

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

3466/2-80

28/7-80

13-80-238

Я.Бэм, С.Высочил, П.Завада, З.В.Крумштейн,
Е.А.Монич, Б.А.Муравьев, А.И.Ронжин,
А.И.Харчилава, З.Цисек, К.Шафарик

ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛЕМЕНТОВ
СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫХ ГОДОСКОПОВ
С ДЛИНОЙ СЦИНТИЛЛЯТОРОВ
ДО СЕМИ МЕТРОВ

Направлено в ПТЭ

1980

1. ВВЕДЕНИЕ

В современных экспериментальных установках, использующихся на ускорителях частиц высоких энергий, все шире применяются скинтилляционные годоскопы, элементом которых является протяженный скинтилляционный счетчик. Длина скинтиллятора отдельного элемента часто измеряется метрами, а поперечные размеры - единицами сантиметров. Характеристики такого счетчика в значительной мере определяются эффективностью передачи света от места прохождения заряженной частицы через скинтиллятор к фотоумножителю. Распространение света по протяженному скинтиллятору сопровождается затуханием, складывающимся из потерь света, обусловленных прозрачностью скинтиллятора к собственному излучению, и потерь света, определяемых качеством боковых поверхностей. Если не учитывать эффекты, связанные с отражением света от противоположного ФЗУ торца скинтиллятора, а также не рассматривать область, близлежащую к ФЗУ, в которой доминирует прямой свет, то можно считать, что ослабление света по длине скинтилляторов определяется двумя параметрами: λ и k . λ - длина скинтиллятора, на которой свет с заданной длиной волны ослабляется в e раз, k - коэффициент, учитывающий потери света в одном акте отражения.

У лучших твердотельных скинтилляторов величина α не превосходит 4 метров^{1/1}. Величина потерь менее 1% /при однократном отражении/ является труднодостижимой даже при очень хорошо обработанной поверхности скинтиллятора. С другой стороны, известно, что прозрачность некоторых жидких скинтилляторов λ достигает 10 метров^{2/2}, а поверхностные потери в волоконной оптике в одном акте отражения могут быть менее 0,001%^{3/3}. Эти обстоятельства, в частности, и определили выбор нижеописанной конструкции элемента скинтилляционного годоскопа. Поскольку годоскопы содержат несколько сотен таких элементов, немаловажными обстоятельствами являются стоимость, технологичность изготовления, а также повторяемость характеристик отдельных элементов. Обладая в указанном отношении рядом достоинств по сравнению с твердотельными скинтилляторами, некоторые из жидких скинтилляторов не удовлетворяют требованиям пожарной безопасности и отличаются повышенной текучестью и химической активностью. Первое обстоятельство было учтено при выборе типа скинтиллятора, а второе - при разработке конструкции элемента годоскопа.

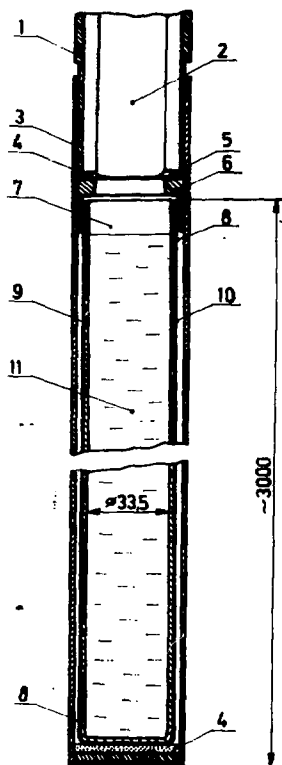


Рис. 1. Схематическое изображение элемента годоскопа с жидким сцинтиллятором. 1 - корпус ФЭУ /2/ с делителем напряжения и формирователем, 2 - стальная труба, 4 - резиновая прокладка, 5 - окно из лавсана, 6 - крышка из тефлона, 7 - воздушный зазор, 8 - алюминизированный лавсан, 9 - стеклянная труба, 10 - белая бумага, 11 - жидкий сцинтиллятор.

2. КОНСТРУКЦИЯ ЭЛЕМЕНТА ГОДОСКОПА

Схематически элемент вертикального сцинтилляционного годоскопа изображен на рис. 1. Конструктивно он содержит: тонкостенную металлическую трубу, стеклянную трубу с плоским дном, в которую заливается жидкий сцинтиллятор, крышку трубы из тефлона с лавсановым окном, фотоумножитель ФЭУ-85 с делителем напряжения и встроенным формирователем ^{1/4}. Стеклянная труба диаметром около 3 см, толщиной стенки 1 мм и длиной 3 м помещается в стальную трубу с толщиной стенки 1 мм, которая является несущей опорой и одновременно используется для светоизоляции и механической защиты элемента. Конструкция счетчика обеспечивает хорошую изоляцию жидкого сцинтиллятора от окружающей среды. Уровень сцинтиллятора находится на 5 см ниже края трубы, тем самым создается свободное пространство /воздушный зазор/, необходимое для изменения объема сцинтиллятора при изменении температуры. Для увеличения количества света, попадающего на фотоумножитель, стеклянная труба обернута белой бумагой, а в области воздушного зазора и дна - алюминизированным лавсаном.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ

Измерения были выполнены на канале 4Э синхротрона ИФВЭ в пучке отрицательно заряженных частиц с импульсом 40 ГэВ/с. Монитором М служили совпадения пяти сцинтилляционных счетчиков, размещенных на канале, и двух сцинтилляционных счетчиков Π_1 и Π_2 с воздушными световодами /размеры каждого из сцин-

тилляторов составляли $20 \times 20 \times 5$ мм³, расположенных соосно спереди и сзади трубы и задающих на ней "профиль" пучка.

Основная цель измерений заключалась в определении эффективности регистрации релятивистских заряженных частиц по длине счетчика $A(X)$, а также в поперечном /по отношению к оси трубы/ направлении. Кроме того, измерялась амплитуда выходного сигнала ФЭУ.

В данной конструкции элемента свет попадает на фотокатод ФЭУ, испытывая многократные отражения на границе "стекло-воздух". При этом часть пути свет проходит в стекле. Таким образом, общее затухание света по длине элемента обусловлено не только прозрачностью сцинтиллятора и качеством боковой поверхности стекла, но также прозрачностью стекла и длиной оптического пути в нем. Для увеличения количества света, попадающего на ФЭУ, необходимо уменьшать толщину стенки трубы. Однако по конструктивным соображениям толщина стенки не может быть существенно меньше 1 мм. В результате исследования труб из стекол различных марок с различной толщиной стенок были отобраны трубы с наружным диаметром 35 мм и внутренним - 33,5 мм из стекла марки С-88. Длина трубы составляла 3 м. Применялся сцинтиллятор ЖС-1.

Наличие воздушного зазора между уровнем сцинтиллятора в трубе и фотокатодом ФЭУ приводит к некоторым потерям света. Измерения показали, что при отсутствии воздушного зазора /фотокатод находится в непосредственном контакте со сцинтиллятором/ амплитуда сигнала ФЭУ возрастает примерно в 2,5 раза на всей длине трубы по сравнению со случаем, когда зазор равен 3 см. На рис. 2 показана типичная зависимость эффективности регистрации элемента от напряжения питания ФЭУ /ФЭУ-85 с чувствительностью 74 мкА/лм/ для различных величин воздушного зазора. Из рисунка видно, что выход на плато 100%-й эффективности при величине воздушного зазора 9 см достигается увеличением напряжения питания ФЭУ на 50 В по сравнению с напряжением, необходимым в случае 2-сантиметрового зазора. /Частицы проходят на расстоянии $X = 295$ см от фотокатода ФЭУ/. Таким образом, данная конструкция элемента годоскопа обеспечивает 100%-ю эффективность регистрации релятивистских заряженных частиц по всей длине детектора при изменении уровня жидкого сцинтиллятора на $\pm 4,5$ см. Это позволяет работать в достаточно широком диапазоне температур $\pm 15^\circ$ без термостатирования.

Сравнение характеристик различных сцинтилляторов проводилось на основе измерений зависимостей амплитуды выходного сигнала элемента от координаты прохождения частиц по длине сцинтиллятора X . На рис. 3 представлены результаты измерений. Число фотоэлектронов определялось по относительной ширине ам-

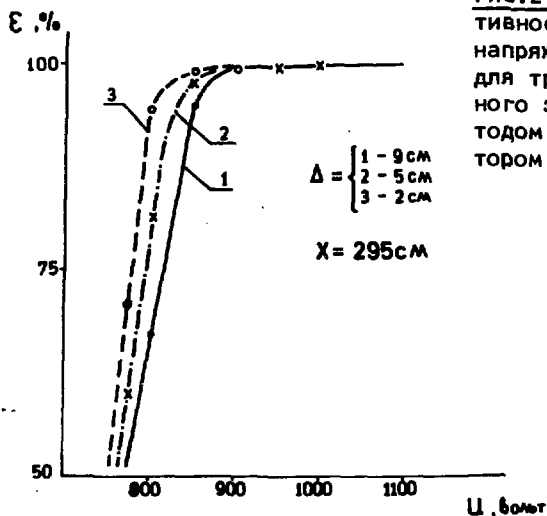


Рис.2. Зависимости эффективности регистрации от напряжения питания ФЗУ-85 для трех величин воздушного зазора между фотокаатодом и жидким сцинтиллятором /сцинтиллятор ЖС-1/.

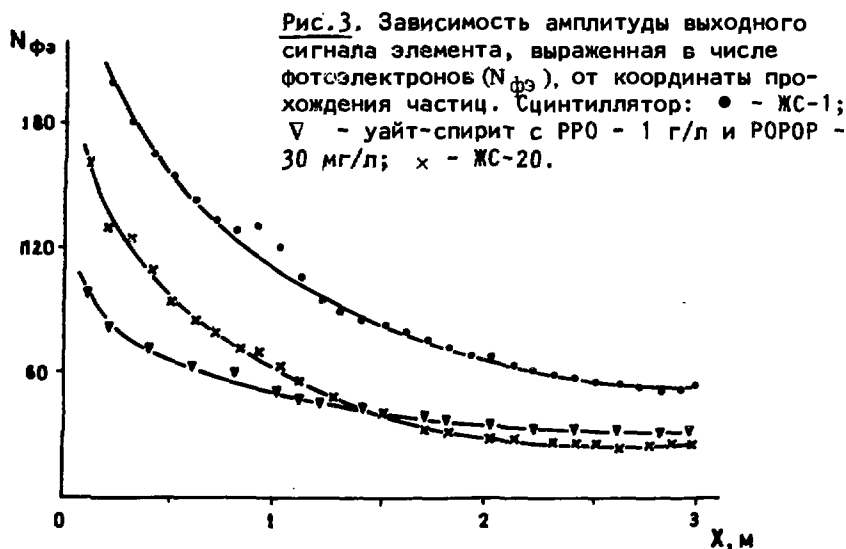
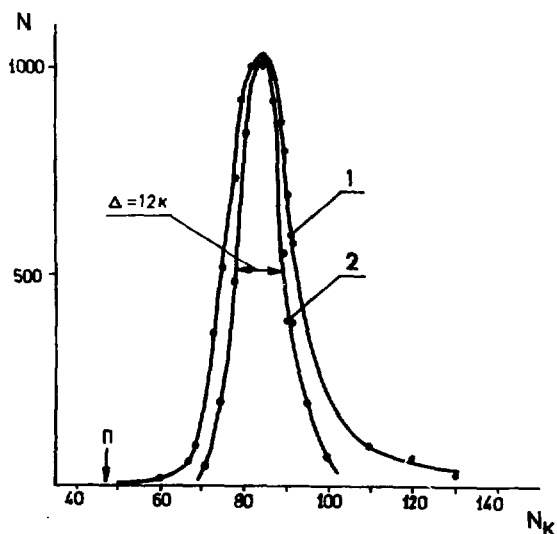


Рис.3. Зависимость амплитуды выходного сигнала элемента, выраженная в числе фотоэлектронов ($N_{\text{ФЭ}}$), от координаты прохождения частиц. Сцинтиллятор: • - ЖС-1; ▽ - уайт-спирит с РРО - 1 г/л и РОРОР - 30 мг/л; x - ЖС-20.

Рис.4. Амплитудные распределения для: 1 - релятивистских заряженных частиц /сцинтиллятор ЖС-1, $X=295$ см/; 2 - светового источника. П - положение пьедестала, N_k - номер канала анализатора, N - содержимое канала.



амплитудного спектра сигналов на выходе ФЭУ от светового источника, путем совмещения его центра тяжести с центром тяжести амплитудного

распределения от релятивистских заряженных частиц. Для иллюстрации на рис.4 представлены указанные амплитудные распределения / $X=295$ см, сцинтиллятор ЖС-1, счетчики Π_1 и Π_2 задают на трубе профиль шириной 2 см/. Для оценки параметров α и k были выполнены измерения с трубами, у которых дно зачернено. Если предположить, что α для сцинтиллятора ЖС-1 составляет $4,3$ метра²/, то величина k оказывается равной 1%, а измеренная величина λ для сцинтиллятора на основе уайт-спирита с добавками PPO - 1 г/л и PPOP - 30 мг/л - равной 7,0 метра. Следует заметить, что величина потерь в одном акте отражения /~1%/, по нашим оценкам, обусловлена в основном потерями света в стекле и в значительно меньшей мере связана с качеством его боковой поверхности. Анализ полученных результатов показал также, что наиболее приемлемым для нас является сцинтиллятор на основе уайт-спирита.

Из пяти рассмотренных элементов был собран годоскоп с конфигурацией, изображенной на рис.5а, для которого была измерена эффективность регистрации в поперечном направлении / $X=295$ см, сцинтиллятор на основе уайт-спирита, Π_1 и Π_2 задают профиль шириной 5 мм/. 100%-я эффективность регистрации наблюдалась в центральной области трубы шириной 25 мм /в поперечном направлении/ - рис.5б. Как видно из рис.5б, такая же эффективность наблюдается для годоскопа и при нормальном по отношению к плоскости AA прохождении частиц. Для углов, отличных от нор-

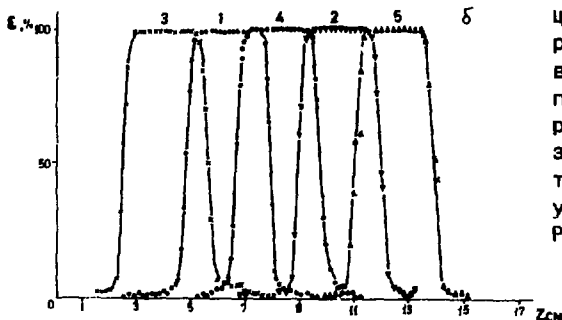
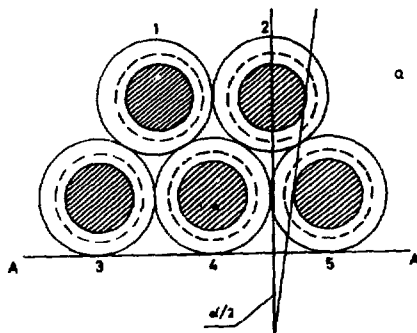


Рис. 5. а - схематическое изображение конфигурации элементов в вертикальном годоскопе. Заштрихована область, соответствующая 100%-й эффективности регистрации, пунктирный круг - стеклянная труба, сплошной круг - стальная труба, α - угол между нормалью к плоскости AA' и направлением частицы. б - эффективность регистрации частиц в поперечном (Z) направлении для конфигурации счетчиков, показанной на рис. 5а /сцинтиллятор на основе уайт-спирита с 1 г/л PPO и 30 мг/л POPOP/, $\alpha = 0^\circ$.

мали, в диапазоне $\alpha/2 = \pm 7^\circ$, не было замечено уменьшения эффективности регистрации. Зависимости $A(X)$, измеренные для пяти счетчиков, отличались друг от друга на длине 3 метра не более, чем на 10%.

Важным вопросом является также пространственное разрешение по длине элемента. Измерения проводились с помощью времяпролетной техники^{15/}. Пространственное разрешение по длине трубы равнялось около 20 см для сцинтиллятора на основе толуола и 30 см для сцинтиллятора на основе уайт-спирита. Удельная задержка светового сигнала составляла ~ 10 нс/м. Для нескольких экземпляров ФЭУ-85, отличающихся интегральной чувствительностью, измерялась эффективность регистрации частиц при $X = 295$ см /величина воздушного зазора - 5 см/ от напряжения питания ФЭУ. Как показали измерения, даже ФЭУ с чувствительностью 50 мкА/лм /при средней 80 мкА/лм/ позволяют вести регистрацию со 100%-й эффективностью. Таким образом, к фотоумножителям не предъявляется особых требований.

Для исследования возможностей приведенной конструкции элемента была изготовлена стеклянная труба длиной 7 метров /внут-

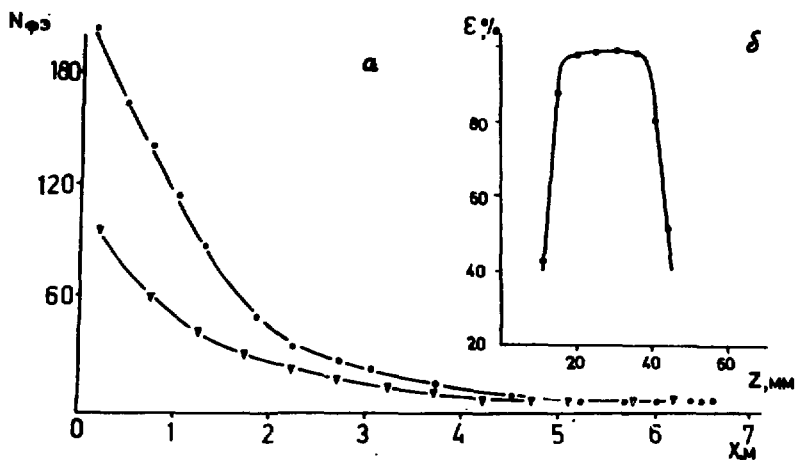


Рис.6. а - Зависимость амплитуды выходного сигнала элемента годоскопа длиной 7 метров от координаты прохождения частиц X для сцинтилляторов: ● - ЖС-1, ▽ - уайт-спирит с 1 г/л РРО и 30 мг/л РОРОР; б - эффективность регистрации частиц для семиметрового элемента в поперечном (Z) направлении / $X = 660$ см, сцинтиллятор ЖС-1/.

ренный диаметр - 33,5 мм, толщина стенки - 0,75 мм/. На рис.6 представлены измеренные амплитудные зависимости для различных сцинтилляторов и зависимость эффективности регистрации в поперечном направлении / $X = 600$ см, сцинтиллятор на основе толуола ЖС-1/. Из рис.6б видно, что величина этой области практически такая же, как и у трехметровой трубы. Таким образом, изготовление годоскопов с длиной элементов 7 метров является вполне реальной задачей.

Дальнейший путь улучшения характеристик элемента годоскопа - это использование высококачественных стеклянных труб и прозрачных сцинтилляторов с большим показателем преломления. Например, если использовать трубы из кварца с показателем преломления $n = 1,44$ и жидкий сцинтиллятор с большим показателем преломления /для исследованного сцинтиллятора на основе уайт-спирита он близок к 1,5/, то элемент сцинтилляционного годоскопа будет представлять собой аналог элемента волоконной оптики, в котором определенная доля света захватывается в угол полного внутреннего отражения и этот свет распространяется с минимальными потерями.

ВЫВОДЫ

1. В работе предложен высокоэффективный элемент годоскопов на основе жидкого сцинтиллятора, залитого в стеклянную трубу. С помощью таких элементов возможно создание годоскопов с пространственным разрешением в несколько сантиметров и апертурой, перекрывающей практически любую современную экспериментальную установку, используемую на ускорителях. Испытанные элементы предназначены в основном для больших мюонных телескопов, но могут применяться в качестве запускающих детекторов и в других установках.

2. Простота предложенной конструкции обеспечивает технологичность изготовления элементов и гибкость при замене конфигурации годоскопов для различных экспериментов. При этом достигнута также высокая повторяемость характеристик отдельных элементов.

3. Стоимость предложенных элементов сцинтилляционных годоскопов существенно ниже, чем элементов, изготовленных на основе твердотельных сцинтилляторов и имеющих сравнимые с ними размеры.

В заключение авторы считают своим приятным долгом выразить благодарность Б.Ю.Балдину и В.И.Петрухину за постоянный интерес к работе и полезные обсуждения.

ЛИТЕРАТУРА

1. CERN Cour., No.9, v.19, p.425.
2. Воеводский А.В., Дадыкин В.Л., Ряжская О.Г. ПТЭ, 1970, №1, с.85.
3. Вейнберг В.Б., Саттаров Д.К. Оптика световодов. Изд-во "Машиностроение", Л., 1969, с.13.
4. Балдин Б.Ю. Препринт ИФВЭ, 79-20 ОЭФ, Серпухов, 1979.
5. Балдин Б.Ю. и др. ПТЭ, 1978, №3, с.78.