

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

A 622

13-88-779

В.В.Аммосов*, В.А.Гапиенко*, И.Г.Голутвина,
А.Г.Денисов*, Л.Я.Жильцова,
В.Г.Лапшин*, А.И.Малахов, Е.Н.Матвеева,
Е.А.Мельников*, Т.Д.Пилипенко, О.Г.Рубина,
В.И.Рыкалин*, А.Ю.Семенов

ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЛОС, ИЗГОТОВЛЯЕМЫХ ИЗ
ПОЛИСТИРОЛЬНОГО СЦИНТИЛЛЯТОРА,
ПРОИЗВОДИМОГО В ЛВЭ ОИЯИ

Направлено в журнал
"Приборы и техника эксперимента"

* Институт физики высоких энергий, Серпухов

1988

1. ВВЕДЕНИЕ

Сцинтилляционные полосы и стержни, изготовленные из полистирола с растворенными в нем переизлучающими добавками, находят широкое применение в детекторах элементарных частиц. Постоянное продвижение по шкале энергий в сторону больших значений требует увеличения размеров детекторов, что приводит ко всевозрастающему спросу на сцинтилляционные материалы.

Одним из самых производительных методов, позволяющих получать крупногабаритный сцинтиллятор с качественной поверхностью, является экструзионный метод, описанный в /1/. В этой же работе приведены некоторые свойства сцинтилляционного материала, полученного на основе стирола, очищенного и полимеризованного в ИФЗ. Характеристики пластического сцинтиллятора, изготовленного в ЛЯП ОИЯИ, приведены в /2/.

Целью настоящей работы является описание характеристик сцинтилляционных полос, выдавленных экструзионным методом из полистирольного пластического сцинтиллятора, очищенного и полимеризованного в ЛФЗ ОИЯИ. Результаты, приводимые здесь, основаны на измерении полос сечением 200×10 мм² и 40×5 мм² и длиной 2 метра, произведенных в 1986-1987 годах при экструдировании около 1,5 т сцинтиллятора.

Полистирольные пластмассовые сцинтилляторы /ПС/, изготавливаемые методом блочной полимеризации в ОИЯИ, получают в режиме, обуславливающем аморфность полимера /3/.

Такое состояние полимера характеризуется фиксированным беспорядочным расположением макромолекул друг относительно друга и весьма ограниченной подвижностью их звеньев. Тепловые движения ограничиваются колебательными движениями отдельных звеньев или их групп.

С повышением температуры, когда энергия тепловых колебательных движений макромолекул увеличивается, а при достаточной величине этой энергии начинает проявляться их гибкость, полимер переходит из стеклообразного в высокоэластичное состояние. В этом втором состоянии аморфного полистирола достаточно сравнительно небольших напряжений, чтобы вызвать перемещение отдельных участков полимерных цепей и их ориентацию в направлении действующей силы. Наряду с ориентацией звеньев цепи происходит и изменение формы, а затем, при длительном

действию нагрузки и достаточно больших величинах деформации, и ориентация самих макромолекул.

Описанный переход из аморфного в высокоэластичное состояние, а затем ориентация макромолекул осуществляются при вытягивании полистирола в пленки.

Этот процесс приводит к тому, что силы Ван-дер-Ваальса, действующие между выпрямленными макромолекулами, значительно возрастают, а прочные химические связи в них располагаются вдоль направления вытяжения.

Именно поэтому ориентация молекул в процессе вытягивания полимеров оказывает большое влияние на их механические свойства, например повышает прочность на разрыв.

Принимая во внимание специфику использования полистирола в качестве основы ПС, представляется интересным сравнить также сцинтилляционные свойства аморфного неориентированного и вытянутого полимеров.

2. МЕТОДИКА ОБМЕРА СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫХ ПОЛОС

Определение характеристик сцинтилляционных полос осуществлялось с использованием в качестве элемента, возбуждающего сцинтиллятор, радиоактивного источника ^{90}Sr . Для регистрации сцинтилляционного света применялся фотоумножитель, который

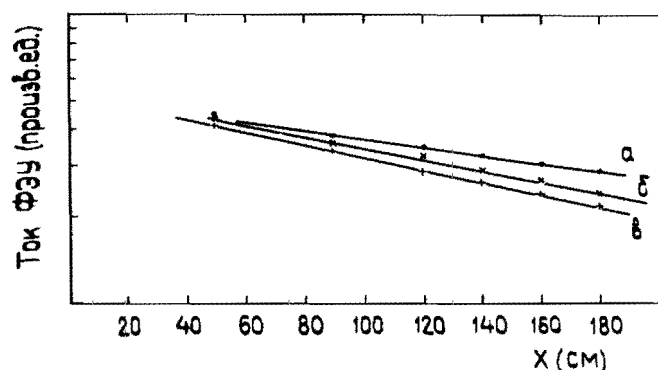


Рис. 1. Зависимость среднего значения тока с анода ФЭУ-110 от расстояния X при обмере 2-метровой полосы сечением $200 \times 10 \text{ мм}^2$ для случаев: а/ торец не покрыт черным лаком, б/ торец заклеен черной изоляцией, в/ торец покрыт черным лаком.

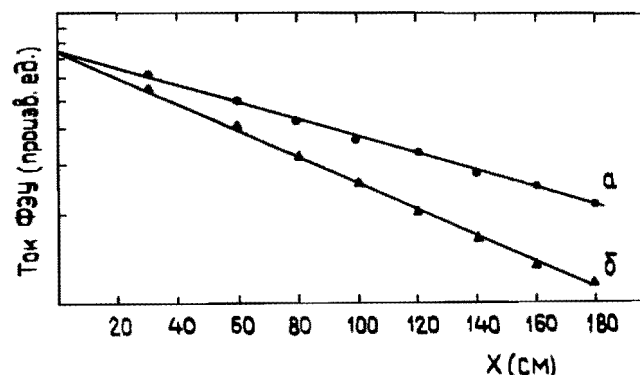


Рис. 2. Зависимость среднего тока с анода ФЭУ-110 от расстояния X при обмере 2-метровой полосы сечением $200 \times 10 \text{ мм}^2$ до /а/ и после /б/ того, как эту полосу держали в руках без перчаток.

присоединялся без оптического контакта к одному из торцов полосы. Был использован ФЭУ-110, поскольку максимум его световой чувствительности $\lambda_{\text{max}} \approx 480 \text{ нм}$ [5] лежит в диапазоне сцинтилляции полистирола со стандартной добавкой $\text{PPO} + \text{POPOP}$. Определение характеристик заключалось в измерении зависимости тока фотоумножителя (I) от расстояния (X) между ФЭУ и радиоактивным источником, перемещаемым по полосе. Полученные экспериментальные точки аппроксимировались выражением $A \cdot \exp(-X/L)$, в результате чего определялась длина затухания L и светимость A /произвольные единицы/.

Чтобы результаты измерения не зависели от длины полосы, необходимо устранять эффект отражения сцинтилляционного света от противоположного к ФЭУ торца полосы. С этой целью перед проведением обмера один из торцов полос обязательно покрывался черным лаком. Важность такой операции демонстрирует рис. 1, на котором показана зависимость тока I от расстояния X для одной и той же полосы сечением $200 \times 10 \text{ мм}^2$ для следующих случаев:

- а/ торец не покрыт черным лаком;
- б/ торец заклеен черной изоляцией;
- в/ торец покрыт черным лаком.

Попытка аппроксимации данных "а", "б" и "в" выражением $A \cdot \exp(-X/L)$ приводит к различным величинам: $L = 300 \text{ см}$ для "а", $L = 250 \text{ см}$ для "б" и $L = 200 \text{ см}$ для случая "в". Как следует из рис. 1, даже чернение торца с помощью черной изоляцией не позволяет избавиться от отражения от этого торца сцинтилляци-

онного света, что приводит к неправильному определению значений L .

При работе со сцинтилляционным материалом приходится соблюдать правила гигиены. Как иллюстрация этого, на рис. 2 приведены результаты обмера одной и той же полосы до /рис. 2а/ и после /рис. 2б/ того, как эту полосу держали в руках без перчаток. После загрязнения поверхности жиром рук количество света, приходящегося с 2-метровой полосы на фотокатод ФЭУ, уменьшилось почти в 2 раза.

3. ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЛОС СТАНДАРТНОГО СОСТАВА

Для 50 полос сечением $200 \times 10 \text{ мм}^2$ и длиной 2 м, изготовленных из полистирола со "стандартной" добавкой: 1,5% РР0 /либо 1,5% Р-терфенила/ и 0,01% РОРОР, на рис. 3 приведено полученное распределение по длине затухания. Распределение довольно широкое, значения L лежат в диапазоне 140-250 см при средней величине $\langle L \rangle = 180-190 \text{ см}$. Это несколько меньше, чем величина $L = 290 \text{ см}$, приведенная в работе /1/ для полос подобного сечения и состава. Различие, однако, можно объяснить тем, что результаты работы /1/ получены при чернении торца черной лентой, а это, как было показано выше, дает завышение величины L .

В пределах ошибок измерений не было обнаружено разницы ни в светимости, ни в длинах затухания для полос, содержащих в качестве первичной добавки РР0, и полос, содержащих Р-терфенил. Не было замечено разницы между полосами, полученными из стирола, подвергнутого однократной перегонке, и полосами из стирола двойной перегонки.

Абсолютное значение A получено при помещении полосы сечением $200 \times 10 \text{ мм}^2$ в поток релятивистских мюонов. Свет с полосы сводился с помощью световода на фотокатод ФЭУ-110 /без оптического контакта/, обладающего световой чувствительностью $S = 170 \text{ мА/лм}$. При потерях в световоде, характеризующихся

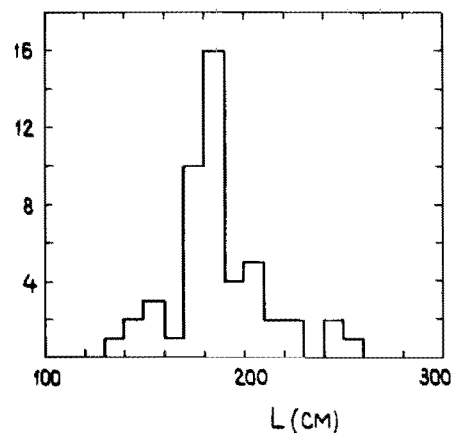


Рис. 3. Распределение по длине затухания для экструдированных 2-метровых полос сечением $200 \times 10 \text{ мм}^2$.

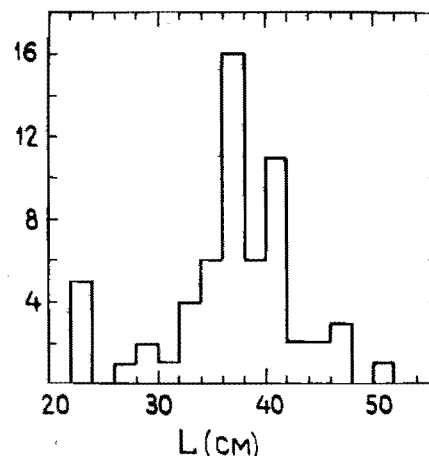


Рис. 4. Распределение по длине затухания для 1-метровых полос сечением $40 \times 5 \text{ мм}^2$, изготовленных из аморфного полистирола.

фактором 1,6, релятивистская частица, прошедшая через полосу вблизи ФЭУ, давала в среднем около 70 фотоэлектронов.

Обмер полос меньшего сечения, $40 \times 5 \text{ мм}^2$, показал, что затухание света в них характеризуется длиной $\langle L \rangle = 160-170 \text{ см}$. Таким образом, хотя число отражений света от граней полосы при переходе от сечения $200 \times 10 \text{ мм}^2$ к сечению $40 \times$

5 мм^2 должно возрасти в несколько раз, величина уменьшилась не очень сильно. Это говорит о хорошем качестве поверхности полос, получаемых методом экструдирования, и, следовательно, длина затухания определяется, в основном, объемной прозрачностью сцинтиллятора.

Обмер полос сечением $40 \times 5 \text{ мм}^2$ и длиной 1 м /рис. 4/, изготовленных в ЛВЭ ОИЯИ из аморфного полимера со "стандартной" добавкой и обработанных на фрезерном станке с последующей полировкой, подтверждает предположение о том, что ориентация молекул в полистироле существенно повышает его прозрачность.

4. МОЖНО ЛИ УВЕЛИЧИТЬ ПРОЗРАЧНОСТЬ МАТЕРИАЛА?

Невысокая длина затухания $L \approx 180 \text{ см}$, определенная для полос сечением $200 \times 10 \text{ мм}^2$, может стать ограничением при попытке создать высокоэффективный сцинтилляционный счетчик длиной более 5 м. Поэтому был предпринят ряд усилий в надежде получить полосы с лучшими значениями L .

Прежде всего было изучено, зависят ли характеристики полос от режима экструдирования. Оказалось, что полосы, выдавленные из одного блока сцинтиллятора, имеют близкие характеристики, на которые практически не влияют изменения тех параметров процесса экструдирования /например, температуры, фильеры/, которые можно варьировать в некоторых пределах.

Поскольку прозрачность сцинтиллятора может ограничиваться содержащимися в нем добавками, были изготовлены и обмерены

2-метровые полосы с пониженным содержанием первичной сцинтилляционной компоненты. Однако уменьшение РРО/РТ/ ниже 1% привело лишь к уменьшению величины А, никак не сказавшись на длине затухания.

На основе проведенного в работе^{/4/} расчета предполагается, что прозрачность полистирола возрастает с увеличением длины волны света. Поэтому было бы интересно заменить вторичную РОРОР ($\lambda \approx 420$ нм) на более длинноволновую. С целью проверки этого предположения было "сварено" /полимеризовано/ несколько блоков сцинтиллятора, содержащего в качестве первичной добавки 1,5% Р-терфенила, а в качестве вторичной - 0,01% таких веществ, как КУМАРИН - 7 ($\lambda \approx 510$ нм), КУМАРИН - 30 ($\lambda \approx 480$ нм), и пиразолиновые соединения ДСП ($\lambda \approx 460$ нм) и ДБП ($\lambda \approx 510$ нм). Величины А и L, усредненные по нескольким "варкам", приведены в таблице. Из таблицы видно, что на возможное увеличение прозрачности сцинтиллятора указывают лишь данные по обмеру полос, содержащих ДБП. Всего было экструдировано 3 блока сцинтиллятора, полимеризованных в ДБП. Из этих трех блоков были получены полосы с длиной затухания $L > 250$ см. Согласно же распределению, приведенному на рис. 3, вероятность найти в трех случайно выбранных блоках полосы с длиной затухания выше 2,5 м чрезвычайно мала.

Таблица

Характеристики двухметровых полос сечением 200×10 мм² при разных вторичных добавках

Вторичная добавка, 0,01%	Светимость, отн. ед.	Длина затухания, см
РОРОР	1,00	185
КУМАРИН-7	0,40	160
КУМАРИН-30	0,85	170
ДСП	0,85	170
ДБП	0,70	270

Авторы выражают свою искреннюю благодарность Л.И.Петрухину за помощь, оказанную при экструдировании полос.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алимова Т.В. и др. Препринт ИФВЭ 86-35, ОЭФ, Серпухов, 1986.
2. Виноградова Н.В. и др. Препринт ОИЯИ 13-88-176, Дубна, 1988.
3. Жильцова Л.Я. и др. Препринт ОИЯИ 12-9793, Дубна, 1976.
4. Oikava S., Fujiki M., Katayama Y. - Electr. Lett., 1979, v.15, No.25, p.829.
5. Евдокимов В.Н., Поляков В.А., Рыкалин В.И. - ПТЭ, 1987, 4, с.151.

Рукопись поступила в издательский отдел
1 ноября 1988 года.