

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОТНОСИТЕЛЬНОГО СВЕТОВОГО ВЫХОДА СТРИПОВ НА ОСНОВЕ ПЛАСТМАССОВЫХ СЦИНТИЛЛЯТОРОВ

Б.В. Гринев, академик НАН Украины, главный научный сотрудник Института сцинтилляционных материалов НАН Украины, г. Харьков

О.В. Зеленская, ведущий инженер Института сцинтилляционных материалов НАН Украины, г. Харьков

В.Р. Любинский, заведующий отделом Института сцинтилляционных материалов НАН Украины, г. Харьков

Л.И. Мицай, ведущий инженер Института сцинтилляционных материалов НАН Украины, г. Харьков

Н.И. Молчанова, кандидат технических наук, старший научный сотрудник Института сцинтилляционных материалов НАН Украины, г. Харьков

В.А. Тарасов, доктор физико-математических наук, заведующий отделом Института сцинтилляционных материалов НАН Украины, г. Харьков



Б.В. Гринев



О.В. Зеленская



В.Р. Любинский



Л.И. Мицай



Н.И. Молчанова



В.А. Тарасов

Описана методика измерения светового выхода сцинтилляционных стрипов, изготовленных из полистирола и использующихся совместно со спектро-смещающими волокнами. Методика может применяться для тестирования, отбора и исследования стрипов.

The measurement methods for the light output of scintillating strips made of polystyrene and applied together with spectro-mixing fibers are described. The methods can be applied for testing, sampling and researching of strips.

Введение

В экспериментах ядерной физики и физики высоких энергий в качестве чувствительных элементов детекторов широко используются стрипы на основе пластмассовых сцинтилляторов (ПС) различной формы и размеров. В последнее время при выборе конструкции координатно-чувствительных детекторов широкое применение находят длинномерные ПС в виде полос (стрипов) длиной до 8 м (международные проекты MINOS (Main Injector Neutrino Oscillation Search), OPERA (Oscillation Project with Emulsion-tRacking Apparatus)). Составные детекторы для таких проектов требуют изготовления огромного количества

стрипов. Так, в детекторе эксперимента OPERA в качестве чувствительных элементов использованы 36864 стрипа общим весом около 70 т [1]. В качестве примера на рис.1 показаны два составных стриповых детектора (Target Tracker) проекта OPERA.

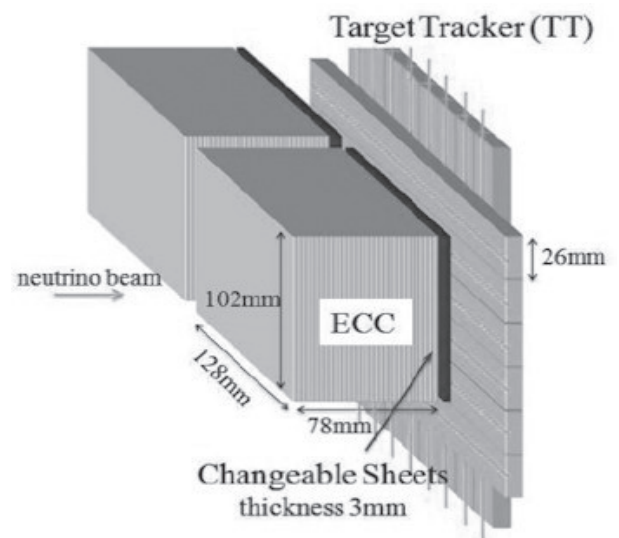


Рис. 1. Базовый элемент мишени детектора OPERA [2]

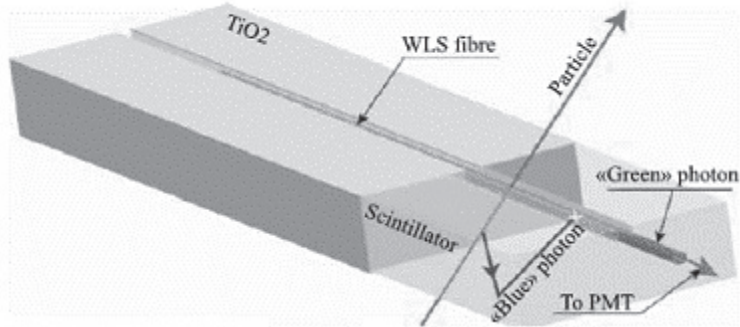


Рис. 2. Принцип регистрации частиц сцинтилляционным стрипом [3]

Принцип работы сцинтилляционного стрипа

Характерной особенностью каждого элемента сборки – стрипа – является то, что он используется совместно со световодом – сместителем спектра (WLS – Wave Length Shifter) fiber или, для упрощения, волокном. На рис. 2 представлено устройство и принцип действия стрипа.

В стрипе, изготовленном из сцинтиллирующей ПС (Scintillator), прорезана канавка и уложено светопроводящее волокно. Поверхность стрипа покрыта отражателем (TiO_2). При попадании ионизирующей частицы (Particle) в стрип в нем возникает свет (Blue photon). Свет частично распространяется по стрипу, частично попадает в волокно. Вдоль волокна свет с измененной длиной волны (Green photon) с высокой эффективностью распространяется к регистрирующему устройству – фотоэлектронному умножителю ФЭУ (PMT). Отношение количества световых фотонов, достигших ФЭУ, к количеству фотонов, возникших в месте попадания частицы, называется световым выходом (С) и является одной из характеристик качества детектора.

Оценка качества сцинтилляционных стрипов

Стрипы для проекта OPERA, а позже и для других проектов, изготавливались в НТК “Институт монокристаллов”. Для проверки их качества была разработана специальная методика [4]. Измеряемой величиной является ток ФЭУ, пропорциональный световому выходу. Особенность методики состоит в регистрации сигнала с волокна, а не с выходного окна сцинтиллятора, как обычно. Кроме того, в связи с большим количеством образцов, был продуман рациональный по времени способ измерений.

Образцами для измерений служат отрезанные от изготовленных для проекта стрипов “свидетели” длиной 30 см. Сечение стрипа 26×10 мм, волокно $\text{Ø} 1$ мм. Рабочий образец стрипа аналогичных размеров также был изготовлен в НТК и аттестован по световому выходу международной коллаборацией OPERA. Его абсолютный световой выход $C_{\text{phe}0}$ (в количестве фотоэлектронов, эмитирующихся из фотокатода ФЭУ) составляет 8 фотоэлектронов при поглощении энергии возбуждения, равной 1 МэВ

(Фэ/МэВ) [5], и принимается в относительных измерениях за 1 или 100 %. Значение неопределенности измерения светового выхода рабочего образца стрипов приведено там же и составляет 5,0 %.

Методика определения относительного световыхода стрипов

Суть методики состоит в сравнении анодных токов ФЭУ от свидетеля и рабочего образца при облучении их источником бета-излучения стронций-90 + иттрий-90.

Установка для определения относительного светового выхода стрипов собрана согласно [6] (метод 2, черт. 2) из следующих элементов: блока детектирования, источника питания ФЭУ, стабилизатора напряжения питания, прибора для измерения тока. Блоком детектирования служат ФЭУ типа R-980 с размером фотокатода $\text{Ø} 38,1$ мм и стрип с вложенным волокном и устройством, фиксирующим волокно (поджимом). В качестве измерительного прибора используется микроамперметр (МА) типа M95.

Перед началом измерений определяются нелинейность и нестабильность установки по [6]. После этого начинаются конкретные измерения. На ФЭУ надевается светонепроницаемая крышка с проделанным в центре отверстием $\text{Ø} 1$ мм и вставленным в него волокном (длина волокна 35 см, оба торца волокна отполированы). Крышка



Рис. 3. Установка для измерения светового выхода сцинтилляционных стрипов

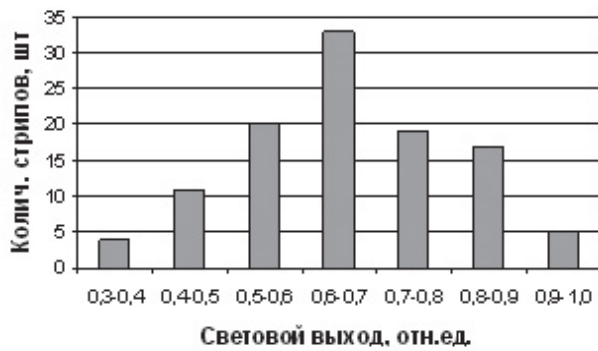


Рис. 4. Распределение измеренных стрипов по величине светового выхода

с волокном постоянно находятся на ФЭУ, что ускоряет проведение измерений. Рабочий стрип размещается под волокном так, чтобы волокно оказалось в канавке. Сверху помещается поджим (все элементы блока детектирования расположены горизонтально). Взаимное расположение стрипа, волокна и ФЭУ показаны на рис. 3.

Далее измерения проводились по [7]: сначала – без источника излучения (фоновое значение тока I_{bg}), затем – с источником излучения. Источник излучения располагается в коллиматоре под канавкой детектора на расстоянии 15 см от ФЭУ. В процессе измерений источник излучения постоянно находится в этом месте, что также ускоряет процесс измерений. Измеряют значение тока I_0 от рабочего образца. Снимают поджим и рабочий образец. На место рабочего образца помещают измеряемый образец-свидетель, сверху поджим. Определяют значение тока I от образца. Вычисляют значение светового выхода C_{phe} образца по формуле

$$C_{phe} = C_{phe0} \times (I - I_{bg}) / (I_0 - I_{bg}),$$

где C_{phe0} – световой выход рабочего образца.

Нужно отметить, что методика позволяет проводить не только контрольные, но и исследовательские работы. Была подобрана толщина отра-

жающего покрытия для серийного производства стрипов. Есть возможность исследовать отдельно качество материала и отражателя стрипа, влияние типа отражателя.

Представленная методика дает возможность оценивать качество других типов стрипов. Так, измерялись стрипы сечением 10×40 мм с отражателем, содержащим гадолиний. В настоящее время измеряются стрипы сечением 10×10 мм с двумя волокнами.

Результаты измерений

В процессе измерения светового выхода большого количества (несколько тысяч) стрипов было установлено, что световой выход большинства стрипов составляет 60...80 % от светового выхода рабочего образца, или примерно 4,5...6,5 фЭ/МЭВ.

Результаты распределения одной из партий стрипов по величине светового выхода представлены на рис. 4.

Для определения метрологических возможностей методики и качества измерений светового выхода стрипов были отобраны 3 свидетеля, имеющих значения светового выхода примерно 60, 70 и 80 % от рабочего образца. Для них были проведены многократные измерения ($n = 3$) светового выхода. Фоновое значение тока I_{bg} составляло 0,5 деления шкалы МА. Результаты измерений представлены в табл. 1.

Далее, в соответствии с руководством [8], рассчитывались значения неопределенностей измерений: используя данные табл. 1, неопределенности по типу А – $u_A(C_{phe})$; считая, что предел чувствительности шкалы МА равен 0,5 деления, рассчитывали значения неопределенностей измерений по типу В – $u_B(C_{phe})$, суммарной – $U_C(C_{phe})$ и расширенной – $U_P(C_{phe})$. Результаты расчета представлены в табл. 2.

Полученная зависимость неопределенности измерений от величины светового выхода стрипов представлена на рис. 5.

Таблица 1

Результаты измерения светового выхода стрипов № 1–3

Номер стрипа	Номер измерения	Световой выход					Средний свет. выход, C_{phe} , фЭ/МЭВ
		В шкале МА		Отношение $I - I_{bg} / I_0 - I_{bg}$	В энергетич. единицах		
		I_0 , дел.	I , дел.		C_{phe0} , фЭ/МЭВ	C_{phe} , фЭ/МЭВ	
1	1	30	18	0,5932	8,00	4,75	4,93
	2	31	20	0,6393	8,00	5,11	
	3	30,5	19	0,6167	8,00	4,93	
2	1	30	21,5	0,7119	8,00	5,69	5,64
	2	31	22,5	0,7213	8,00	5,77	
	3	30,5	21	0,6833	8,00	5,47	
3	1	30	24,5	0,8136	8,00	6,51	6,40
	2	31	25	0,8033	8,00	6,43	
	3	30,5	24	0,7833	8,00	6,27	

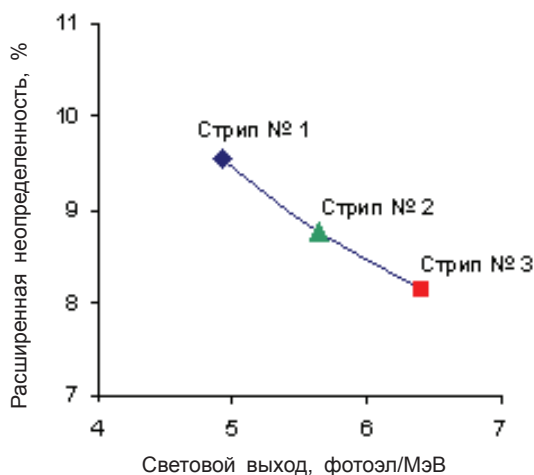


Рис. 5. Зависимость неопределенности измерений от величины светового выхода

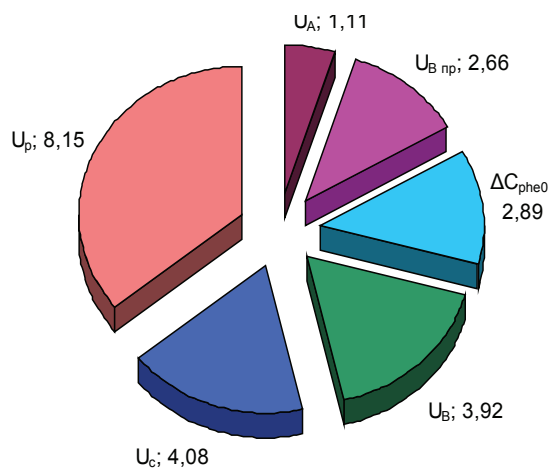


Рис. 6. Составляющие неопределенности измерения светового выхода стрипа № 3

Таблица 2

Расчет неопределенности измерения светового выхода стрипов № 1–3

Номер стрипа	C_{phe} , фЭ/МэВ	$u_A(C_{phe})$		$u_B(C_{phe})$		$U_C(C_{phe})$		$U_P(C_{phe})$	
		Абс., фЭ/МэВ	Отн., %	Абс., фЭ/МэВ	Отн., %	Абс., фЭ/МэВ	Отн., %	Абс., фЭ/МэВ	Отн., %
1	4,93	0,107	2,16	0,210	4,25	0,235	4,77	0,47	9,53
2	5,64	0,091	1,62	0,229	4,07	0,247	4,38	0,49	8,75
3	6,40	0,046	1,11	0,251	3,92	0,261	4,08	0,52	8,15

Для более наглядного представления полученных результатов значения неопределенности и ее составляющих, рассчитанные для сцинтилляционного стрипа № 3, приведены в виде круговой диаграммы на рис. 6.

Из рис. 6 видно, что для рассматриваемой методики измерений основной вклад в неопределенность по типу В (систематическую составляющую) и, соответственно, в расширенную неопределенность измерений светового выхода сцинтилляционного стрипа вносит неопределенность светового выхода рабочего образца. Вклад неопределенности по типу А (случайной составляющей) в результирующее значение неопределенности существенно меньше и может регулироваться количеством измерений.

Выводы

1. Разработана методика определения качества длиномерных сцинтилляционных стрипов с помощью их образцов-свидетелей.
2. Предложены способы оптимизации измерений при большом потоке образцов.
3. Методика дает возможность как тестировать, отбраковывать, так и исследовать стрипы.

Список литературы

1. Гринев Б.В. Пластмассовые сцинтилляторы / Б.В. Гринев, В.Г. Сенчишин. – Х.: Акта, 2003. – 324 с.
2. Громов М. Эксперимент OPERA – Ядерная физика в интернете (nuclphys.sinp.msu.ru/students/OPERA/index.html3).
3. Guler M. et al. Status Report on the Opera Experiment / CERN-SPSC-2001-025. – Aug. 2001.
4. Измерение токовым методом светового выхода полистирольных стрипов: Технологическая инструкция № ТИ 03.00.01-2002.
5. Dyshkant A. et al. Fermilab-Conf-06-281.
6. Детекторы ионизирующих излучений сцинтилляционные. Методы измерений нелинейности и нестабильности установки для определения сцинтилляционных параметров детекторов: ГОСТ 17038.1-79.
7. Детекторы ионизирующих излучений сцинтилляционные. Метод измерения светового выхода детектора по анодному току фотоэлектронного умножителя: ОСТ 17038.3-79.
8. Метрология. Застосування “Руководства по выражению неопределенности измерений” (РМГ 43-2001, IDT): ДСТУ-Н РМГ 43:2006.