



ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

ИФВЭ 99-6
ОНФ

А.А. Дурум, В.И. Кочетков, В.В. Макеев, В.А. Маяцкий*,
В.С. Наумов*, В.М. Савинов*, В.К. Семенов, А.П. Солдатов

**ИССЛЕДОВАНИЕ СВЕТООТРАЖАЮЩИХ ПОКРЫТИЙ
СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫХ СЧЕТЧИКОВ
СО СПЕКТРОСМЕЩАЮЩИМИ ВОЛОКНАМИ**

Направлено в *ПТЭ*

*Полимерсинтез, г. Владимир

Протвино 1999

Аннотация

Дурум А.А. и др. Исследование светоотражающих покрытий сцинтилляционных счетчиков со спектросмещающими волокнами: Препринт ИФВЭ 99-6. – Протвино, 1999. – 6 с., 1 рис., 1 табл., библиогр.: 11.

В работе представлены данные по исследованию светоотражающих материалов и покрытий сцинтилляционных счетчиков со спектросмещающими волокнами. Найден простой способ химической модификации поверхности полистирольных сцинтилляторов любого профиля и размера. Модифицированная поверхность обеспечивает светоотражение и величину светосбора в счетчиках не хуже синтетической бумаги TYVEK.

Abstract

Durum A.A. et al. Study of the Light-Reflection Covers for Scintillator Counters with WLS Fiber Readout: IHEP Preprint 99-6. – Protvino, 1999. – p. 6, figs. 1, tables 1, refs.: 11.

The influence of various covering light-reflection materials on light collection for scintillating counters, with wavelength-shifting optical fibers readout, is studied. A cheap way of chemical modification of a scintillator surface of any structure and size, made on a polystyrene basis is found, which ensures light reflection and light yield not conceding a synthetic paper TYVEK used for this purpose.

Введение

В настоящей работе рассматривается влияние различных светоотражающих материалов покрытия сцинтилляционных счетчиков на светособирание, осуществляемое с помощью спектросмещающих оптических волокон (ССОВ), внедренных в материал сцинтиллятора. Метод светосбора, его преимущества и недостатки довольно подробно описаны в работе [1] с большим количеством ссылок на оригинальные публикации.

В качестве светоотражающих материалов в технике физического эксперимента большое распространение получили алюминизированный майлар, синтетическая бумага ТУВЕК [2], металлические покрытия, покрытия на основе белых красок или пластиков. При использовании отражателя типа ТУВЕК обеспечивается максимальный светосбор. Однако необходимо отметить, что при изготовлении крупногабаритных годоскопических счетчиков с большим числом каналов использование этого отражателя становится нетехнологичным и дорогим.

Цель настоящей работы заключалась в поиске и исследовании светоотражающих материалов (покрытий), обеспечивающих в данной геометрии светосбора максимальную величину световыхода при высоком уровне эксплуатационных свойств, технологичности и приемлемой стоимости всего комплекса необходимых процедур для их создания.

1. Описание схемы и условий измерений

Измерение зависимости величины световыхода сцинтилляционного счетчика от типа светоотражающего материала производилось с использованием космических мюонов (см. рис.1). Сцинтилляционные счетчики размером $300 \times 20 \times 10$ мм собирались из двух пластин ($300 \times 20 \times 5$ мм), имеющих канавку сечением $1,5 \times 0,75$ мм для размещения спектросмещающего волокна Y11 длиной $L=1$ м и диаметром 1,0 мм (с оптическим контактом или без него). Пластины изготавливались методом литья под давлением из гранулированного технического полистирола ПСМ-115 с люминесцирующими добавками:

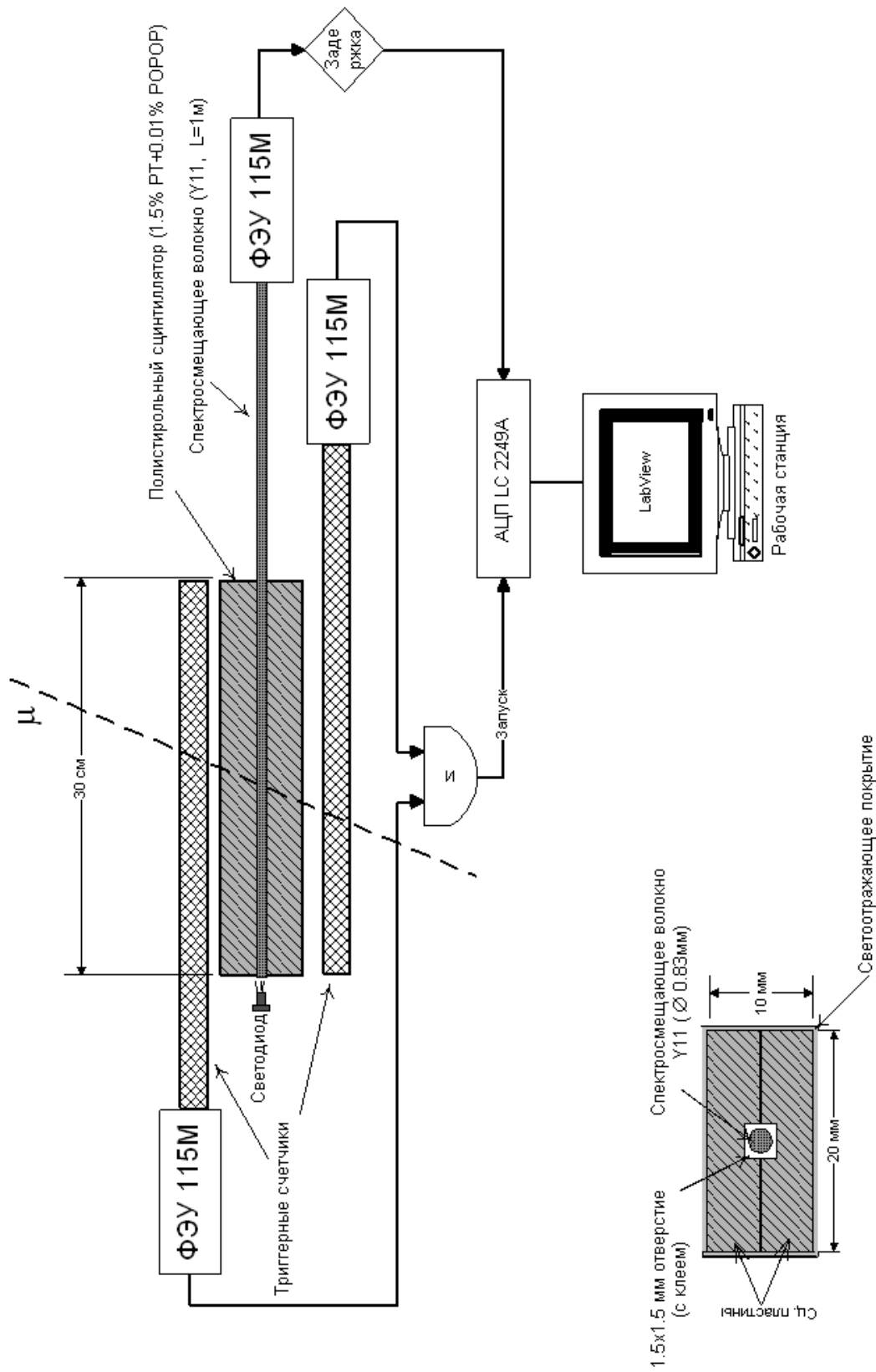


Рис. 1. Схема измерений световыхода. На вставке изображено поперечное сечение исследуемого сцинтиллятора.

1,5% р-терфинила (РТ) и 0,01% РОРОР [3]. Максимумы спектров поглощения и испускания для этого типа сцинтиллятора, соответственно по компонентному составу, составляют 262, 285, 364 и 300, 345, 422 нм [3]. Максимумы спектров поглощения и испускания света волокном соответственно составляют 430 и 495 нм. В качестве фотоприемника использовался фотоэлектронный умножитель ФЭУ-115М [4], среднее значение квантовой эффективности которого в области максимума высвечивания волокна составляет 14%. Положение волокна относительно входного окна ФЭУ было жестко зафиксировано и не менялось в процессе измерений. Амплитуды токовых импульсов с ФЭУ измерялись с помощью зарядово-чувствительного АЦП LeCroy 2249А. Открытый конец волокна освещался импульсным зеленым светодиодом. Световые импульсы от светодиода регистрировались тем же ФЭУ для определения коэффициента перевода амплитуды тока в число фотоэлектронов. Кроме того, регистрация этих импульсов в ходе набора мюонной статистики позволяла не только калиброваться, но и контролировать стабильности усиления всего электронного тракта и коэффициента оптического пропускания в используемой схеме светособирания.

2. Светоотражающие материалы и способы их применения

Измерения световыхода проводились одним и тем же сцинтилляционным счетчиком путем оборачивания его в различные светоотражающие материалы. При измерении световыхода счетчиков с нанесенными покрытиями использовалась нормировка на световыход того же счетчика, измеренный до нанесения покрытия.

Применение механизированных способов нанесения покрытий на поверхность счетчиков вместо ручного оборачивания светоотражающими материалами позволяет избежать больших трудозатрат.

Покрытия могут наноситься как на готовые сцинтилляторы, так и в процессе их изготовления. В первом случае можно использовать промышленные технологические способы [5–7]: крашение, металлизацию, наклеивание и химическое модифицирование свойств поверхностей. Во втором случае покрытия могут наноситься с использованием экструзионных линий по технологии со-экструзии [8,9] или создаваться способом декорирования (этикетирования) [6] при использовании технологии литья под давлением [3]. Перечень используемых в настоящей работе светоотражающих материалов приведен в таблице.

Отметим несколько особенностей материалов (покрытий) и способов их применения (см. таблицу) для светосбора в сцинтилляционных счетчиках со спектрсдвигающим волокном. Оптический контакт (ОК) покрытий с поверхностью счетчика создавался за счет использования неотверждающегося геля или оптической замазки (образцы № 1б, 6, 7б), липкой аппликации Weiss Bach D-C-Fix на основе полистирола (образец № 9), белой эмали (образец № 4). Для образцов № 7 использовался лист блочного полистирола марки УПМ, который обычно применяется в производстве выдувной упаковки [6, с.132].

Особенно высокой технологичностью и наиболее простым в реализации, по-видимому, является способ создания покрытий, который заключается в особом химическом травлении [6, с.214, 291, 297] наружных поверхностей сцинтиллятора. Для этой цели были проведены исследования различных типов растворителей и условий их применения. В результате была отработана технология, при которой на поверхности сцинтиллятора создается тонкий белый пористый слой (50-100 мкм) с высоким коэффициентом диффузного отражения (образец № 8).

Созданный травлением, пористый слой обладает хорошей адгезией к поверхности счетчика. Он практически не отслаивается от подложки-сцинтиллятора при эмпирическом испытании, заключающемся в резком отрывании предварительно приклеенной к слою липкой ленты [5, с.470]. Кроме того, к нему можно приклеивать конструкционные материалы без ухудшения его отражающей способности.

Таблица 1. Влияние типа светоотражающего материала (покрытия) и способа его применения на величину светосбора

№ п/п	Тип материала покрытия	Величина светосбора (ССОВ без ОК) [%]	Величина светосбора (ССОВ с ОК) [%]
1а	ТУВЕК (толщина 0,15 мм)	100	165
1б	ТУВЕК (толщина 0,15 мм) с ОК	-	124±3
2	Черная бумага	18±4	46±1
3	Al/майлар	61±2	117±2
4	Белая эмаль	-	124±2
5	Белая бумага XEROX (85 г/м ²)	-	125±3
6	Белый пластик (АБС) с ОК	54±1	91±2
7а	Белый пластик (УПМ) без ОК	53±1	102±2
7б	Белый пластик (УПМ) с ОК	50±1	96±2
8	Модифицированная поверхность	102±2	170±5
9	Липкая аппликация Weiss Bach D-C-Fix	-	134±3

3. Результаты измерений

Величина световыхода (светосбора) выражалась в числе регистрируемых фотоэлектронов ($N_{ф.э.}$), которое вычислялось по светодиодной калибровке. За 100% был принят световыход варианта сцинтилляционного счетчика, обернутого со всех сторон светоотражающей бумагой ТУВЕК, без оптического контакта как для ТУВЕК, так и для волокна (образец № 1а, $N_{ф.э.} = 8,6$).

Относительная погрешность измерений не превышала 3% и, в основном, определялась воспроизводимостью результатов в многократно повторенных сериях измерений. В таблице приведены результаты измерений, из которых следует, что при использовании отражателя типа ТУВЕК обеспечивается максимальный светосбор, который почти в 4 раза превышает вариант без светоотражающего покрытия (образец № 2).

Введение ОК между светоотражателем и поверхностью счетчика для всех рассмотренных вариантов, кроме варианта с TYVEK (образец № 16), практически, с точностью до погрешности измерений, не влияет на величину светосбора. Уменьшение светосбора (образец № 16) связано с проникновением оптической смазки ($n=1,52$) в рыхлую поверхность TYVEK, что приводит к уменьшению ее эффективной толщины, влияющей на отражающую способность. Как следует из [10, с.28, 32], должна наблюдаться тенденция к снижению отражающей способности металлических покрытий и белых красок при освещении их изнутри со стороны подложки. Так, в случае использования белых красок (или пластмасс) на основе мелкодисперсных порошков (MgO , Al_2O_3 , TiO_2) в связующей среде (матрице) с коэффициентом преломления ($n_{\text{среда}} > 1$), коэффициент отражения светоотражающего слоя бывает обычно ниже, чем для светоотражателей из сухих порошков, т.к. у последних дисперсионной средой является воздух ($n_{\text{среда}} = 1$). В последнем случае реализуется большее значение относительного коэффициента преломления ($n_{\text{порошок}}/n_{\text{среда}}$) и, следовательно, становится выше отражающая способность слоя [5, 10]. Аналогичные условия отражения сцинтилляционного света возникают при использовании пористых отражателей в виде белой бумаги (образцы № 1, 5) или модифицированной поверхности (образец № 8). В этих случаях отражатели обладают внутренней неоднородной структурой и диффузное или рассеянное отражение носит объемный характер. Его закономерности определяются эффектами многократного отражения света, проникающего в среду [10].

Для сцинтилляционного света (420 нм) хорошим светоотражением обладают образцы (№ 1, 5 и 8), для которых коэффициент диффузного отражения слабо зависит от длины волны падающего света. В наименьшей степени (в случае применения порошков) эта зависимость наблюдается для окиси магния [11], которая имеет широкое распространение в практике (например для создания оптических эталонных образцов сравнения). Напротив, двуокись титана (TiO_2) в этом спектральном интервале обладает меньшим коэффициентом отражения, причем с резким падением в сторону малых длин волн, которое начинается в области 400 нм. Этим свойством обладают обе фракции двуокиси титана (рутил и анатаз) [11, с. 110]. Но в наибольшей степени это характерно для рутильной фракции ($n=2,1$), обычно используемой в качестве белого пигмента в лакокрасочной промышленности [5]. Описанные выше особенности светоотражающих свойств двуокиси титана, применяемого в краске (образец № 4) или в белом пластике (образцы № 6, 7 и 9), объясняют более низкие значения светосбора указанных образцов по сравнению с образцами № 1 и 8. Отсюда следует вывод, что счетчики, изготовленные методом соэкструзии, будут, по-видимому, несколько уступать счетчикам с химически модифицированными поверхностями (типа образца № 8) или просто завернутым в TYVEK.

Относительно невысокий светосбор наблюдается и при использовании липкой аппликации Weiss Bach D-C-Fix на основе полистирола (образец № 9). Но можно, по-видимому, ожидать значительно большей величины, если в качестве основы аппликации использовать синтетическую бумагу TYVEK, которую затем можно наносить на поверхности счетчиков простым прикатыванием с помощью ролика.

Заключение

Измерены относительные величины светособирания в протяженных сцинтилляционных счетчиках, осуществляемого с помощью спектросмещающих волокон для 9 типов светоотражающих материалов (покрытий) сцинтилляторов. Найден простой способ химической обработки поверхности сцинтилляторов любого профиля и размера, изготовленных на основе полистирола. Химически модифицированная поверхность обеспечивает светотражение и величину светосбора, не уступающую широко применяемой для этой цели синтетической бумаге TYVEK.

Авторы приносят благодарность А.Г. Денисову, С.В. Беликову и Ю.Е. Гутникову за помощь в измерениях и плодотворные обсуждения.

Список литературы

- [1] Wojcik R., Kross B., Majewski S. et al. // Nuclear Instr. and Methods, 1994, v. A342, p. 416.
- [2] Type 1073D TYVEK, DuPont Fibers, Chestnut Run Plaza, P.O. Box 80705, Wilmington, DE 1980, USA.
- [3] Беликов С.В., Вайт С., Гутников Ю.Е. и др. // ПТЭ, 1996, № 4, с. 33.
- [4] Belikov S.V., Gilitski Yu.V., Gutnikov Yu.E. et al. // Instruments and Experimental Techniques, 1997, v. 40, № 3, p. 333.
- [5] Лакокрасочные материалы и покрытия. Теория и практика. / Под ред. Р.Ламбурна. — С-П.: Химия, 1991.
- [6] Соломенко М.Г., Шредер В.Л., Кривошей В.Н. Тара из полимерных материалов: Справочник. — М.: Химия, 1990.
- [7] Битюков С.И., Семенов В.К., Яблоков А.П. // ПТЭ, 1989, № 4, с.58.
- [8] Техника переработки пластмасс. / Под ред. Н.И.Басова и В.Броя. — М.: Химия, 1985.
- [9] Soesbe T. and Lang K. Studies of extruded Scintillators for MINOS. NuMI- L-356, UTKL-133, 1998.
- [10] Цирлин Ю.А. Светособирание в сцинтилляционных счетчиках. — М.: Атомиздат, 1975, с.32.
- [11] Иванов А.П. Оптика рассеивающих сред. — Минск: Наука и техника, 1969, с. 110.

Рукопись поступила 3 февраля 1999 г.

А.А. Дурум и др.

Исследование светоотражающих покрытий сцинтилляционных счетчиков со
спектрсмещающими волокнами.

Оригинал-макет подготовлен с помощью системы \LaTeX .

Редактор Л.Ф. Васильева.

Технический редактор Н.В. Орлова.

Подписано к печати 05.02.99. Формат $60 \times 84/8$. Офсетная печать.
Печ.л. 0,75. Уч.-изд.л. 0,57. Тираж 150. Заказ 44. Индекс 3649.
ЛР №020498 17.04.97.

ГНЦ РФ Институт физики высоких энергий
142284, Протвино Московской обл.

