

93-144



Объединенный
Институт
Ядерных
Исследований
Дубна

13-93-144

М.А.Игнатенко, Г.Д.Столетов

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК
СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫХ СЧЕТЧИКОВ
В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УСЛОВИЙ
СВЕТОСБОРА НА ФЭУ

Направлено в журнал "Приборы и техника эксперимента"

1993

ВВЕДЕНИЕ

С увеличением размеров экспериментальных установок, применяющихся в физике высоких энергий, оптимизация условий собирания света в сцинтилляционных счетчиках становится по важности в один ряд с такими традиционными методами улучшения характеристик счетчиков, как разработка новых сцинтилляционных материалов и совершенствование фотодетекторов. Один из основных параметров сцинтилляционных счетчиков — временное разрешение — во многом определяется количеством света и временем его сбора на фотокатод ФЭУ [1]. Различная длина пути, проходимого отдельными фотонами до фотокатода, приводит к затягиванию фронта светового сигнала, что может оказывать влияние на временное разрешение [2]. Авторы работ [3,4] обратили внимание на свойство волоконно-оптических нитей передавать свет с существенно меньшей по сравнению с монолитными сцинтилляционными пластиками временной дисперсией за счет небольшой разницы в показателях преломления сердцевины нити и прозрачной оболочки. Для улучшения временного разрешения было предложено изготавливать счетчики из пластических сцинтилляционных нитей. Моделирование, выполненное на основе результатов испытания образца такого счетчика размером $3 \times 2 \times 200$ см, показало возможность достичь временного разрешения около 70 пс для счетчика длиной 300 см и толщиной 10 см при использовании микроканальных ФЭУ [5]. В то же время результаты экспериментальных исследований [6] двух счетчиков с детектирующими элементами, изготовленными из сцинтилляционных нитей и из сплошного сцинтиллятора с приблизительно одинаковыми длинами ослабления света, показали значительное превосходство счетчика со сплошным сцинтиллятором.

В данной работе описаны измерения характеристик счетчика, у которого пластический сцинтиллятор помещался в среды с различными показателями преломления. Цель этих измерений — оценить, как изменение угла полного внутреннего отражения в сцинтилляторе влияет на временные параметры счетчика. Здесь представлены также результаты исследования характеристик счетчиков с пластиками в виде трапецевидных пластин, обычно применяемых в качестве торцевых элементов систем для измерения времени пролета частиц на встречных пучках. Как отмечалось в [7], для таких пластиков при детектировании света со стороны широкого основания

наблюдается возрастание величины сигнала счетчика с увеличением расстояния от места сцинтилляции до ФЭУ. Было интересно исследовать характеристики подобных счетчиков при регистрации света с разных концов трапецевидных пластинок.

1. ДЕТЕКТОРЫ, АППАРАТУРА И АНАЛИЗ ДАННЫХ

Схема измерений показана на рис.1. Исследуемый счетчик А располагался между счетчиками В и СD с размерами пластинок 120x50x20 и 150x50x20 мм соответственно и облучался космическими частицами. Счетчики В и СD могли совместно перемещаться вдоль счетчика А, задавая положение исследуемой области.

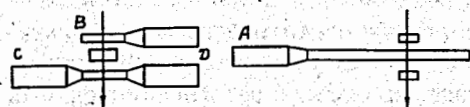


Рис.1. Схема расположения исследуемого (А) и мониторинговых счетчиков (В и СD) в процессе измерений

Образцы сцинтилляторов были изготовлены из блока пластического сцинтиллятора на основе полистирола с первичной сцинтилляционной добавкой р-терфенила (2%) и вторичной добавкой РОРОР (0,2%). Механически вырезанные и затем отполированные образцы представляли собой прямоуголь-

ный брус размером 580x50x25 мм и три трапецевидные пластины толщиной 20 мм, длиной 600 мм, с широким основанием 105 мм и углами раствора боковых граней 5,6; 7,5 и 10 градусов.

Корпус счетчика с прямоугольным пластиком являлся кюветой, в которую могли заливаться жидкости с разными показателями преломления. Внутренние поверхности кюветы были зачернены с целью использования только света, испущенного в сцинтилляторе в пределах угла полного внутреннего отражения. Сцинтиллятор через световод длиной 70 мм оптически соединялся с ФЭУ.

Выбранные углы раствора наклонных граней трапецевидных пластинок соответствовали разбиению круга на 64, 48 и 36 секторов. Каждый из пластинок просматривался ФЭУ со стороны широкого, а затем узкого основания через световод, имевший форму «рыбьего хвоста».

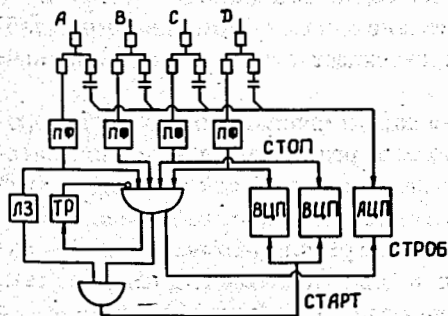


Рис.2. Схема регистрирующей электронной аппаратуры

Функциональная схема электронной аппаратуры показана на рис.2. В измерениях использовались ФЭУ ХР2020. Делители напряжений были собраны по схеме «В», предложенной фирмой-изготовителем для временных измерений. Сигналы от ФЭУ с помощью пассивных делителей разветвлялись на пороговые формирователи (2/3 величины сигнала) и зарядовоцифровые преобразователи с чувствительностью 1 пКл/канал. Пороги формирователей были установлены 120 мВ, что составляло для исследуемого счетчика во всех случаях менее 25% среднего сигнала от космических частиц. Совпадение сигналов от счетчиков А, В и СD фиксировало прохождение космической частицы и приводило к выработке ворот для пропуска сигнала «Старт» от исследуемого счетчика А и для измерения величин сигналов от ФЭУ с помощью ВЦП. В качестве сигналов «Стоп» использовались импульсы от ФЭУ счетчика СD. Временные кодировщики имели чувствительность около 50 пс/канал. При тестировании аппаратуры от генератора было установлено, что вклад электроники во временное разрешение не превосходил 40 пс.

Для оценки временного разрешения анализировалась полусумма показаний обоих временных кодировщиков, которая с точностью до константы является временем пролета частиц между исследуемым счетчиком А и расположенным на 10 см ниже него счетчиком СD. В результаты вносились поправки, связанные с зависимостью измеряемого времени от амплитуды сигналов, в виде:

$$T = (t_1 + t_2)/2 - k_a/\sqrt{q_a} - k_{cd}/\sqrt{q_{cd}}$$

где $1/\sqrt{q_{cd}}$ — полусумма обратных величин квадратных корней из зарядов сигналов от ФЭУ «С» и «D». Константы k_a и k_{cd} находились из условия минимума ширины распределения величины T .

2. ХАРАКТЕРИСТИКИ СЦИНТИЛЛЯЦИОННОГО СЧЕТЧИКА С ПЛАСТИКОМ, ПОМЕЩЕННЫМ В СРЕДЫ С РАЗЛИЧНЫМИ ПОКАЗАТЕЛЯМИ ПРЕЛОМЛЕНИЯ

Показатель преломления n использованного сцинтиллятора равен 1,59. Характеристики счетчика исследовались при окружении сцинтиллятора воздухом, дистиллированной водой ($n = 1,33$) и парафиновым маслом ($n = 1,44$). На рис.3 представлены логарифмы средних величин сигналов счетчика в зависимости от расстояния до ФЭУ, измеренных в каждом из указанных вариантов при одном и том же рабочем напряжении. Там же показаны результаты фитирования методом наименьших квадратов линей-

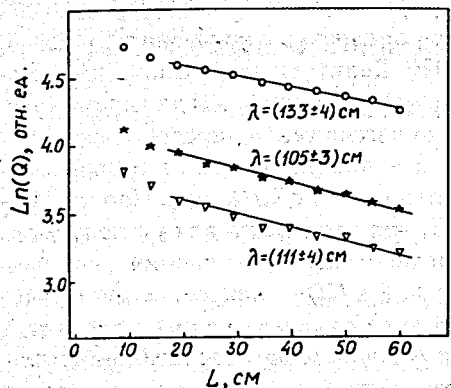


Рис. 3. Зависимость логарифма средних величин сигналов счетчика от координаты места облучения при наполнении кюветы воздухом (о), водой (*), парафиновым маслом (V)

ных участков этих зависимостей и приведены значения наклонов полученных прямых, характеризующие длины ослабления световых сигналов в счетчике.

Как и следовало ожидать, величины сигналов убывают с ростом показателя преломления среды, окружающей сцинтиллятор. При этом отношения между величинами сигналов для разных сред в первом приближении согласуются с отношениями телесных углов, вычисленных из значений углов полного внутреннего отражения на границе сцинтиллятор — среда. Кроме

того, при заполнении кюветы жидкостями наблюдается заметное уменьшение длины поглощения света.

На рис. 4 показаны зависимости временных разрешений от координаты исследуемой точки. Для сцинтиллятора в воздушной среде получено существенно лучшее разрешение и более слабая зависимость от координаты. Временное разрешение для пластика, окруженного водой, выше, чем в случае, когда пластик находился в парафиновом масле. Проведенные измерения показывают, что вре-

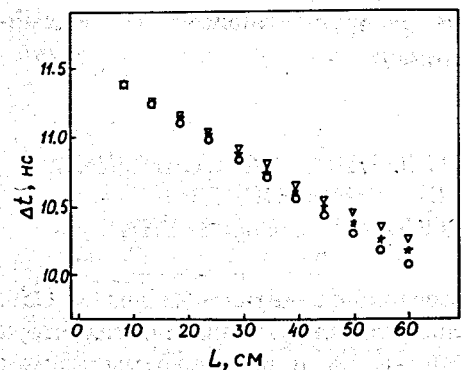


Рис. 5. Зависимость времени запаздывания сигналов счетчика от координаты места облучения при наполнении кюветы воздухом (о), водой (*), парафиновым маслом (V)

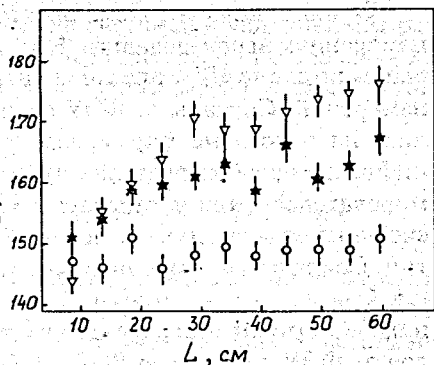


Рис. 4. Зависимость временного разрешения от координаты места облучения при наполнении кюветы воздухом (о), водой (*), парафиновым маслом (V)

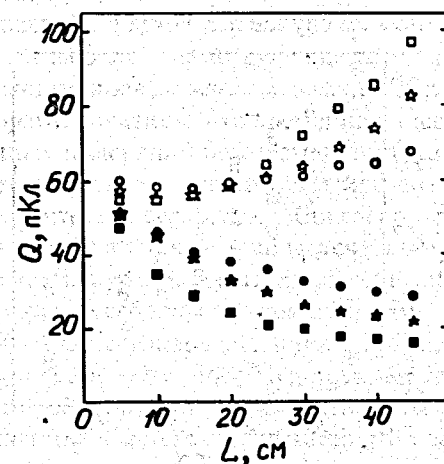
менное разрешение существенно зависит от количества света, регистрируемого ФЭУ, тогда как роль временной дисперсии явным образом не проявляется.

Косвенным указанием на уменьшение временной дисперсии при возрастании показателя преломления среды, окружающей сцинтиллятор, является увеличение скорости распространения в нем светового сигнала. Это видно из показанных на рис. 5 зависимостей времени ΔT запаздывания сигнала от координаты исследуемой области счетчика. Найденные в результате фитирования этих данных скорости распространения световых сигналов оказались равными $15,9 \pm 0,3$ см/нс в случае воздуха, $16,7 \pm 0,3$ см/нс в случае воды и $18,1 \pm 0,4$ см/нс в случае парафинового масла.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ СЧЕТЧИКА С ТРАПЕЦИЕВИДНЫМИ СЦИНТИЛЛЯТОРАМИ

На рис. 6 представлены координатные зависимости средних величин сигналов счетчика, полученные при собирании света поочередно с противоположных концов каждого пластика. Хорошо видно, что для пластиков, обращенных к ФЭУ широкими основаниями, величины сигналов растут по мере удаления от ФЭУ, причем тем больше, чем больше угол раствора боковых граней. В случае же регистрации света со стороны узких оснований с ростом расстояния до ФЭУ наблюдается ослабление амплитуд сигналов более сильное, чем в прямоугольном пластике. Это проявляется в том, что в координатной зависимости логарифмов измеренных амплитуд отсутствует характерный для прямоугольных пластиков линейный участок. Такое поведение амплитуд сигналов в трапециевидных пластиках объясняется тем, что телесный угол, в котором происходит собирание света со стороны широкого основания, увеличивается по мере удаления места сцинтилляции от ФЭУ, в то время как при регистрации света со стороны узкого основания этот телесный угол, наоборот, уменьшается.

Рис. 6. Средние величины зарядов сигналов, зарегистрированных в различных точках измерений при собирании света со стороны широких (незачерненные символы) и узких (зачерненные символы) оснований трапециевидных пластиков с углами раствора граней: о — 5,6°, * — 7,5°, □ — 10°



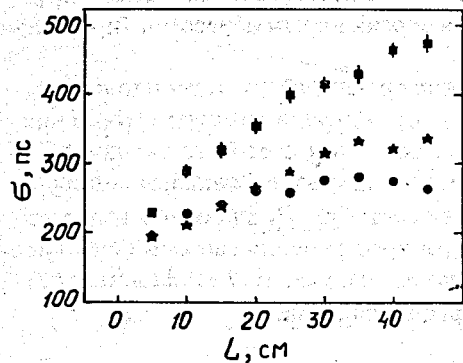


Рис.7. Зависимость временного разрешения от расстояния до ФЭУ при сборании света со стороны узкого основания трапецевидных пластиков с углами раствора граней: ● — 5,6°, * — 7,5°, ■ — 10°

Следует заметить, что, как видно из рис.6, можно подобрать такой угол раствора граней трапецевидного пластика, при котором величина регистрируемых сигналов не будет зависеть от координаты места облучения. Это особенно важно в опытах, связанных с измерением ионизационных потерь с целью идентификации частиц, а также при использовании сцинтиллятора в качестве активного вещества калориметров.

На рис.7 и 8 показаны зависимости измеренных временных разрешений от координаты места облучения. При сборе света со стороны узкого основания наблюдается заметное ухудшение разрешения по мере удаления от ФЭУ. В случае же, когда ФЭУ располагается со стороны широкого осно-

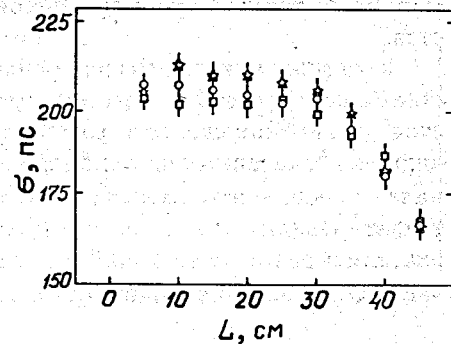
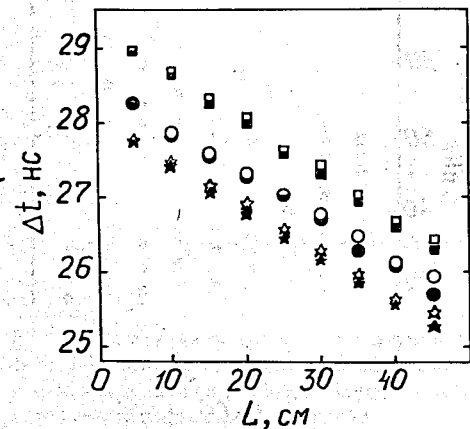




Рис.8. Зависимость временного разрешения от расстояния до ФЭУ при сборании света со стороны широкого основания трапецевидных пластиков с углами раствора граней: ○ — 5,6°, * — 7,5°, □ — 10°

вания, временное разрешение неизменно почти по всей длине счетчика, а на последних приблизительно 15—20 см наблюдается даже значительное улучшение разрешения. На наш взгляд, это

Рис.9. Зависимости времени запаздывания сигнала от координаты места облучения при регистрации света со стороны широких (зачерненные символы) и узких (незачерненные символы) оснований трапецевидных пластиков с углами раствора граней: ○ — 5,6°, * — 7,5°, □ — 10°

Таблица

| Угол | 5,6° | 7,5° | 10° |
|---|------------|------------|------------|
| ФЭУ  | 16,1 ± 0,3 | 15,9 ± 0,3 | 16,5 ± 0,3 |
| ФЭУ  | 17,5 ± 0,3 | 17,1 ± 0,3 | 17,9 ± 0,4 |

улучшение разрешения вызвано двумя причинами. Во-первых, увеличением количества собираемого света и, во-вторых, уменьшением геометрического аксептанса телескопа из-за значительно меньшей ширины исследуемого счетчика вблизи его конца, что могло уменьшить вклад в результирующее разрешение «стопового» счетчика.

Для всех трех пластиков были измерены скорости распространения световых сигналов в прямом (от узкого основания к широкому) и в обратном направлениях. На рис.9 показаны зависимости времени ΔT запаздывания сигнала от координаты места облучения. Значения скорости световых сигналов, найденные путем фитирования прямыми линиями полученных зависимостей, представлены в таблице. Во всех случаях скорость светового сигнала в направлении к широкому основанию пластика ниже, чем в обратном направлении. Наблюдаемый эффект можно объяснить тем, что свет, собираемый в прямом направлении, обогащен фотонами, отраженными наклонными гранями пластика и проходящими в нем относительно большой путь, тогда как при светосборе в обратном направлении вклад таких фотонов незначителен.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследования характеристик сцинтилляционного счетчика с пластиком, окруженным воздухом, водой и парафиновым маслом, а также счетчика с трапецевидными сцинтилляторами показали, что временная дисперсия светосбора в условиях проведенных измерений не сказывается на временном разрешении, а проявляется только в некотором изменении скорости распространения светового сигнала по пластику. Согласно полученным данным, временное разрешение полностью определяется количеством регистрируемых фотонов, независимо от того, испытали ли они многократные отражения от граней пластика или собраны в узком конусе.

Экстраполяция данных об амплитудах сигналов счетчика с трапецевидными пластиками показывает, что возможен простой и дешевый способ получения независимой от места сцинтилляции в пластике величины сигнала. Причем применение таких пластиков не связано с потерями света, которые имеют место, например, при использовании в тех же целях переиз-

лучателей или световых фильтров, и не требует увеличения числа каналов регистрации. Поскольку оптимальный угол раствора граней, по-видимому, будет составлять всего 3—4°, такой способ устранения координатной зависимости может оказаться перспективным в калориметрии и при измерении ионизационных потерь энергии.

В заключение авторы выражают глубокую благодарность Л.С.Ажгирею за поддержку работы и полезные обсуждения, а также А.С.Кузнецову за помощь при проведении измерений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Atwood W.B. — Lectures at the SLAC Summer Institute on Particle Physics, SLAC Report 239, 1981.
2. D'Agostini G. et al. — Nucl. Instr. and Meth., 1981, v.185, p.49.
3. Stroynowski R. — CALT-68-1668, 1990.
4. Milliken B., Stroynowski R., Wicklund E. — CALT-68-1538, 1990.
5. Kuhlen M. et al. — CALT-69-1648, 1990.
6. Kichimi H. — In: Proc. Physics and Detector of Asymmetric B-Factory at KEK, KEK Rep.90—23, 1991.
7. Heller R. et al. — Nucl. Instr. and Meth. in Phys. Res., 1985, v.A235, p.26.

Рукопись поступила в издательский отдел

23 апреля 1993 года.