

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ МЮОННОГО ДЕТЕКТОРА ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТА SHiP НА ПУЧКЕ В ЦЕРН

В. Л. Лихачева^{1,2,*}, *Ю. Г. Куденко*^{1,2,3}, *А. В. Мефодьев*^{1,3},
*О. В. Минеев*¹, *А. Н. Хотянецв*¹

¹ Институт ядерных исследований Российской академии наук, Москва

² Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Москва

³ Московский физико-технический институт (государственный университет), Москва

Сцинтилляционные детекторы на основе экструдированных пластиков тестировались в ЦЕРН на пучке заряженных частиц с импульсом 10 ГэВ/с. Считывание сцинтилляционных сигналов реализовано с помощью оптических спектросмещающих волокон Kuraray Y11 и микропиксельных лавинных фотодиодов Hamamatsu MPPC. Световыход сканировался вдоль и поперек детекторов. Временное разрешение определялось фитированием фронта нарастания оцифрованных импульсов от MPPC и другими методами.

Long extruded scintillator detectors were tested on a 10 GeV/c beam at CERN. End readout was provided with 1-mm double-clad WLS Y11 Kuraray fibers and Hamamatsu MPPC photosensors. The light yield was scanned along and across the bars. Time resolution was obtained by different methods in analyzing the rise time of digitized MPPC pulses.

PACS: 29.40.Mc; 95.55.Vj

ВВЕДЕНИЕ

Для поиска трех новых фундаментальных фермионов, так называемых массивных майорановских нейтрино, предложен эксперимент SHiP [1] в ЦЕРН. Такие нейтрино являются кандидатами для темной материи и позволяют придать массу обычным нейтрино, не нарушая положений Стандартной модели. Также майорановские нейтрино позволяют понять механизм нарушения симметрии между материей и антиматерией. Массы этих частиц ожидаются в широком диапазоне от 0,5 до 100 ГэВ [2].

*E-mail: likhacheva@inr.ru

Эксперимент SHiP предполагается провести на ускорителе SPS (ЦЕРН) с пучком протонов с энергией 400 ГэВ и интенсивностью $4 \cdot 10^{13}$. Установка будет иметь форму цилиндра длиной примерно 50 м и диаметром 5 м. Пучок протонов, падая на вольфрамовую мишень, рождает D -мезоны, в распадах которых на лету впоследствии образуются майорановские нейтрино, распадающиеся в свою очередь на другие частицы. Задача эксперимента состоит в идентификации частиц, на которые распалось тяжелое нейтрино, и определении их параметров с целью восстановления массы исходной частицы.

Для идентификации мюонов используется мюонный детектор, состоящий из четырех последовательных станций, которые представляют собой чередующиеся активные элементы и пассивное железо с общим поперечным размером 6×12 м. В качестве активных элементов предложено использовать пластмассовые сцинтилляционные пластины длиной до 3 м с системой считывания сигнала на основе спектросмещающих волокон и мультипиксельных фотодиодов. Ширина отдельных пластин должна быть оптимизирована в пределах от 3 до 10 см. Детекторы должны обладать высокой эффективностью регистрации мюонов и временным разрешением лучше 1 нс.

В данной работе представлены результаты, полученные при тестировании на пучке прототипов сцинтилляционных счетчиков для мюонного детектора SHiP.

РЕЗУЛЬТАТЫ ТЕСТОВ

Пластины длиной 3 м, толщиной 7 мм и шириной 3, 5 и 10 см (рис. 1) были изготовлены методом экструзии оптического полистирола с добавлением сцинтиллирующих допантов фирмой «Унипласт» во Владимире [3, 4].

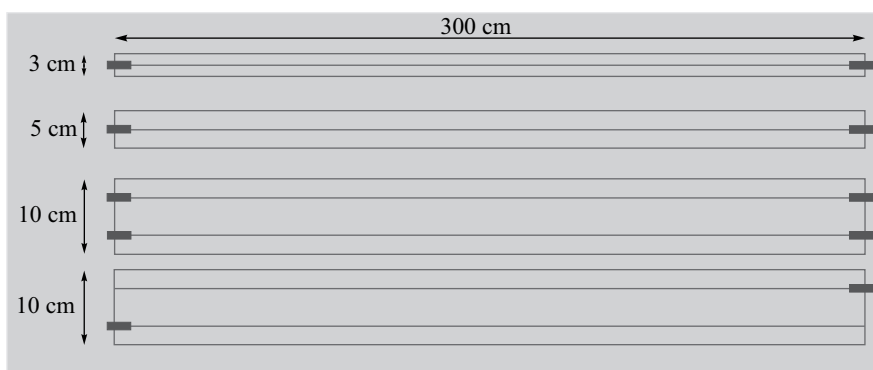


Рис. 1. Размеры тестируемых сцинтилляционных пластин

На поверхность пластин нанесен диффузный отражатель методом травления поверхности в химическом реагенте. В продольные канавки вклеены спектросмещающие волокна (WLS) Y11-МС фирмы Kugaгау (Япония) диаметром 1 мм, одно волокно на 3- или 5-см пластину и по два волокна на 10-см пластину. Концы волокна вклеены в оптические разъемы, закрепленные на концах пластин. В качестве фотоприемников использовались микропиксельные фотодиоды Hamamatsu MPPC S13081-050CS с чувствительной областью $1,3 \times 1,3$ мм. Пластины шириной 10 см изготовлены в двух вариантах, со считыванием сигнала с каждого конца от двух волокон и только с одного из концов так, чтобы считывание происходило с противоположных концов пластины.

Тестирование пластин производилось в ЦЕРН на пучке преимущественно пионов с импульсом 10 ГэВ/с. Три одинаковые пластины облучались одновременно. Приведенные ниже результаты усреднялись для всех трех пластин.

Зависимости световыхода от координаты попадания пучка вдоль пластины приведены на рис. 2 и 3 для образцов шириной 3 и 5 см соответственно. Представлены величины световыхода в фотоэлектронах на минимально ионизирующую частицу (ф.э./MIP) с каждого из концов детектора и их сумма.

Полученные зависимости показывают, что световыход у пластин шириной 3 см заметно выше, чем световыход у пластин шириной 5 см, благодаря лучшему сборанию сцинтилляционного света на волокно. Суммарный световыход с обоих концов мало меняется вдоль длины детектора.

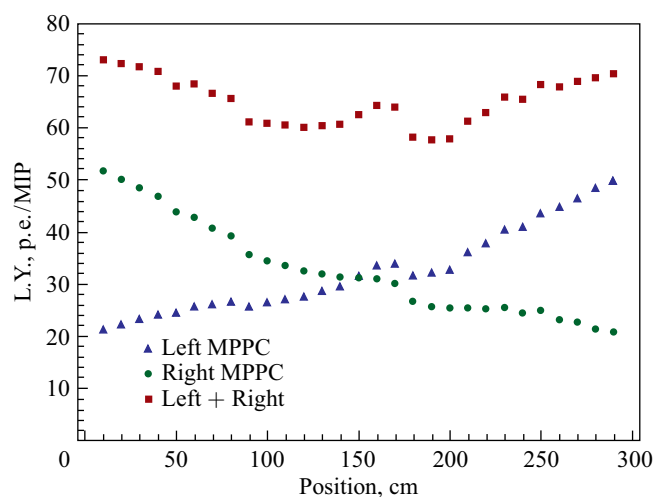


Рис. 2. Зависимость световыхода от координаты попадания пучка вдоль пластины шириной 3 см

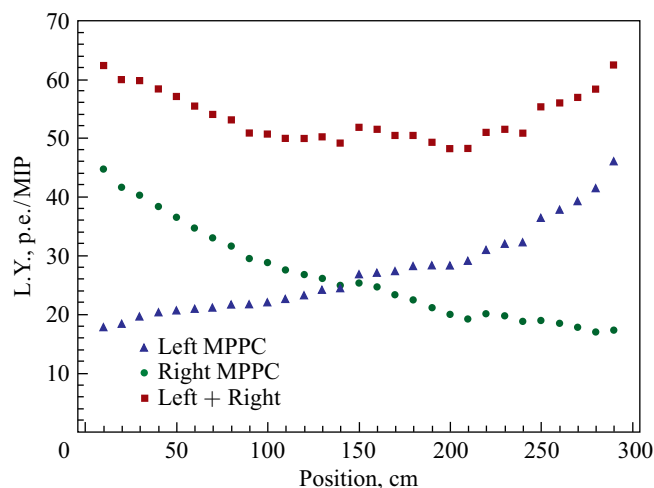


Рис. 3. Зависимость световыхода от координаты попадания пучка вдоль пластины шириной 5 см

Результаты тестирования

Параметр	Типоразмер			
	3 см	5 см	10 см, 2 MPPC	10 см, 4 MPPC
Световыход (сумма с концов), ф. э./MIP	60	50	27	45
Временное разрешение, нс	0,72	0,82	1,35	0,97

Также путем анализа фронта нарастания оцифрованного сигнала определено временное разрешение детекторов методом следящего порога. Оно определялось как σ полусуммы времен от обоих концов. Суммарные результаты для всех тестируемых пластин, включая пластины шириной 10 см, представлены в таблице.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате тестирования прототипов мюонного детектора на пучке в ЦЕРН определены временное разрешение и световыход для сцинтилляционных пластин различной ширины. Сравнение этих параметров позволяет сделать вывод о наиболее оптимальном размере пластин для использования их в мюонном детекторе с учетом требуемого количества каналов электроники. Пластины меньшей ширины дают более высокий световыход и лучшее

временное разрешение. Кроме того, разница между пластинами шириной 3 и 5 см не имеет существенного значения и может быть сведена к минимуму путем изменения качества сцинтиллятора или улучшения характеристик фотосенсоров. Использование пластин шириной 10 см в мюонном детекторе SHiP позволит значительно уменьшить число каналов и стоимость установки за счет некоторого ухудшения параметров детектирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Anelli M. et al. (the SHiP Collab.)*. A Facility to Search for Hidden Particles (SHiP) at the CERN SPS. arXiv:1504.04956v1 [physics.ins-det].
2. *Asaka T., Shaposhnikov M.* The ν MSM, Dark Matter and Baryon Asymmetry of the Universe // *Phys. Lett. B*. 2005. V. 620. P. 17; [hep-ph/0505013].
3. *Kudenko Yu. G. et al.* Extruded Plastic Counters with WLS Fiber Readout // *Nucl. Instr. Meth. A*. 2001. V. 469. P. 340.
4. *Aoki S. et al.* The T2K Side Muon Range Detector (SMRD) // *Nucl. Instr. Meth. A*. 2013. V. 698. P. 135; arXiv:1206.3553.