сцинтилляционных стрипов с продольными отверстиями и вставленными внутрь WLS-волоконками на предмет увеличения светосбора при использовании различных оптических наполнителей.

Были исследованы четыре вида наполнителей: дистиллированная вода, водный раствор глицерина, УФ-клей сверхнизкой вязкости «Спектр-К-59-ЭН» и каучук низкомолекулярный «СКТН-МЕД» марки Е.

Разработан и испытан метод закачки наполнителя вязкостью более 10 Па·с в отверстия стрипов диаметром 2,6 мм после размещения в них спектросмещающих волокон диаметром 1,2 мм. Время заполнения составило 30 мин для образца стрипа длиной 50 см.

Заполнение отверстий в сцинтилляционных стрипах оптическими жидкостями с низкой вязкостью, а также вязкими клеями без добавления отвердителя (например, в случае с каучуком «СКТН-МЕД» марки Е) с целью увеличения световыхода является хорошей альтернативой вклеиванию волокон, которое особенно проблематично для длинных сцинтилляционных стрипов.

Показано, что применение различных жидких наполнителей между поверхностью WLS-волокна и материалом сцинтиллятора дает увеличение световыхода в интервале 36–50 % по сравнению с образцами, использующими воздушный зазор.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Thevenin J. C. et al.* Extruded Polystyrene, a New Scintillator // *Nucl. Instr. Meth.* 1980. V. 169. P. 53–56.
2. *Ананьев В. К. и др.* Новый экструдированный сцинтиллятор из технического полистирола // ПТЭ. 1999. Т. 1. С. 52–56.
3. *Kudenko Yu. G. et al.* Extruded Plastic Counters with WLS Fiber Readout // *Nucl. Instr. Meth. A.* 2001. V. 469. P. 340–346.
4. *Pla-Dalmau A., Bross A. D., Mellott K. L.* Low Cost Extruded Plastic Scintillator // *Ibid.* V. 466. P. 482–491.
5. *Aliaga L. et al.* Design, Calibration, and Performance of the MINERvA Detector // *Nucl. Instr. Meth. A.* 2014. V. 743. P. 130–159.
6. Научно-исследовательская производственная группа «СПЕКТР», Нижний Новгород, Россия. <http://www.nipg.ru>.
7. Научно-производственное предприятие «СУРЕЛ», Санкт-Петербург, Россия. <http://www.surel.ru>.
8. Kuraray Corp, 3-10, Nihonashi, 2 chrome, Chou-Ku, Tokio, Japan.
9. *Bellamy E. T. et al.* Absolute Calibration and Monitoring of a Spectrometric Channel Using a Photomultiplier // *Nucl. Instr. Meth. A.* 1994. V. 339. P. 468–476.
10. Fisnar Inc. 19C Chapin Rd., Suite 307, Pine Brook, NJ 07058, USA. <http://www.fisnar.com>.