

**СООБЩЕНИЯ  
ОБЪЕДИНЕННОГО  
ИНСТИТУТА  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА**

13-84-712

Л.И.Бельзер\*, А.М.Грибушин\*, Л.Я.Жильцова,  
Е.Н.Матвеева, Т.Д.Пилипенко, Н.Б.Синев\*

**СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫЙ ГОДОСКОП  
НА МАЛОГАБАРИТНЫХ ФЭУ**

---

\* Научно-исследовательский институт  
ядерной физики МГУ

## ВВЕДЕНИЕ

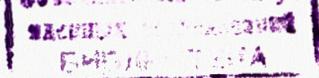
Задача детектирования интенсивных потоков частиц и их пространственной локализации с точностью порядка нескольких мм может быть решена на базе сцинтилляционной методики. Преимущества сцинтилляционных детекторов - относительная технологическая простота, стабильность характеристик и удобство эксплуатации - оказываются важным фактором при конструировании сложных годоскопических комплексов, способных надежно работать в условиях больших загрузок в эксперименте на ускорителе.

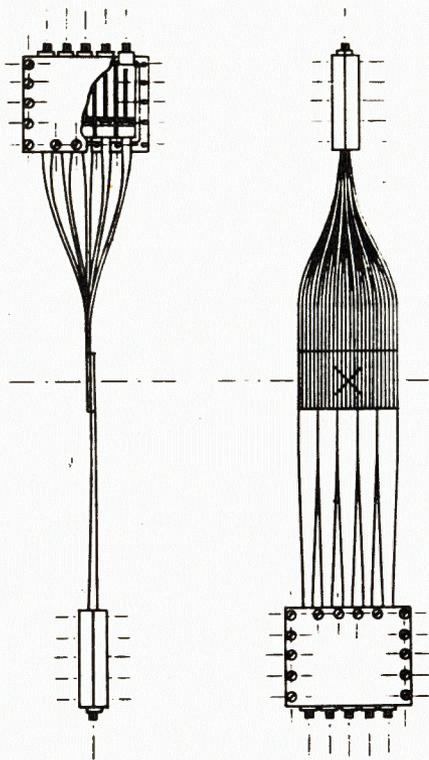
Координатное разрешение порядка нескольких мм, в сочетании с приемлемой апертурой годоскопа, достигается путем компактного размещения многочисленных сцинтилляторов небольшого размера и многоканальной регистрирующей аппаратуры; тем самым накладываются ограничения на габариты ФЭУ. Быстродействие ФЭУ также существенно для обеспечения высокого темпа счета. Кроме того, с целью уменьшения вклада многократного кулоновского рассеяния, при хороших временных характеристиках, целесообразно использовать тонкие сцинтилляторы на основе легких полимеров, имеющие малое время высвечивания. Интенсивность вспышек у таких сцинтилляторов, однако, сравнительно невысока, поэтому они предъявляют довольно жесткие требования к чувствительности фотокатода в определенной области спектра.

В настоящее время на ускорителе ЛВЭ ОИЯИ создается экспериментальная установка "Сцинтилляционный магнитный спектрометр" /СМС/, основным элементом которой является развитая годоскопическая система. В данной работе представлено краткое описание конструктивных особенностей сцинтилляционного годоскопа установки СМС, и применительно к ним сравниваются амплитудные и временные параметры малогабаритных ФЭУ нескольких марок: ФЭУ-58, ФЭУ-60, ФЭУ-114-1, ФЭУ-147-1 и P-1635 /фирма Hamamatsu/. Данные получены с радиоактивным источником  $^{106}\text{Ru}$  и стандартными пластмассовыми сцинтилляторами двух типов - на основе оксазолов в полистироле и в полиметилметакрилате.

### 1. КОНСТРУКЦИЯ ГОДОСКОПА

Годоскоп установки СМС сконструирован по модульному принципу, позволяющему легко изменять геометрию спектрометра в зависимости от конкретной задачи. Каждый модуль представляет собой набор сцинтилляторов и систему световодов с ФЭУ, архитек-





Модуль сцинтилляционного годоскопа.

турно организованную для кодировки координаты с использованием совпадений, чем достигается уменьшение необходимого количества ФЭУ. Световоды и ФЭУ объединены в два блока, включающие также высоковольтные преобразователи напряжения для питания ФЭУ с цифровым управлением от ЭВМ.

Известно, что наибольшую экономию количества ФЭУ можно получить, используя двоичную кодировку координаты. Однако, учитывая другие требования к годоскопическому устройству, такие, как минимальное количество вещества в пучке и возможность опознания случаев прохождения более чем одной частицы через годоскоп, мы сочли более рациональной описанную ниже систему кодировки.

Устройство годоскопического модуля иллюстрирует рисунок. Тонкие пластмассовые сцинтилляторы в виде узких и широких пластин расположены в два слоя, так, что узкие пластины составляют  $n$  групп,

по числу перекрывающих их широких пластин. Свет от широких сцинтилляторов попадает через индивидуальные световоды на  $m$  соответствующих ФЭУ в верхнем блоке; каждый из  $m$  ФЭУ в нижнем блоке соединен пучком изогнутых плексигласовых световодов с  $n$  узкими сцинтилляторами /по одному из каждой группы/. Совпадение сигналов какой-либо пары ФЭУ из верхнего и нижнего блока определяет номер сработавшего канала.

При такой конфигурации световодов  $n + m$  ФЭУ контролируют работу  $k = nm$  каналов регистрации. Максимальное число каналов при данном количестве ФЭУ получается при  $n = m$ . Изображенный на рисунке модуль имеет 10 ФЭУ и 25 каналов; ширина канала составляет 4 мм и определяет координатное разрешение детектора.

В сравнении с двоичной кодировкой, при той же величине сигнала на ФЭУ, описанная система имеет в 2,5 раза меньше вещества в пучке, проигрыв же в экономии количества ФЭУ получается незначительным: если потребовать, чтобы система с двоичной кодировкой

имела избыточность, необходимую для опознания случаев множественного прохождения частиц, то 10 ФЭУ позволят контролировать 32 регистрирующих ячейки вместо 25 в нашем случае.

## 2. СВЕТОВЫХОД ГОДОСКОПА И КАТОДНАЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ ФЭУ

Минимальная толщина сцинтилляторов годоскопической системы определяется требованием получения достаточной эффективности регистрации частиц. Очевидно, что высокая эффективность регистрации /около 99,99%/ может быть получена только в том случае, когда количество фотоэлектронов, эмиттированных фотокатодом ФЭУ, достигает 10.

Количество эмиттированных электронов определяется, во-первых, количеством света, дошедшего до ФЭУ, во-вторых, квантовым выходом фотокатода ФЭУ /в таблице квантовым выходом названо число фотоэлектронов, выбитых с фотокатода вспышкой света/.

Известно, что световод постоянного сечения позволяет транспортировать свет, попавший в определенный диапазон углов по отношению к оси световода, практически без потерь, если материал световода обладает достаточной прозрачностью. Нами были исследованы различные марки органического стекла в качестве материала световода. Измерения показали, что для света, излученного сцинтиллятором на основе оксидов в полиметилметакрилате, прозрачность световодов, изготовленных из оргстекла СТ-1, СО-95 и СО-129, относится как 1:1,2:1,5. Измерения проводились со световодами длиной 300 мм и сечением  $4 \times 4 \text{ мм}^2$ .

В заключение следует подчеркнуть еще раз ту большую роль, которую в длинных и тонких световодах играет чистота боковой поверхности. Для применяемых нами световодов загрязнение поверхности жировыми отпечатками пальцев уменьшает количество прошедшего света более чем на порядок! Поэтому световоды тщательно полировались, мылись мыльной водой, тщательно прополаскивались, сушились, и дальнейшую работу с ними вели только в матерчатых перчатках, по возможности избегая прикосновения к боковым поверхностям.

Исследования квантовых выходов фотокатодов разных ФЭУ необходимо начать с калибровки коэффициентов усиления фототока. Для каждого экземпляра ФЭУ в паспорте обычно указывается напряжение питания, обеспечивающее некоторую фиксированную величину анодной чувствительности. Однако из-за различия катодной чувствительности коэффициент усиления фототока при этом оказывается разным. Поэтому мы откалибровали ФЭУ с помощью светодиода АЛ-102В следующим образом:

а/ путем изменения яркости светодиода устанавливался ток эмиссии фотокатода, равный 50 пкА /за вычетом тока утечки между электродами/. Ток измерялся цифровым вольтметром В7-27 на

Таблица  
Амплитудные и временные характеристики малогабаритных ФЭУ

Паспортные данные ФЭУ			№	Данные измерений				
Марка	Фотокатод/ спектральная характеристика /нм/	Диаметр/длина /мм/		Световая чувствительность фото катода /мкА/лм/	Рабочее напряжение /В/ для $K = 10^6$	Квантовый выход фото катода +/ /число фотоэлектронов/	Длительность фронта импульса /нс/	Длительность импульса, /нс/
ФЭУ-58	300- 650	22/90	48	1	1840	10,4	8	27
			22	2	1885	4,5	10	30
		15/57	68	3	1700	14,0	8	28
112	1		1300	15,5	4	22		
ФЭУ-60	300- 650	15/57	94	2	1242	13,3	6	19
			100	3	1620	17,0	5	18
		91	4	1420	19,2	5	20	
ФЭУ-114	250- 850	22/75	140	1	1540	11,1	6	17
			155	2	1670	14,8	7	18
		3	3	1625	20,7	6	17	
ФЭУ-147	360- 830	21/80	200	1	1980	60,7	3,5	14
			126	2	1700	34,0	3,5	8
		137	3	1900	31,1	4	11	
1635	300- 650	10/45	74	1	1210	34,0	2 <sup>++</sup>	6
			84	2	1080	36,3	1,5	6

+/  
В спектральной области свечения сцинтиллятора.

++/  
Приведенная величина определяется быстродействием осциллографа. Паспортное значение длительности фронта ФЭУ R-1635 = 0,8 нс.

пределах шкалы 1 мВ. Входное сопротивление прибора 1 МОм, одно деление шкалы соответствует току 10 пкА. Погрешность измерения - 20%;

б/ при том же токе через светодиод напряжение питания  $U$  на деление ФЭУ подбиралось таким образом, чтобы анодный ток ФЭУ был равен 50 мкА, что соответствует коэффициенту усиления тока эмиссии фотокатода  $K = 10^6$  /эта величина близка к предельной для малогабаритных ФЭУ/;

в/ для данной величины  $U$  снимался спектр от  $\beta$ -источника  $^{106}\text{Ru}$  /основная линия - 3,5 МэВ/ со сцинтиллятором на основе нафталина в полиметилметакрилате размером 4x4x50 мм и изогнутым плексигласовым световодом сечением 4x4 мм и длиной 300 мм. С целью стандартизации условий светосбора обеспечивался механический контакт между концом световода и фотокатодом ФЭУ, без оптической замазки /применение замазки повышает световыход примерно вдвое, но всякий раз по-разному/.

Амплитудный анализатор АИ-4096 был откалиброван путем подачи в измерительный тракт известного заряда через дозирующий конденсатор, стем, чтобы представить измеренную амплитуду в числе фотоэлектронов. Результаты измерения квантового выхода фотокатодов для излучения сцинтиллятора использованного типа приведены в таблице. Существенные различия измеренных значений у разных марок ФЭУ с приблизительно одинаковой паспортной катодной чувствительностью обусловлены неодинаковыми спектральными характеристиками этих ФЭУ.

Приведем цифры, характеризующие амплитуды сигналов с ФЭУ при коэффициенте усиления фототока  $10^6$ . Наиболее вероятная амплитуда импульса тока с анода ФЭУ-147 составляет при этом 1,5 мА, с ФЭУ-60 - 0,4 мА. При нагрузке на сопротивление 50 Ом это дает сравнительно маленькие амплитуды сигналов. Однако без ухудшения временных характеристик можно увеличить нагрузочное сопротивление ФЭУ до 0,5-1 кОм. Это потребовало лишь применения эмиттерного повторителя, размещенного в непосредственной близости к ФЭУ, для согласования с кабелем, передающим сигнал.

### 3. ВРЕМЕННЫЕ ПАРАМЕТРЫ

Импульс тока на аноде ФЭУ наблюдался с помощью осциллографа С1-75. Анод ФЭУ подключался к входу осциллографа высокочастотным кабелем, согласованным нагрузкой 50 Ом. Для уменьшения влияния паразитных индуктивностей ближайшие к аноду диоды ФЭУ шунтировались конденсаторами, припаянными непосредственно к выводам ФЭУ. Длительность фронта импульса измерялась по уровням  $0,1 \pm 0,9$ , а длительность всего импульса - по уровню 0,1 от полной амплитуды.

Анализировались сигналы от сцинтиллятора размером 5x5x10 мм, помещенного непосредственно у фотокатода ФЭУ, с источником  $^{106}\text{Ru}$ . Для обоих типов использованных сцинтилляторов полученные данные оказались практически одинаковыми. Результаты измерений приведены в правой части таблицы. Эти результаты согласуются с данными работ /1/ - по ФЭУ-60, и /2/ - по ФЭУ-147-1 /модернизированный ФЭУ-69/. Временные характеристики ФЭУ-58 и ФЭУ-114 по ТУ не регламентируются /3/. Заметим, что, согласно паспортным данным, длительность фронта импульса с анода ФЭУ марки R-1635 составляет 0,8 нс. Представленные в таблице значения /1,5 и 2 нс/ следует отнести за счет ограниченного быстродействия осциллографа С1-75, имеющего переходную характеристику около 1,5 нс.

#### ВЫВОДЫ

Малогабаритные ФЭУ в сочетании со стандартными пластмассовыми сцинтилляторами позволяют создать годоскопическое устройство с шириной ячейки в несколько мм, толщиной /количество вещества в пучке/ порядка 1 мм при эффективности 99,99%.

Среди марок ФЭУ более всего отвечает поставленной задаче ФЭУ-147, обладающий наилучшими амплитудными и временными характеристиками. В отношении чувствительности фотокатода к излучению сцинтиллятора ФЭУ-147 не уступает аналогичным зарубежным разработкам последнего времени (R-1635), хотя он не столь миниатюрен и имеет более низкое быстродействие.

Годоскопическое устройство на основе ФЭУ-147 имеет временное разрешение 3-4 нс /при использовании формировавателей со следящим порогом его, вероятно, можно улучшить/ и позволяет работать с нагрузками до  $10^7$  частиц/с.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Дукор С.Г., Фельдман В.Е., Миняев В.Н. Электронная техника, 1980, сер.4, вып.1, с.69-71.
2. Волков В.П. и др. Электронная промышленность, 1984, №3/131/, с.6.
3. Фотозлектронные умножители. Каталог. Внешторгиздат, М., 1979, с.36,97.

Рукопись поступила в издательский отдел  
5 ноября 1984 года.

В Объединенном институте ядерных исследований начал выходить сборник "*Краткие сообщения ОИЯИ*". В нем будут помещаться статьи, содержащие оригинальные научные, научно-технические, методические и прикладные результаты, требующие срочной публикации. Будучи частью "*Сообщений ОИЯИ*", статьи, вошедшие в сборник, имеют, как и другие издания ОИЯИ, статус официальных публикаций.

Сборник "*Краткие сообщения ОИЯИ*" будет выходить регулярно.

The Joint Institute for Nuclear Research begins publishing a collection of papers entitled *JINR Rapid Communications* which is a section of the JINR Communications and is intended for the accelerated publication of important results on the following subjects:

Physics of elementary particles and atomic nuclei.  
Theoretical physics.  
Experimental techniques and methods.  
Accelerators.  
Cryogenics.  
Computing mathematics and methods.  
Solid state physics. Liquids.  
Theory of condensed matter.  
Applied researches.

Being a part of the JINR Communications, the articles of new collection like all other publications of the Joint Institute for Nuclear Research have the status of official publications.

*JINR Rapid Communications* will be issued regularly.



СООБЩЕНИЯ, КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ, ПРЕПРИНТЫ И СБОРНИКИ ТРУДОВ КОНФЕРЕНЦИЙ, ИЗДАВАЕМЫЕ ОБЪЕДИНЕННЫМ ИНСТИТУТОМ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ, ЯВЛЯЮТСЯ ОФИЦИАЛЬНЫМИ ПУБЛИКАЦИЯМИ.

Ссылки на СООБЩЕНИЯ и ПРЕПРИНТЫ ОИЯИ должны содержать следующие элементы:

- фамилии и инициалы авторов,
- сокращенное название Института /ОИЯИ/ и индекс публикации,
- место издания /Дубна/,
- год издания,
- номер страницы /при необходимости/.

Пример:

1. Первушин В.Н. и др. ОИЯИ, P2-84-649, Дубна, 1984.

Ссылки на конкретную СТАТЬЮ, помещенную в сборнике, должны содержать:

- фамилии и инициалы авторов,
- заглавие сборника, перед которым приводятся сокращенные слова: "В кн."
- сокращенное название Института /ОИЯИ/ и индекс издания,
- место издания /Дубна/,
- год издания,
- номер страницы.

Пример:

Колпаков И.Ф. В кн. XI Международный симпозиум по ядерной электронике, ОИЯИ, Д13-84-53, Дубна, 1984, с.26.

Савин И.А., Смирнов Г.И. В сб. "Краткие сообщения ОИЯИ", № 2-84, Дубна, 1984, с.3.

Бельзер Л.И. и др.  
Сцинтилляционный годоскоп на малогабаритных ФЭУ

13-84-712

Описан прототип многоканального сцинтилляционного детектора с шириной ячейки порядка нескольких мм, в качестве базового элемента модульной годоскопической системы для эксперимента на ускорителе ОИЯИ. Применительно к конструктивным особенностям детектора тестировано несколько марок малогабаритных ФЭУ и представлены данные измерений параметров, существенных для работы в условиях компактного монтажа, малой величины светового сигнала и высокого темпа счета. Годоскопическое устройство на основе ФЭУ-147 имеет временное разрешение 3-4 нс и позволяет работать с загрузкой до  $10^7$  частиц/с.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1984

Перевод О.С.Виноградовой

Bel'zer L.I. et al.  
Scintillation Hodoscope with Small-Size PMT's

13-84-712

A prototype multichannel scintillation detector having coordinate resolution within few mm is described as a basic element of modular hodoscopic array for the JINR accelerator experiment. Several types of small-size PMT's have been tested in application to the particular detector design; and the test data are reported on the parameters substantial for operation under the conditions of dense packing, low light level and high count rate.

The investigation has been performed at the Laboratory of High Energies, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1984