ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

OCT 22 1997

LIBRARY

ИФВЭ 97-1
ОНФ

IFVE-97-1

В.К.Ананьев*, А.В.Базилевский, А.А.Дурум, А.И.Дьячков*,
В.И.Кочетков, В.А.Маяцкий*, В.К.Семенов, А.П.Солдатов

НОВЫЙ ЭКСТРУДИРОВАННЫЙ СЦИНТИЛЛЯТОР ИЗ ТЕХНИЧЕСКОГО ПОЛИСТИРОЛА

Fermilab Library
0 1160 0076937 4

Направлено в *ПТЭ*

*Полимерсинтез, г.Владимир

Протвино 1997

УДК 539.1.074.6 М–24

Аннотация

Ананьев В.К. и др. Новый экструдированный сцинтиллятор из технического полистирола: Препринт ИФВЭ 97-1. – Протвино, 1997. – 11 с., 9 рис., библиогр.: 25.

Получен новый экструдированный сцинтиллятор из технического полистирола. Его световыход сравним со световыходом полистирольного сцинтиллятора, полученного путем полимеризации, и практически не зависит от метода изготовления сцинтиллятора из расплава (экструзией или литьем). Стоимость экструдированного сцинтиллятора значительно ниже благодаря использованию экструзионной технологии. Длина затухания к собственному излучению составляет около 30 см. Этого вполне достаточно для использования нового сцинтиллятора в широкоаппертурных годоскопических детекторах и ячеистых калориметрах со светосбором с помощью спектросмещающих световодов или оптических волокон.

Abstract

Ananiev V.K. et al. New Extruded Scintillator from Commercial Polystyrene: IHEP Preprint 97-1. – Protvino, 1997. – p. 11, figs. 9, refs.: 25.

We have gotten new extruded scintillator. Its cost is very low because of the extrusion technique. It has the light output comparably to standard scintillator. It is almost independent on production method. The obtained attenuation length of this scintillator is about 30 cm. It is quite enough for hodoscopic detectors and cell calorimeters with WLS readout or optical fibers.

© Государственный научный центр
Российской Федерации
Институт физики высоких энергий, 1997

Введение

В ряде детекторов, используемых в физике высоких энергий для регистрации элементарных частиц, возможно применение сцинтилляторов со средними светотехническими характеристиками, такими как световыход (W) и прозрачность к собственному излучению (λ_0). Это стало особенно привлекательным при использовании в системах светосбора световодов-сместителей спектра (или переизлучателей) в тех случаях, когда длина пути света в сцинтилляторе не велика по сравнению с величиной λ_0.

Такие условия светосбора реализуются в сцинтилляционных годоскопических детекторах, ячеистых адронных и электромагнитных калориметрах, в которых сбор света осуществляется с помощью спектросмещающего оптического волокна [1-6], переизлучателей в виде пластин [7] или стержней [8].

К настоящему времени при крупнотоннажном производстве сцинтилляторов в виде пластин размером до 300 мм для широкоапертурных калориметров широкое применение получил метод литья под давлением [9,10]. Используемый в этом производстве полистирол оказался достаточно прозрачным для сцинтилляционного света (рис.1,2).

Кроме сцинтилляционных пластин в технике физического эксперимента существует потребность в протяженных сцинтилляторах в виде длинных однонаправленных стержней, полос, профильных лент или листов большой и малой толщины. Для производства перечисленных изделий наиболее подходящим является не литьевой, а экструзионный метод изготовления сцинтилляторов. Этот метод успешно освоен в ИФВЭ в мелкосерийном производстве сцинтилляторов в виде полос (с размерами: длиной до 4 м и сечением до 200×10 мм^2) с довольно высокой прозрачностью λ_0 [11-14]. Светосбор с них может осуществляться без переизлучателей.

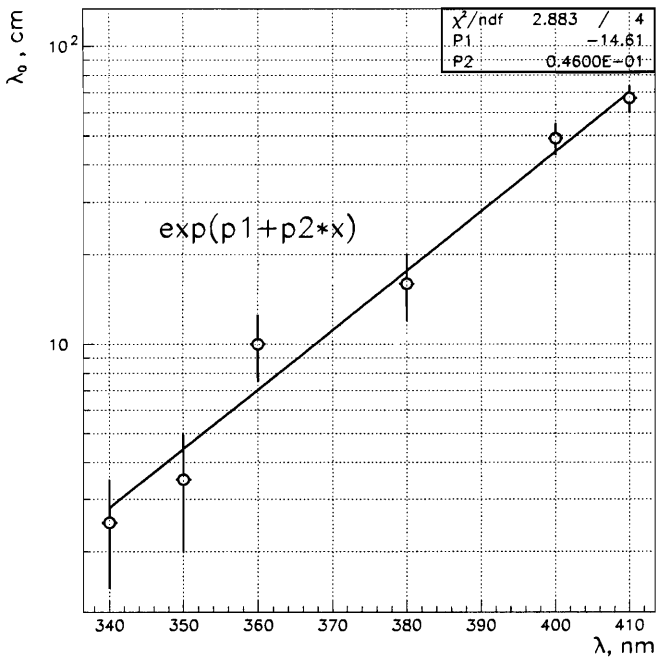


Рис. 1. Зависимость длины затухания (λ_0) чистого технического полистирола (ПСМ-115) от длины волны проходящего света (λ). Величина λ_0 вычислена по сравнению светопропускания двух образцов (l_1 и l_2) разной длины (L_1 и L_2): $\lambda_0 = (L_2 - L_1)/Ln(l_1/l_2)$. Образцы получены путем расплава в вакууме гранул полистирола с последующим их стеклованием и механической обработкой. Прямая (здесь и ниже) — результат фитирования экспериментальных данных функцией, указанной на рисунке. Значения параметров приведены на вставке.

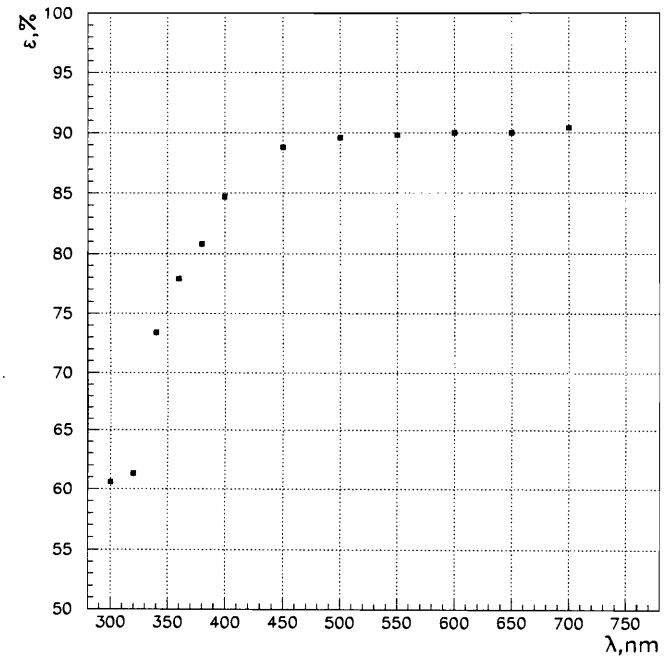


Рис. 2. Кривая поглощения образца 3 мм толщины, изготовленного экструзией из ПСМ-115. Величина плато пропускания на уровне 90% объясняется отражением Френеля от двух поверхностей образца.

В качестве исходного материала в этом производстве используется сцинтиллятор, изготавливаемый путем термической полимеризации в виде цилиндрических блоков. Формование сцинтилляционных полос происходит на выходе щелевой фильеры при свободном выдавливании нагретого до расплава блочного сцинтиллятора в антиокислительной среде без использования формирующих или тянущих валиков. Объем этого производства ограничивается производительностью, достигаемой при изготовлении заготовок из блочного сцинтиллятора практически в лабораторных условиях. Кроме того, достигнутая в этом методе недостаточно высокая прозрачность сцинтилляционных полос тоже может быть следствием использования блочных заготовок, так как в процессе их изготовления происходят неконтролируемые вариации режимов полимеризации по объему блока. При этом получается исходный полимер, в котором количество остаточного мономера и средний молекулярный вес изменяются от центра к краю блока. Это приводит к аномальной анизотропии структуры материала изделия, которая и сказывается на его прозрачности [15].

В настоящей работе приводятся предварительные результаты исследований характеристик первых отечественных образцов протяженных сцинтилляторов в виде полос шириной 330 мм и толщиной 3 и 5 мм, изготовленных методом шнековой экструзии из технического гранулированного полистирола. Результаты первого зарубежного опыта использования этого метода для производства длинных сцинтилляционных полос в промышленном масштабе и его возможности были изложены еще в 1980 году [16].

1. Изготовление экструдированного сцинтиллятора

При изготовлении сцинтилляционных полос нами использовалась двушнековая экструзионная линия, которая обеспечивала интенсивное смешивание компонентов и термическую гомогенизацию расплава исходной сухой смеси полистирольных гранул (марки ПСМ-115) и люминесцентных добавок (1,5% р-терфенила и 0,01% POPOP). Высокое качество поверхности полос достигалось применением трехвалкового каландра. Режимы экструдирования подбирались экспериментально на довольно небольшом количестве исходной смеси. Длина экструдированной сцинтилляционной полосы, в принципе, не ограничена. Но из практических соображений (для удобства обращения) образцы отрезались длиной около 1,5 м.

2. Измерение световыхода и прозрачности экструдированных сцинтилляционных полос

Для измерения световыхода из экструдированных сцинтилляционных полос вырезались образцы небольшого размера (примерно 50×50 мм^2). Края образцов не полировались, а сами пластинки оборачивались светоотражающим материалом (алюминизированным майларом). Сцинтилляционные пластины возбуждались β-частицами, проходящими исследуемые образцы "на прострел" (рис.3а). Для это-

го использовался коллимированный радиоактивный источник ^{90}Sr с применением магнитного анализа частиц по импульсам. Светосбор осуществлялся спектросмещающими волокнами BCF-99 (29a) [17] диаметром 1 мм с одной или нескольких граней пластин. Регистрация переизлученного света производилась отечественным фотоумножителем типа "квантакон" ФЭУ-143 [18]. Сигналы с фотоумножителя оцифровывались и гистограммировались системой сбора данных на основе IBM PC. Характерный амплитудный спектр при регистрации малофотонных сигналов этим фотоумножителем приведен на рисунке 4.

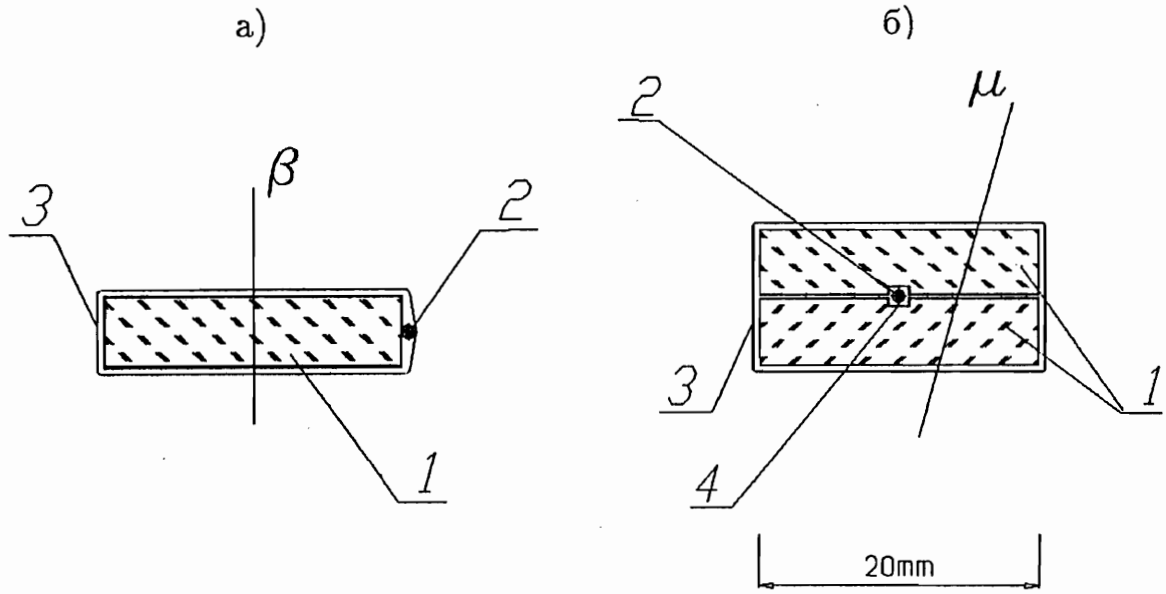


Рис. 3. Схема измерения световыхода: а) отдельных сцинтилляторов с помощью коллимированного β-источника; б) плоскостей сцинтилляционных счетчиков на космических мюонах(m). Обозначения на схеме: 1 – сцинтиллятор (толщиной $\leq$ 5 мм); 2 – спектросмещающее волокно, идущее к ФЭУ-143; 3 – светоотражающая обертка (синтетическая бумага TYVEK); 4 – канавка для размещения спектросмещающего волокна.

В одних и тех же условиях были проведены измерения световыходов сцинтилляторов толщиной от 2,5 до 5 мм, изготовленных методами экструзии и литья под давлением. В результате этих сравнительных измерений для сцинтилляторов, изготовленных из расплава, получена величина световыхода равная примерно 0,02 фотоэлектрона (с точностью $\approx$20-30%) на одну минимально ионизирующую частицу. Эта величина отнормирована на 1 миллиметр толщины пластины, 1% квантовой эффективности ФЭУ (при длине волны переизлученного света $\approx$500 нм) и одно спектросмещающее оптическое волокно диаметром 1 мм (с коррекцией на затухание света в нем). Ее сравнительно невысокая точность обусловлена, в основном, вариацией качества поверхностей исследуемых образцов, отражающей способностью оберточных материалов, воспроизводимостью идентичности геометрии светосбора в разных сериях измерений и т.д.

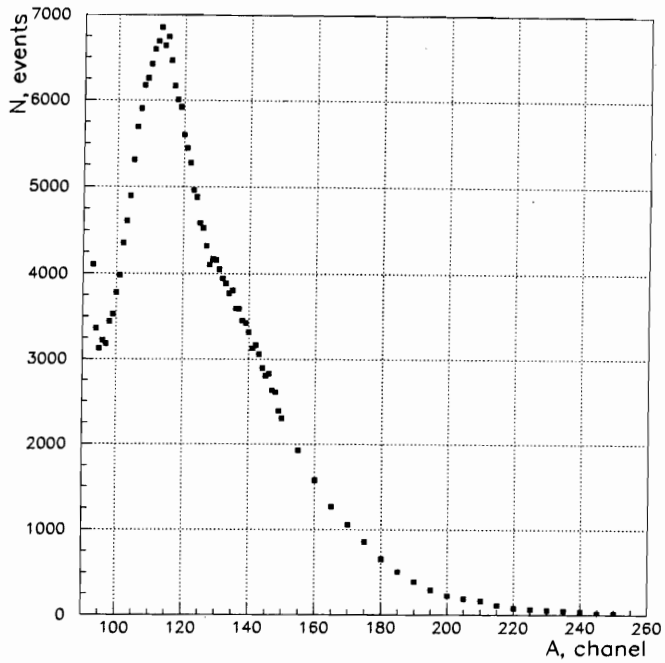


Рис. 4. Однофотоэлектронный спектр ФЭУ-143.

Относительный световыход W сцинтилляционных счетчиков с толщиной больше 5 мм (6 и 10 мм), собранных из отдельных элементов, изготовленных механической резкой экструдированного сцинтиллятора толщиной 3 и 5 мм, измерялся на проникающих космических мюонах (рис.3б). Величина W определялась по значению неэффективности регистрации $(1-\varepsilon)$ прохождения мюона через плоскость, образованную плотно прижатыми друг к другу исследуемыми счетчиками. Использование "квантакона" с ярко выраженным одноэлектронным пиком (рис.4) позволяет довольно просто получать плато на кривой эффективности регистрации ε (рис.5) и по соотношению

$$N_{ф.э.} = ln\frac{1}{1-\varepsilon} \sim W$$

определять относительный световыход W.

Получена линейная зависимость W от толщины счетчика при расположении спектросмещающего волокна между двумя полосками (сечением 3×20 и 5×20 мм^2) экструдированного сцинтиллятора, обернутого светоотражающим материалом (синтетической бумагой TYVEK). Такая схема светосбора близка по геометрии со случаем центрального расположения канала со спектросмещающим волокном в 8-метровом годоскопическом элементе 10-килотонного нейтринного детектора проекта MINOS [19].

Надо отметить что, помимо световыхода, экструдированный сцинтиллятор обладает одинаковой с литьевым сцинтиллятором радиационной стойкостью [20-22], измеренной вплоть до дозы гамма-излучения примерно в 1 Мрад.

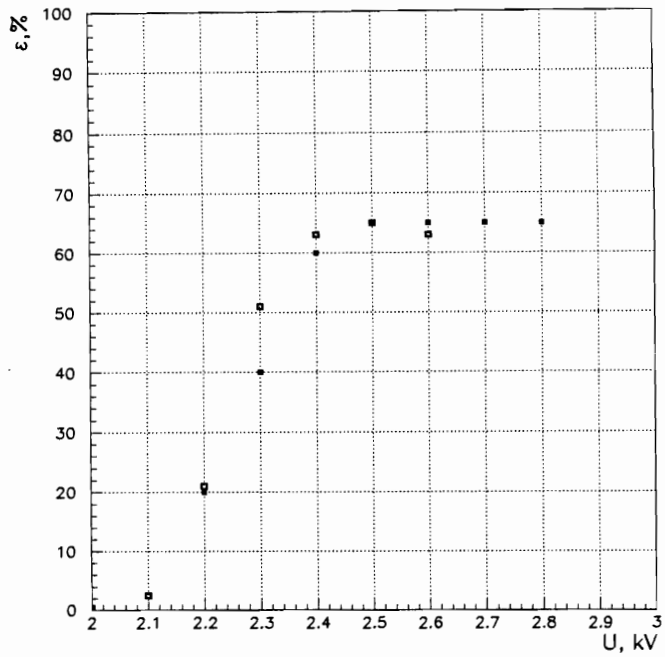


Рис. 5. Зависимость эффективности регистрации (ε) однофотоэлектронных импульсов с помощью ФЭУ-143 от высоковольтного напряжения питания (U). Экстремальные точки: ■ – без использования усилителя; □ – с усилителем ($K_{yc.}$ ≈100), который позволяет работать с величинами U примерно на 0,7 кВ меньше, чем в случае его отсутствия.

Для выяснения возможности применения экструдированного сцинтиллятора в протяженных крупногабаритных счетчиках были проведены измерения их прозрачности (или длины затухания λ_0) к собственному излучению. Принципиальная схема этих измерений изображена на рис.6. Сцинтиллятор в основных сериях измерений возбуждался ультрафиолетовым светом, который передавался оптическим волокном от азотного лазера. В отдельном измерении пластина сканировалась коллимированным β-источником, описанным выше. Выходной торец волокна, передающего свет лазера, перемещался вдоль (по x-координате, рис. 6а) или поперек (по y-координате, рис.6б) исследуемой пластины. Интенсивность лазерных вспышек мониторировалась фотодиодом, на который вторым оптическим волокном отводилась некоторая часть излучения лазера. Светосбор осуществлялся, как описано выше, спектросмещающим волокном, место расположения которого менялось на экструдированной пластине согласно схеме измерений (рис.6). Величина светосбора в зависимости от удаления точки возбуждения сцинтиллятора от приемного волокна определялась (в относительных единицах) по средним значениям соответствующих амплитудных спектров сигналов с ФЭУ-84. Кривые затухания, измеренные в продольном и поперечном направлениях для полос толщиной 3 и 5 мм, приведены на рис. 7 и 8. Из анализа этих данных можно сделать следующие выводы:

1) длины затухания света в экструдированных сцинтилляторах, изготовленных из технического полистирола с толщинами 3 и 5 мм, составляют 25 ± 2 см и 30 ± 3 см соответственно;

2) прозрачность в продольном и поперечном направлениях одинакова, что свидетельствует о хорошей однородности экструдата;

3) результаты измерения прозрачности, так же как установлено в [23], не зависят от вида возбуждающего сцинтиллятор излучения (лазерным светом или ионизирующим излучением).

На рис.9 приведены результаты измерений светосбора в геометрии псевдоячейки (смотри рис.6б). Применение этой схемы светособирания позволяет в ряде случаев вместо механической резки сцинтиллятора на отдельные пластины использовать длинные неразрезные сцинтилляционные полосы для сегментирования (за счет их невысокой прозрачности) калориметров поперек [4] и вдоль [3] направления пучка. В исследуемом сцинтилляторе, как видно на рисунке 9, можно реализовать псевдоячейки с довольно крутым спадом отклика на геометрическом месте их раздела.

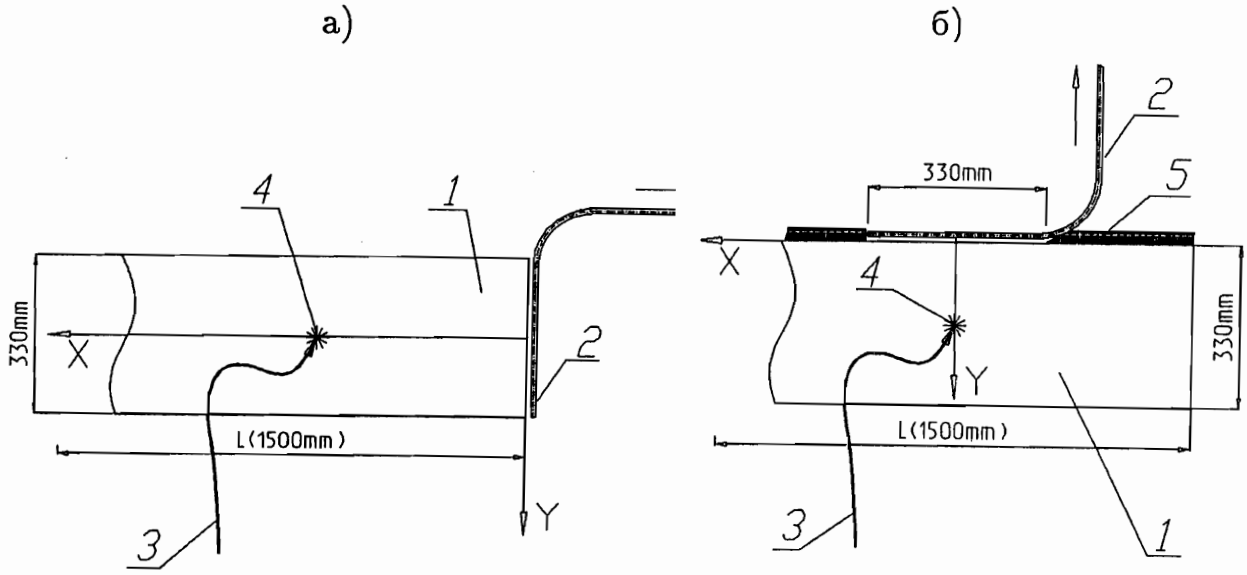
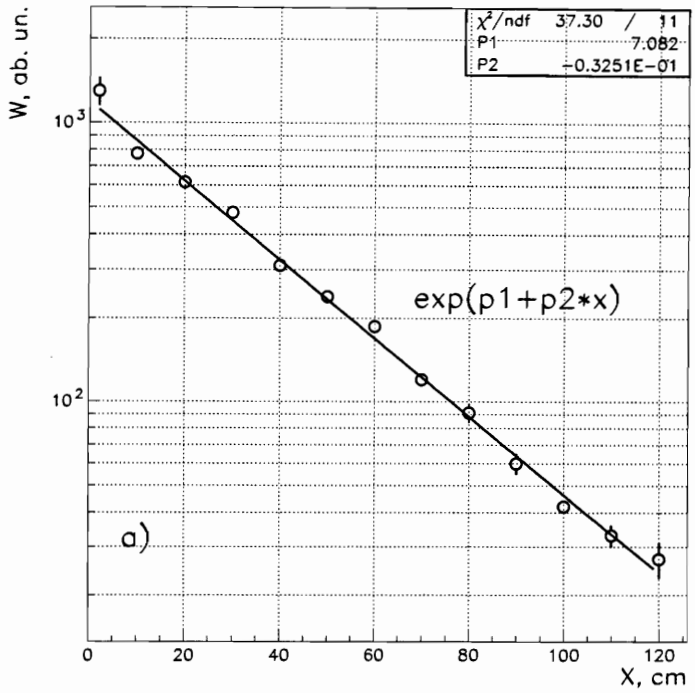


Рис. 6. Схема измерения прозрачности экструдированных сцинтилляционных полос к собственному излучению, которое возбуждалось ультрафиолетовым светом от азотного лазера или коллимированным β-источником: а) вдоль и б) поперек полосы. Обозначения: 1 – сцинтилляционная полоса; 2 – спектросмещающее волокно, идущее к ФЭУ-84; 3 – оптическое волокно, передающее свет от азотного лазера к точке возбуждения (4); 5 – световой экран.



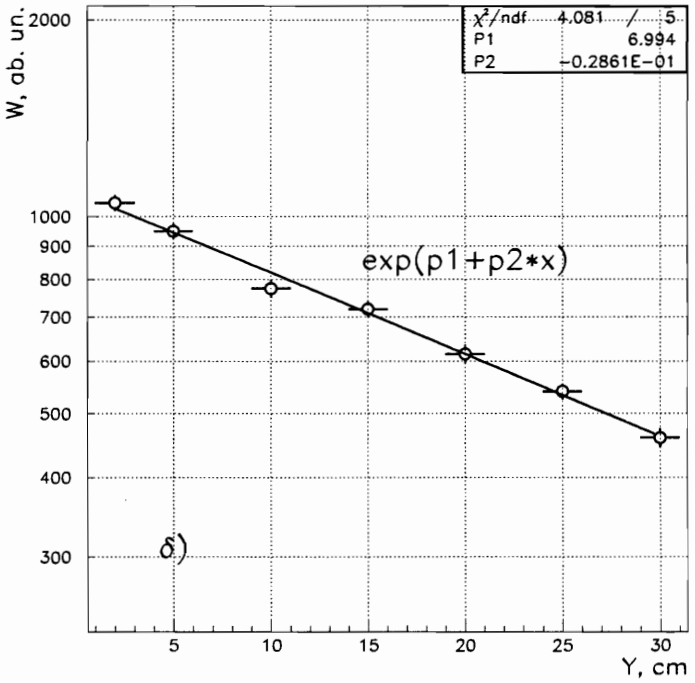
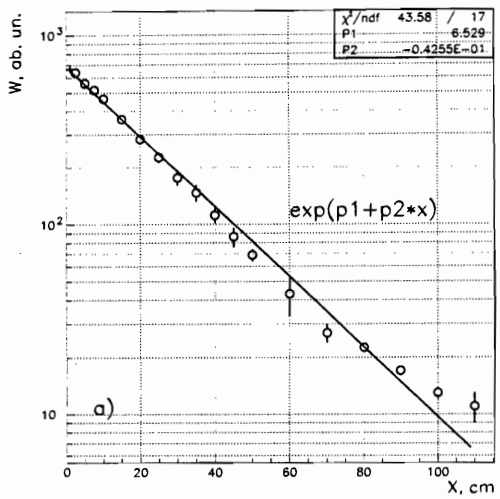
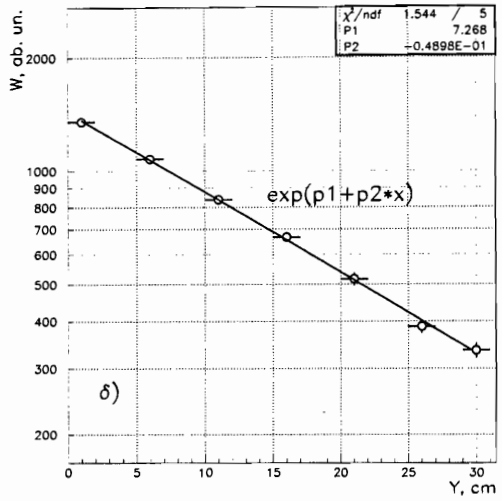


Рис. 7. Кривые затухания света в экструдированном сцинтилляторе сечением 5×330 мм^2: а) вдоль и б) поперек полосы. Возбуждение сцинтилляций производилось светом азотного лазера.





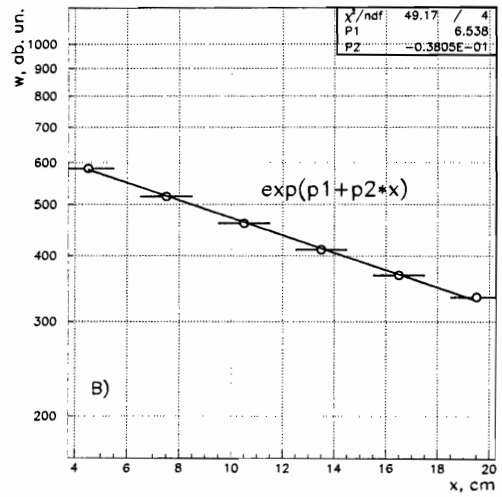


Рис. 8. Кривые затухания света в экструдированном сцинтилляторе сечением 3×330 мм^2: а) вдоль и б) поперек полосы. Возбуждение сцинтилляций производилось светом азотного лазера. На рис.8в изображены данные, полученные при возбуждении сцинтиллятора в процессе сканирования коллимированным β-источником вдоль полосы.

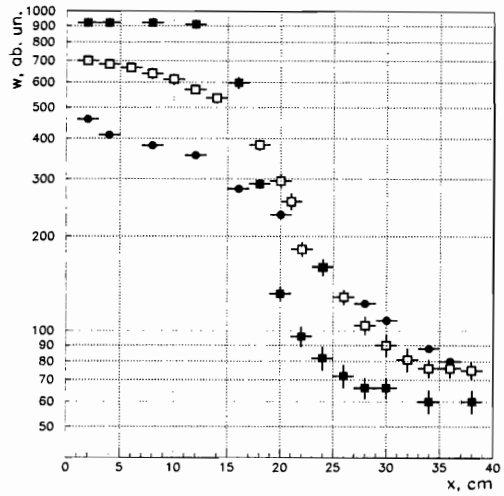


Рис. 9. Зависимость затухания света в геометрии псевдоячейки (смотри рис.6б) при разных расстояниях от линии сканирования (в направлении x) до спектросмещающего волокна (y):■ – y=50 мм; □ – y=150 мм и • – y=300 мм.

Заключение

В заключение следует отметить ряд особых возможностей экструзионного метода производства сцинтиллятора. Так, листы из экструдированного сцинтиллятора могут быть использованы при изготовлении сцинтилляционных пластин для ячеистых калориметров с проекционной геометрией. В этом случае большой набор типоразмеров сцинтилляционных пластин, по-видимому, дешевле изготовлять путем механического раскроя экструдированных листов, чем использовать множество пресс-форм в методе литья под давлением.

Кроме того, экструзионный метод легко позволяет получить профилированные изделия. В частности, методом экструзии могут быть изготовлены сцинтилляционные элементы годоскопов с пазами [6] и даже с продольными отверстиями [24] для размещения в них спектросмещающих волокон.

С помощью шнековых экструдеров, по-видимому, можно изготовлять длинные сцинтилляторы с более высокой прозрачностью ($\lambda_0 > 1$ м) из блочного сцинтиллятора, который успешно использовался при создании протяженных счетчиков для ряда физических установок [12-14]. При этом питание шнека экструдера может производиться как гранулированным, так и свежепластифицированным [25] материалом сцинтиллятора.

Считаем своим долгом поблагодарить за большую помощь на разных этапах исследований нового сцинтиллятора Г.Бритвича, О.Гаврищука, Ю.Гилицкого, Р.Еремеева, Н.Кузьмина, Ю.Михайлова, В.Онучина, П.Питухина, В.Шелехова, С.Черниченко и многочисленный технический персонал за реализацию ряда вспомогательных устройств и механические работы.

Список литературы

[1] Атоян Г.С. и др. // NIM, 1992, v. A320, p. 144; Препринт ИЯИ 736/91, Москва, 1991.

[2] David G. et al. // IEEE TRANS. on Nucl. Sci., 1996, v.43, № 3, p.1491.

[3] Kryshkin V.I. et al. Preprint IHEP 92-95, Protvino, 1992.

[4] Buzulutskov A.F. et al. Preprint IHEP 92-86, Protvino, 1992.

[5] Dolgopolov A.V. et al. Preprint IHEP 94-67, Protvino, 1994.

[6] Akimenko S.A. et al. Preprint IHEP 94-94, Protvino, 1994.

[7] Барков Б.П. и др. Препринт ИФВЭ 93-122, Протвино, 1993.

[8] Битюков С.И. и др. // ПТЭ, 1989, № 4, с. 58; Препринт ИФВЭ 87-172, Серпухов, 1987.

[9] Кадыков М.Г. и др. Препринт ОИЯИ 13-90-16, Дубна, 1990.

[10] Беликов С.В. и др. Препринт ИФВЭ 95-91, Протвино, 1995.

[11] Алимова Т.В. и др. Препринт ИФВЭ 86-35, Серпухов, 1986.

[12] Виноградова Н.В. и др. Препринт ОИЯИ 13-88-176, Дубна, 1988.

[13] Аммосов В.В. и др. Препринт ИФВЭ 89-210, Протвино, 1989.

[14] Вишневский Н. К. и др. Препринт ИФВЭ 94-139, Протвино, 1994.

[15] Голутвина И.Г. и др. // ПТЭ, 1976, № 4, с. 91.

[16] Thevenin J.C. et al. // NIM, 1980, v.969, p. 53.

[17] Беликов С.В. и др. Препринт ИФВЭ 95-118, Протвино, 1995.

[18] Архангельский Б.В. и др. Препринт ИФВЭ 87-41, Серпухов, 1987.

[19] The MINOS Collaboration. P-875: A long-baseline Neutrino Oscillation Experiment at Fermilab; NuMI -L-184, 1996.

[20] Бреховских В.В. и др. // ПТЭ, 1992, № 6, с. 95.

[21] Семенов Б.В. // ПТЭ, 1994, № 5, с. 58.

[22] Васильченко В.Г. и др. Препринт ИФВЭ 94-111, Протвино 1994.

[23] Крышкин В.И. и др. Препринт ИФВЭ 95-120, Протвино 1995.

[24] Adams M. et al. Preprint FERMILAB - Pub - 95/027-E.

[25] Шенкель Г. Шнековые прессы для пластмасс. – Л.: Гос. научно-техническое издательство химической литературы, 1962, с. 236, 435.

Рукопись поступила 24 января 1997 г.

В.К.Ананьев и др.
Новый экструдированный сцинтиллятор из технического полистирола.

Оригинал-макет подготовлен с помощью системы LaTeX.
Редактор Л.Ф.Васильева. Технический редактор Н.В.Орлова.

Подписано к печати 04.02.97 г. Формат 60 × 84/8. Офсетная печать.
Печ.л. 1,37. Уч.-изд.л. 1,05. Тираж 240. Заказ 991. Индекс 3649.
ЛР №020498 06.04.92.

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

Индекс 3649

П Р Е П Р И Н Т 97-1, И Ф В Э, 1997