

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ
ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ СССР
ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

И Ф В Э 86-127
ОЭФ

Т.В.Алимова, В.Г.Васильченко, Г.Н.Вечканов,
А.М.Горин, А.А.Зайченко, В.Е.Рахматов,
А.И.Ронжин, В.И.Рыкалин

СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫЕ ГОДСКОПЫ
НА ОСНОВЕ ГОДСКОПИЧЕСКИХ ФЭУ
С ПРИМЕНЕНИЕМ СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫХ ВОЛОКОН

Направлено в ПТЭ

Аннотация

Алимова Т.В., Васильченко В.Г., Вечканов Г.Н. и др. Сцинтилляционные годоскопы на основе годоскопических ФЭУ с применением сцинтилляционных волокон: Препринт ИФВЭ 86-127. - Серпухов, 1986. - 11 с., 2 табл., 3 рис., библиогр.: 19 ил. зв.

Рассмотрены характеристики сцинтилляционных годоскопов и их конструктивные особенности. Пространственное разрешение годоскопов составило $\sigma_x = 0,4 \pm 0,6$ мм при использовании четырех слоев сцинтилляционных волокон длиной 200 мм и диаметром 1 мм. При двух слоях волокон длиной 1 м и диаметром равным 3,8 мм получено пространственное разрешение $\sigma_x < 3,1$ мм. Показана возможность создания сцинтилляционных годоскопов с разрешением 0,1 мм.

Abstract

Alimova T.V., Vasilchenko V.G., Vechkanov G.N. et al. Scintillation Hodoscopes on the Basis of Hodoscope PMS Using Scintillation Fibres: IHEP Preprint 86-127. - Serpukhov, 1986. - p. 11, tables 2, figs. 3, refs.: 19.

Scintillation hodoscopes characteristics and their features have been considered. The space resolution for hodoscopes consisting of 4 layers scintillation fibres 200 mm long and 1 mm in diameter is $\sigma_x = 0.4 \pm 0.6$ mm. With 2 fibres layer 1 m long and 3.8 mm in diameter the space resolution $\sigma_x < 3$ mm has been obtained. A possibility to construct 0.1 mm resolution scintillation hodoscopes is discussed.

При регистрации частиц в условиях больших загрузок находят применение годоскопические сцинтилляционные детекторы, состоящие обычно из сцинтилляционных полос или стержней и фотоумножителей. Достигнутый в последние годы прогресс в развитии фотоприемников^{1-3/} и сцинтилляционных волокон^{4-6/} позволил разработать годоскопы с высоким пространственным разрешением на основе позиционно-чувствительных ФЭУ^{1,2,7,8/} и лавинных фотодиодов^{9/}. В данной работе рассмотрены конструктивные особенности и характеристики годоскопов на основе годоскопических ФЭУ (ГФЭУ) и сцинтилляционных волокон.

1. КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ КАССЕТ ИЗ СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫХ ВОЛОКОН И СТЕРЖНЕЙ ДЛЯ ГОДОСКОПОВ

Конструкции кассет для годоскопов на основе сцинтилляционных волокон и стержней представлены на рис. 1. Рабочая область кассеты состоит из нескольких, например, двух рядов (рис. 1а) сцинтилляционных элементов (1), уложенных вплотную друг к другу, и проклеенных кремнийорганическим компаундом типа СИЭЛ (2) с добавлением до 30% по весу окиси титана TiO_2 . Использование TiO_2 позволяет светозащитировать каждый элемент кассеты. Сцинтилляционные элементы укладываются в разборную металлическую рамку (3), окна которой заклеены черной бумагой (4). Полированные торцы элементов кассеты с одной стороны присоединяются к фотокатоду (5) ГФЭУ, а с другой - покрываются светоотражающим покрытием. В случае двойных сцинтилляционных годоскопов^{1,8/} обе торцевые поверхности кассет присоединяются к соответствующим ГФЭУ.

Длина фотокатода ГФЭУ-30 не превышает 200 мм^{1/}, поэтому для ряда применений, когда необходим большой размер рабочей области кассеты вдоль фотокатода, сцинтилляционные элементы на фотокатод ГФЭУ разводятся на выбранное число рядов n (на рис. 1б $n = 5$). При этом используется вся ширина фотокатода, составляющая 20÷25 мм. Центры сцинтилляционных элементов каждого ряда последовательно сдвигаются в продольном направлении на величину Δ/n , где Δ - выбранная величина (на рис. 1б $\Delta = d$, d - диаметр

сцинтилляционного элемента). Такой прием позволяет, для рассматриваемого случая, увеличить ширину рабочей области двухслойной кассеты в 2,5 раза.

Характеристики отечественных волокон и стержней для кассет годоскопов приведены в работе^{/6/}. Сцинтилляторы, использованные для изучения характеристик годоскопов, были изготовлены методом экструзии из расплава полистирола с добавками РТР или РРО и РОРОР (максимум спектра излучения = 420 нм). Типичная длина затухания света в волокнах диаметром около 4 мм составляет 90±110 см, а диаметром 1–2 мм – около 60 см^{/6/}. Здесь следует указать, что на начальных участках волокон (< 30 см) длина затухания составляет 15±18 см.

Многослойные кассеты из сцинтилляционных волокон предполагается изготавливать следующим образом: на многогранную оправку с закрепленными на ней рамками наматываются экструдированные волокна – ряд за рядом, затем полученный блок пропитывают клеящим составом и разрезают на отдельные кассеты.

2. ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАЗРЕШЕНИЕ СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫХ ВОЛОКОННЫХ ГОДОСКОПОВ

Результаты измерения пространственного разрешения и числа фотоэлектронов, выбиваемых сцинтилляциями от релятивистских частиц из фотокатода ГФЭУ, для сцинтилляционных годоскопов с различными типами кассет и волокон представлены в табл. 1, где $N_{\text{ФЭ}}/\ell$ – среднее число фотоэлектронов для частицы, пересекающей кассету на расстоянии ℓ от начала кассеты. Кассета №6 изготовлена из опытных образцов волокон, имеющих керн из сополимера стирола с полиметилметакрилатом (ПММА), $n = 1,585$, добавки: 1,5% РРО + 0,01% РОРОР; *) – расчетные величины; $\sigma_x^{\text{пр}}$ – величины пространственного разрешения, приведенные к толщине сцинтиллятора, равной 5 мм.

Измерения пространственного разрешения сцинтилляционных годоскопов проводились на пучках релятивистских частиц и с помощью коллимированного пучка электронов от радиоактивного источника ^{106}Ru по обычной схеме измерения временных интервалов^{/1/}, в которой используется стартовый сцинтилляционный счетчик, расположенный за кассетой по направлению пучка. Стоповым сигналом служит выходной сигнал с ГФЭУ. Следует отметить, что при измерениях с источником ^{106}Ru и использовании фотоумножителей типа ФЭУ-87 аппаратурная функция 2τ (ширина на половине высоты) в некоторых случаях была не лучше 1,5±3,5 нс. Это вносит заметный вклад в пространственное разрешение при малых диаметрах волокон. Поэтому для годоскопов с кассетами №№5,6 в скобках указано пространственное разрешение σ_x с поправкой на аппаратурную функцию.

Таблица 1. Характеристики головок

№ п/п	Тип кассеты	Сечение элементов (волокон), мм	Число слоев	Высота кассеты, мм	Оболочка волокон	N / l, см	Удельн. нагрузка Гц/см	Пространственное разрешение $\sigma_x/\sigma_{\text{пр}}$ головок, мм		Эффективность регистрации, %	Примечания, ссылки
								одинарный	двойной		
1.	Рас.1а	$\emptyset 3,5 \times 3,8$	2	100	СИЭЛ	8,5/65	18	2,3/2,6	1,63/1,83 ^(*)	88	
2.	Рас.1б	$\emptyset 3,5 \times 3,8$	2	100	СИЭЛ	9,5/65	18	3,1/3,5	2,2/2,47 ^(*)	88	
3.	Рас.1а	$\emptyset 2,0 \times 2,2$	2	20	СИЭЛ+TiO ₂	14/10	18	1,1/0,94	0,78/0,66 ^(*)	88	
							30	0,9/0,77	0,64/0,54 ^(*)	88	
4.	Рас.1а	$\emptyset 0,9$	4	20	СИЭЛ+TiO ₂	8/10	25	0,6/0,50	0,4/0,33	88	Однокомпонентное синтетическое волокно (1,5% PPO), Залюка СИЭЛ + TiO ₂
5.	Рас.1а	$\emptyset 0,9$	6	6	СИЭЛ+TiO ₂	12±13/6	30	0,7(0,6)/0,48	0,35/0,34 ^(*)	88	
6.	Рас.1а	$\emptyset 0,9$	12	6	фторид ПММА	3,5/6	30	0,5(0,4)/0,32	0,28/0,22 ^(*)	-	
7.	Стандарт.	5x5	1	20	нет	45/10	22	1,4	1,4	98	/16/
8.	Стандарт.	2,5x5	1	20	нет	20/10	22	0,65/0,65	0,38/0,45 ^(*)	88	/16/
9.	Стандарт.	3x5	1	20	нет	28/10	22	0,87	0,61	97,6	/17/
10.	Стандарт.	2x5	1	20	нет	19,6/10	22	0,78	0,6	95,3	/17/
11.	Рас.1а	$\emptyset 2 \times 4$	2	50	silicone	-	-	0,3±0,6	-	80	/4/
12.	-	5 мм по пучку	-	-	-	-	-	0,4	-	88	/2/

При работе на пучках релятивистских частиц ширина аппаратурной функции лучше 1 нс, и ее вкладом в пространственное разрешение можно пренебречь. Для двойных сцинтилляционных годоскопов^{/1,8/} пространственное разрешение примерно в $\sqrt{2}$ лучше, чем в одинарном. Расчетные или измеренные величины пространственного разрешения двойных годоскопов также приведены в табл. 1.

Для сравнения пространственного разрешения при использовании в годоскопах сцинтилляционных кассет различных типов с неодинаковой толщиной сцинтиллятора по пучку частиц в табл. 1 указаны значения разрешения, приведенные к толщине 5 мм, $\sigma_x^{\text{пр}}$. В использованных сцинтилляционных кассетах (рис. 1а) соседние волокна (стержни) смещены вдоль фотокатода на половину диаметра волокна. Для двухслойной кассеты и волокон или стержней с диаметром d минимальная толщина сцинтиллятора по пучку составляет $\approx d$, а максимальная — $\sqrt{3}d$. Приведенные величины пространственного разрешения $\sigma_x^{\text{пр}}$ соответствуют максимальному значению толщины сцинтиллятора, т.е. заведомо занижены. Пространственное разрешение определялось при прохождении частиц на расстоянии l от начала кассеты.

Как видно из табл. 1, для кассет с высотой сцинтилляторов 20 см при диаметре волокон 2,0–2,2 мм (№3) пространственное разрешение сравнимо со случаем кассеты из сцинтилляционных палочек 2x5 мм². Заметно лучшим становится разрешение при использовании однокомпонентных волокон $\varnothing 0,9$ мм (№4). Разрешение двойного сцинтилляционного годоскопа с такими волокнами при размерах рабочей области около 200x200 мм² уже почти вдвое превосходит разрешение обычных пропорциональных камер ($\sigma_x = 0,6$ мм). При использовании однокомпонентного волокна (1,5% РРО) улучшение пространственного разрешения по сравнению со случаем обычного двухкомпонентного (1,5% РРО; 0,01% РОРОР) может происходить как за счет улучшения перекрытия спектра излучения сцинтиллятора со спектральной чувствительностью фотокатода ГФЭУ/10/, так и за счет уменьшения длительности фронта нарастания сцинтилляционного сигнала, соответственно, от 0,8 до 0,2 нс. Наиболее высокое пространственное разрешение было получено при использовании двухслойных сцинтилляционных волокон диаметром 0,3 мм (№6).

Следует отметить, что важным преимуществом годоскопов с многослойными кассетами из волокон или стержней является высокая, более 99%, эффективность регистрации частиц.

Опыт работы показывает, что для кассет размером 200x200 мм² лучше использовать волокна из СИЭЛ+TiO₂. Достоинствами такой оболочки является большая, чем у чистого СИЭЛа, механическая прочность и обеспечение светоизоляции элементов кассеты.

Одним из путей создания кассет с высотой ~ 1 м является использование двухслойных оптических сцинтилляционных стержней (волокон).

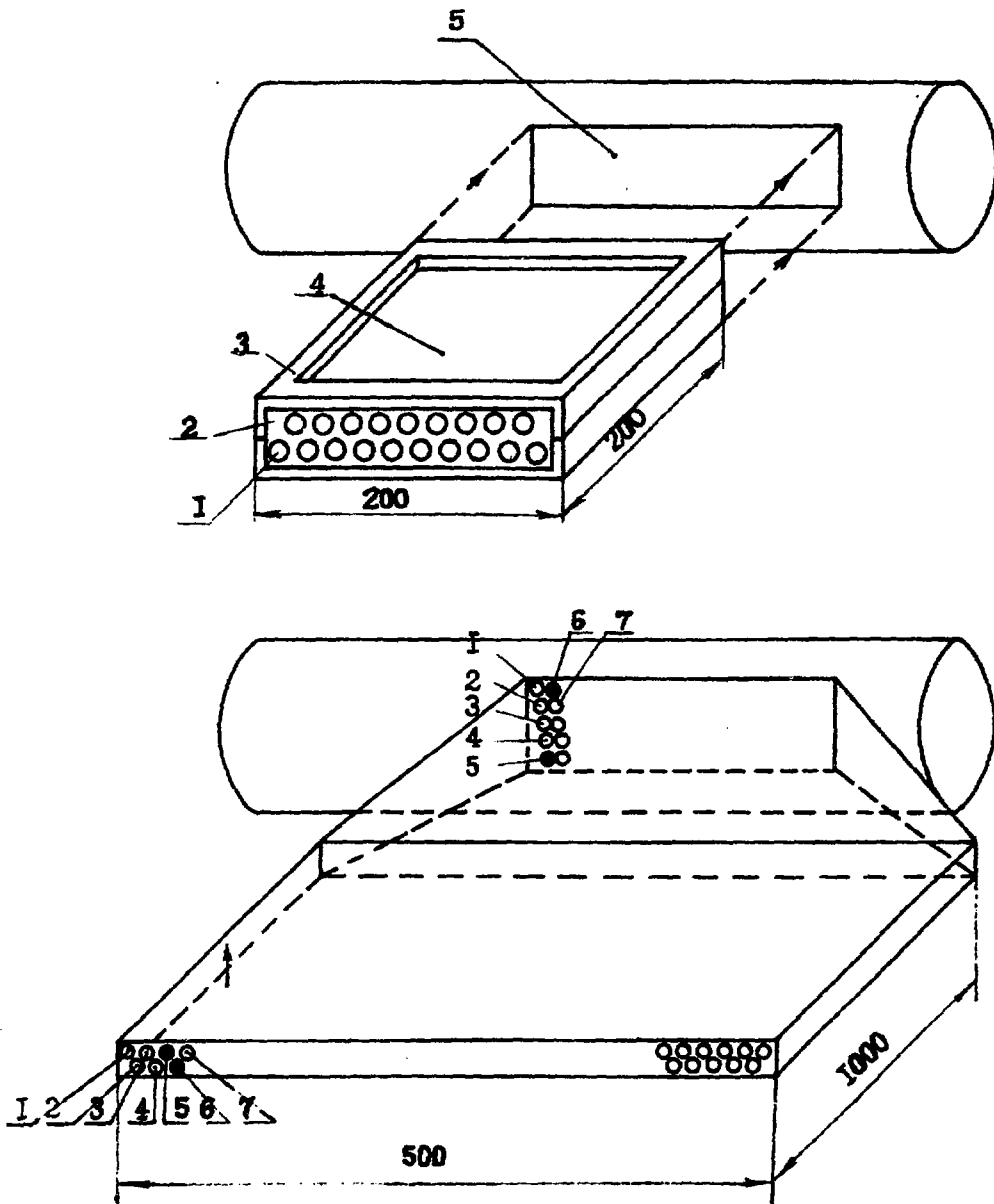


Рис. 1. Конструкция волоконных кассет: а) стандартного годоскопа $200 \times 200 \text{ мм}^2$, 1 - синтилляционные волокна, 2 - светонезащищающий компаунд, 3 - сборная металлическая рамка, 4 - светонезащищающие окна рамки, 5 - фотокатод ГФЭУ; б) годоскопа с широкой рабочей областью. 1, 2, ... - схема укладки волокон в кассете и на фотокатоде. Стрелкой обозначена частица, пересекающая волокна 5 и 6 (зачернены).

Возможным вариантом конструкции кассет для годоскопов размером до $0,5 \times 1 \text{ м}^2$ является кассета, приведенная рис. 16. Следует отметить, что регулярная укладка концов волокон в несколько рядов на поверхности фотокатода ГФЭУ является довольно сложной технологической задачей.

Пространственное разрешение годоскопов зависит от типа мод временной привязки к выходному сигналу ГФЭУ/11/. Лучшее разрешение дают формирователи, обеспечивающие "слежение" за амплитудой, длительностью и формой выходного сигнала ФЭУ. На рис. 2а приведены расчетные зависимости положения центра тяжести пространственного распределения световых выходов от координат прохождения частиц для кассеты (см. рис. 1а), состоящей из уложенных вплотную друг к другу круглых стержней. В данной работе использовались формирователи типа Ф-103К/12/ (привязка к точке пересечения нуля продифференцированным импульсом) и УД/13/ (привязка к постоянной фракции импульса). Экспериментальные зависимости положения среднего значения временных распределений от координаты прохождения частицы показаны на рис. 2б. Фрагменты этих графиков с указанием ошибок измерений и нормировкой в одной точке изображены на рис. 2а. Лучшие результаты обеспечивает формирователь УД. Измерения показали, что для кассеты годоскопа, показанной на рис. 1б, оба формирователя дают одинаковую точность. Следует ожидать, что при диаметрах сцинтилляционных стержней около 4 мм в кассетах обоих типов (рис. 1а и 1б) пространственное разрешение может быть улучшено в случае использования формирователя/14,15/ с привязкой к математическому центру тяжести импульса ГФЭУ. Определенный эффект от применения такого формирователя/15/ должен наблюдаться и для кассеты с перекрывающимися сцинтилляторами/16/.

Полученный спектр временного (пространственного) разрешения одинарного сцинтилляционного годоскопа №6 (табл. 1) с формирователем/13/ для удельной задержки ГФЭУ-30, равной 30 нс/см, представлен на рис. 3. Ширина спектра 2τ на полувысоте составляет 4,3 нс (аппаратурное разрешение - $2\tau \approx 3,5$ нс). Подобные спектры получены при пороге формирователя, равном удвоенному значению средней амплитуды одноэлектронного сигнала \bar{V}_e ГФЭУ-30/8/. Уменьшение порога формирователя до уровня $0,1 \bar{V}_e$ приводит к появлению ~1% широкой подложки (± 20 мм), вызванной регистрацией однофотонных сигналов, коррелированных по времени со сцинтилляционной вспышкой. Их появление обусловлено, главным образом, отражением света. При пороге, равном $2\bar{V}_e$, для получения эффективности сцинтилляционных годоскопов более 99% необходимо, чтобы среднее значение числа фотоэлектронов в сцинтилляционной вспышке превышало 10. Эффективность регистрации волоконных сцинтилляционных годоскопов проверялась путем сравнения с эффективностью сцинтилляционного счетчика на пучке мюонов. На этом же

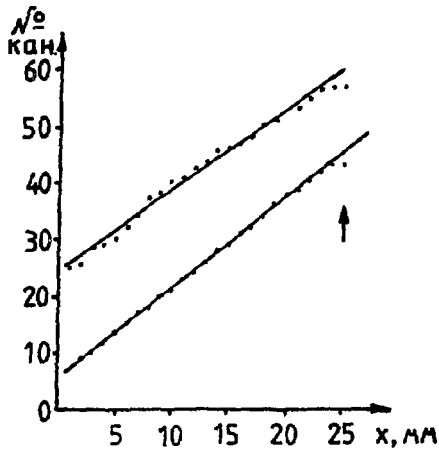
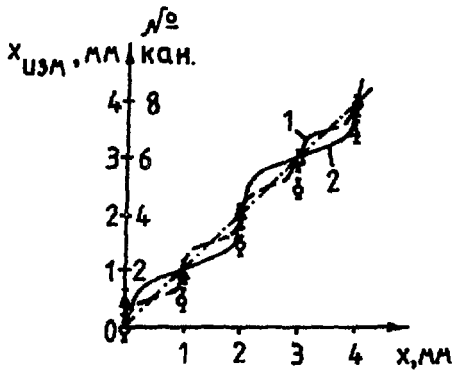


Рис. 2.
 Зависимость измеренной координаты частицы $x_{изм}$ (№ канала) от истинной x ; а) расчет для кассет из волокон при использовании привязки к математическому центру тяжести: 1 - диаметром 1 мм, 2 - диаметром 4 мм; б) измеренная зависимость положения среднего значения временного распределения ГФЭУ для мод временной привязки - Ф-103К/12/ - верхний график, его фрагмент на рис. 2а - о - (I - ошибки измерений); УД/13/ - нижний график, его фрагмент на рис. 2а-Δ. Стрелкой указан край кассеты.

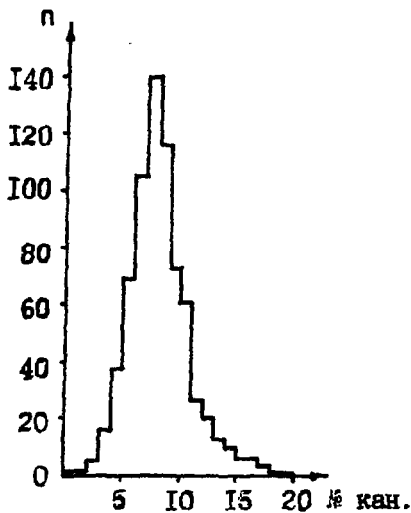


Рис. 3.
 Спектр пространственного разрешения для годоскопа №4, (табл. 1); использовался формирователь УД (по оси абсцисс 1 мм = 2,8 канала).

пучке измерялось число фотоэлектронов. Для сравнения в последних двух строках табл. 1 приведены основные характеристики сцинтилляционных годоскопов, описанных в работах^{1,2,4/}.

3. О ВОЗМОЖНОСТИ ДАЛЬНЕЙШЕГО УЛУЧШЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАЗРЕШЕНИЯ ГОДОСКОПОВ

Координатное разрешение сцинтилляционных годоскопов на ГФЭУ обсуждалось ранее^{1,8/}. При использовании временной привязки к центру тяжести импульса пространственное разрешение σ_x определяется выражением:

$$\sigma_x^2 = \frac{1 + \delta_y^2}{N_{\text{ФЭ}}} \left(\sigma_n^2 + \sigma^2 + \frac{\tau_{\text{СЦ}}^2}{t_x^2} \right), \quad (1)$$

где δ_y^2 - дисперсия усиления первых каскадов ГФЭУ, $N_{\text{ФЭ}}$ - число фотоэлектронов во вспышке, σ - одноэлектронное пространственное разрешение ГФЭУ, σ_n^2 - дисперсия координатного распределения области засветки элементом кассеты фотокатода ГФЭУ, $\tau_{\text{СЦ}}^2$ - дисперсия временного распределения фотонов во вспышке ($\tau_{\text{СЦ}} \approx 3$ нс), t_x - удельная задержка в ГФЭУ. Следует отметить, что оценки, полученные для пространственного разрешения из соотношения (1), мало отличаются от значений пространственного разрешения, полученных методом Монте-Карло для моды постоянной фракции сигнала^{8/}.

Для определения ширины засветки фотокатода необходимо учесть толщину s стекла входного окна ГФЭУ. Излучение вдоль волокна распространяется под углом, не превышающим $\theta = \pi/2 - \arcsin(n_1/n_2)$, где n_1 и n_2 - показатели преломления оболочки и ядра волокна. Это излучение во входном окне ГФЭУ распространяется под углом α , определяемом по закону преломления Снеллиуса: $n_3 \sin \alpha = n_2 \sin \theta$, где $n_3 = 1,52$ - показатель преломления стекла С52-1 входного окна ГФЭУ. В результате размер изображения торца одного волокна диаметром d на фотокатоде составит

$$h = d + \text{stg} \alpha = d + 2s \sqrt{\frac{n_2^2 - n_1^2}{n_3^2 - n_2^2 + n_1^2}}. \quad (2)$$

Для используемого полистирольного волокна^{6/} ($n_2 = 1,59$) в кремнийорганической оболочке ($n_1 = 1,38$) получим $\theta \approx 30^\circ$, $\alpha = 31,5^\circ$ и, следовательно, $h = (d + 1,26s)$ мм.

Одноэлектронное пространственное разрешение σ стандартных ГФЭУ-30 составляет около 1 мм^{8/}. При размерах области равномерной засветки вдоль фотокатода $\approx 3,5$ мм и $t_x \approx 30$ нс/см все члены суммы дисперсий в формуле (1) дают примерно одинаковый вклад в пространственное разрешение годоскопа.

Полученные оценки позволяют рассчитать пространственное разрешение сцинтилляционного годоскопа с кассетой на основе волокон^{/6/} и модой привязки к центру тяжести сигнала ГФЭУ. Результаты расчетов представлены в табл. 2. Расчет пространственного разрешения годоскопа, имеющего волокна $\varnothing 0,9$ мм, хорошо совпадает с экспериментом (табл. 1, № 5).

Таблица 2. Расчет пространственного разрешения годоскопов

№№ п/п	Удельн. задерж- ка, нс/см	Число фото- электр.	Простр. разреш. ГФЭУ, мм	Диаметр сцинт. волокон, мм	Пространств. разрешение $\sigma_x / \sigma_x^{\text{пр}}$, мм	
					одинарный	двойной
1.	30	12	1	0,9	0,48/0,47	0,35/0,34
2.	50	10	0,3	1	0,28/0,24	0,19/0,17
3.	50	20	0,3	1	0,19/0,17	0,14/0,12
4.	75	10	0,4	1	0,25/0,21	0,18/0,15
5.	75	20	0,4	1	0,18/0,15	0,15/0,11
6.	100	10	0,2	0,5	0,17/0,13	0,12/0,09
7.	100	20	0,2	0,5	0,12/0,09	0,08/0,09

Из таблицы и приведенных оценок видно, что для получения пространственного разрешения σ_x лучше 100 мкм для сцинтилляционного волокна с $\tau_{\text{сц}} \approx 3$ нс необходимо увеличить удельную задержку ГФЭУ до $t_x = 100$ нс/см и использовать ГФЭУ с повышенным пространственным разрешением^{/8/}. Дальнейшее улучшение пространственного разрешения может быть достигнуто за счет использования сцинтилляционных волокон с более коротким временем высвечивания^{/18,19/}, а также за счет уменьшения толщины фотокатодного окна. В случае годоскопов, ширина кассеты которых меньше длины фотокатода ГФЭУ, пространственное разрешение может быть улучшено и путем разводки концов волокон на всю длину фотокатода^{/1/}.

При увеличении удельной задержки до $t_x \approx 100$ нс/см общая задержка соответственно увеличится до $T \approx 2$ мкс. Для годоскопов с обычными системами съема информации^{/17/} это практически не уменьшит эффективности регистрации событий, поскольку время считывания информации существенно больше 2 мкс. Даже при уменьшении времени считывания до долей мкс указанное увеличение общей задержки не скажется на эффективности регистрации, так как скорость набора событий в экспериментальных установках не превышает, как правило, 1 кГц.

Специального рассмотрения требуют вопросы включения годоскопов на основе ГФЭУ с различными удельными задержками в триггеры второго и более высоких уровней.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе впервые рассмотрены характеристики сцинтилляционных годоскопов на основе ГФЭУ с использованием опытных отечественных сцинтилляционных волокон. Приводим результаты измерений.

1. Для годоскопов с размером чувствительной области $200 \times 200 \text{ мм}^2$, состоящей из четырех слоев волокон $\emptyset 0,9 \text{ мм}$ при удельных задержках ГФЭУ 25 нс/см , получено пространственное разрешение $\alpha_x \approx 0,6 \text{ мм}$ и $\alpha_y \approx 0,4 \text{ мм}$, соответственно, для одинарного и двойного годоскопов.

2. Для годоскопов длиной 1 м $\alpha_x \approx 2,3 \text{ мм}$, а минимальное число фотоэлектронов $N \approx 8$. Эффективность регистрации частиц указанными годоскопами составляет не менее 99%.

В работе рассмотрены возможные пути создания сцинтилляционных годоскопов на волокнах с разрешением около $0,1 \text{ мм}$.

Литература

1. Васильченко В.Г., Лапшин В.Г., Мельников Н.С. и др. - Препринт ИФВЭ 76-16, Серпухов, 1978; NIM, 1980, т.169, с.389.
2. Ditta J., Kuroda K., Michalowicz A. et al. - NIM, 1985, A240, p.69.
3. Borenstein S.R., Palmer R.V., Strand R.C. - Physica Scripta, 1981, v.23, No 4:1, p.550-555.
4. Borenstein S.R., Strand R.C. - Nucleophot, CERN 85-10, 1985, p.251-286.
5. Allemand L.R., Calvet J., Carean J.C. - DPHPE/STIPE-CEN/Saclay 91191; 2nd Pisa meeting, 1981.
6. Алексеева Е.И., Горин А.М., Дяченко А.А. и др. - Препринт ИФВЭ 86-14, Серпухов, 1986.
7. Васильченко В.Г., Горин А.М., Дяченко А.А. и др. - В сб.: Тезисы докладов УП Всесоюзной конференции по сцинтилляторам./ Под ред. Ю.А.Цирлина. - Харьков, ВНИИ Монокристаллов, 1981, с.20.
8. Васильченко В.Г., Рыкалин В.И. - Препринт ИФВЭ 85-153, Серпухов, 1985.
9. Borenstein S.R., Palmer R.V., Strand R.C. - IEEE Trans. on Nucl.Sci., 1981, NS-28, No 1, p.458-460.
10. Евдокимов В.Н., Поляков В.А., Рыкалин В.И. - Препринт ИФВЭ 86-34, Серпухов, 1986.
11. Васильченко В.Г., Лапшин В.Г., Монич Е.А. и др. - Препринт ИФВЭ 80-5, Серпухов, 1980; ПТЭ №5, 1982, с. 58.
12. Бушнин Ю.Б., Дунайцев А.Ф., Сенько В.А., и др. - Препринт ИФВЭ 72-49, Серпухов, 1972; ПТЭ №4, 1973, с. 140.
13. Балдин Б.Ю., Крумштейн З.В., Ронжин А.И. - ПТЭ, 1977, № 5, с.91.

14. Васильченко В.Г., Дронов В.В., Лапшин В.Г. и др. - Препринт ИФВЭ 86-30, Серпухов, 1986.
15. Борог В.В., Васильченко В.Г., Дронов В.В. - Препринт ИФВЭ 86-29, Серпухов, 1986.
16. Васильченко В.Г., Вишневский Н.К., Рыкалин В.И. и др. - Препринт ИФВЭ 85-154, Серпухов, 1985.
17. Васильченко В.Г., Исаков В.В., Марин В.Н. и др. - Препринт ИФВЭ 84-159, Серпухов, 1984; ПТЭ, 1986, №4, с.39.
18. Matveeva E.N., Panebratsev Yu.A., Rikhvitski S.V. et al. - NIM, 1981, v.179, p.277.
19. Андреешев Е.А., Килин С.Ф., Розман И.М. и др. - ПТЭ, 1983, №3, с. 52.

Рукопись поступила 3 июня 1986 года.

Т.В.Алимова и др.

Сцинтилляционные годоскопы на основе годоскопических ФЭУ с применением сцинтилляционных волокон.

Редактор Н.П.Ярба. Технический редактор Л.П.Тимкина.
Корректор Т.Д.Галкина.

Подписано к печати 30.07.1986 г. Т-16777. Формат 60х90/16.
Офсетная печать. Печ. л. 0,70. Уч.-изд. л. 0,80. Тираж 250.
Заказ 777. Индекс 3624. Цена 12 коп.

Институт физики высоких энергий, 142284, Серпухов Московской обл.

Цена 12 коп.

Индекс 3624

П Р Е П Р И Н Т 86-127, И Ф В Э, 1986.
