

98-272



ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

98-272

P13-98-272

И.М.Василевский, Р.Я.Зулькарнеев, Ю.Р.Зулькарнеева,
Ю.И.Иваньшин, Р.Х.Кутуев, В.А.Моисеенко

ТОНКАЯ СЦИНТИЛЛЯЦИОННАЯ ПЛАСТИНА
БОЛЬШИХ РАЗМЕРОВ КАК ДЕТЕКТОР
КООРДИНАТЫ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ

Направлено в журнал «Приборы и техника эксперимента»

1998

Известно, что сцинтилляционные счетчики с пластинами больших размеров не являются хорошими детекторами координаты для проходящих через них частиц. Причина этого состоит в том, что при традиционном съеме света с них на фотоприемник поступает оптический сигнал, уже потерявший (или заметно искаживший) информацию о месте своего возникновения.

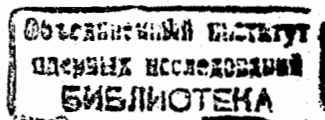
В настоящем сообщении обращается внимание на относительно простой способ съема света со сцинтилляторов большого размера, который позволяет устанавливать координату проходящей частицы с погрешностью, примерно равной толщине сцинтиллирующей пластины в счетчике. Показано, что при толщинах пластины 1-3 мм (или малых пробегах сильно ионизирующих частиц) предлагаемый способ измерения координаты может стать уже сопоставимым по точности с пространственным разрешением, например, пропорциональных проволочных камер.

1. Особенности распространения лучей света от сцинтилляционной вспышки в тонкой пластине

Рассмотрим распространение сцинтилляционной вспышки света в тонкой пластине при перпендикулярном прохождении через нее заряженных частиц. Для простоты ограничимся рассмотрением двумерного случая с размерами пластины l_x, l_z (см. рис. 1а). Предположим, что выполнены следующие условия:

- а) $l_x \gg l_z = d$;
 - б) пластина находится в среде с показателем преломления $n = 1$;
 - в) поверхности пластины полированные;
 - г) поглощение света в веществе пластины отсутствует.
- } (1)

Два типа лучей в тонкой пластине. Элементарное рассмотрение выявляет, что в объеме пластины следует различать два типа лучей от точечной



вспышки, эволюции распространения которых принципиальным образом отличаются друг от друга.

Первый тип лучей - I (см. рис.1а) падает на широкие грани пластины под углами, большими или равными углу полного внутреннего отражения, Φ , в веществе пластины. Этот тип лучей после многократных отражений достигает торцов пластины и выходит за пределы пластины. Для сред с типичным для сцинтиллирующих пластмасс показателем преломления $n = 1.58$ доля интенсивности лучей типа I, отраженных обратно на границе с воздухом, т.е. внутрь пластины, при углах падения $i < 30$ градусов составляет не более 8% [1] (см. рис.1б). Очевидно, что уже при втором отражении от граней интенсивность лучей, остающихся внутри пластины, составляет не более 0.64%.

Другая часть лучей той же вспышки, тип II, падает на широкие грани пластины под углами, меньшими угла полного внутреннего отражения, и, в отличие от лучей типа I, испытывает на границе с воздухом как отражение, так и преломление. Преломленные лучи выходят через широкие грани за пределы сцинтиллятора в основном в результате однократного падения. В этом случае доля интенсивности света, выходящего за пределы широкой грани пластины, для волн с длиной 400-600 нм. составляет более 90% (см. рис.1б).

Основываясь на простых геометрических соображениях, отметим некоторые свойства этих двух типов лучей, которые могут, по нашему мнению, представлять специальный интерес.

Относительные интенсивности лучей I и II. Поскольку сцинтилляционная вспышка излучает свет изотропно, очевидно, интенсивности лучей J_I и J_{II} соотносятся между собой пропорционально телесным углам, Ω_I и Ω_{II} , в которые они испущены. Можно показать, что

$$J_{II} / J_I \approx \Omega_{II} / \Omega_I = \cos \Phi / (1 - \cos \Phi). \quad (2)$$

Для сцинтилляторов, изготовленных на основе полистирола или поливинилхлорида ($n=1.58$), отношение интенсивностей двух типов лучей равно :

$$J_{II} / J_I = 3,34. \quad (3)$$

Для реальных сцинтилляторов следует при этом ожидать, что абсолютный световыход лучей типа II через широкие грани будет одинаковым по всей поверхности пластины, в то время как выход света через торцы (лучи типа I) будет зависеть от места возникновения вспышки из-за затухания света в сцинтилляторе.

Размер светящейся наружной поверхности сцинтилляционной пластины.

При прохождении частиц перпендикулярно к плоскости широкой грани пластины максимальный размер площади, через которую выходит наружу из пластины свет (типа II), ограничен пятном с характерным радиусом :

$$R = d * \operatorname{tg} \Phi. \quad (4)$$

Это легко увидеть из построения на рис. 1б.

Заметим, что в экспериментах с частицами высоких энергий типичная толщина используемых сцинтилляционных пластин составляет 3-5 мм. Это значит, что радиус светящейся области R на широкой грани пластины в этом случае не превысит 2-4 мм. Эта величина уменьшится в 2-3 раза, если использовать новейшие модификации сцинтилляторов типа, например, BC, NE или Pilot [2], для которых толщина сцинтилляционных пластин может быть уменьшена до значения 1 мм. без существенных потерь в эффективности регистрации частиц.

Если в непосредственной близости от этой зоны расположить фотоприемник или светоулавливающее устройство, например, спектросмещающее волокно с ФЭУ, то координата прохождения частицы через сцинтиллятор может быть найдена в этом случае с точностью не хуже 1-4 мм. Детектор, построенный на этом принципе, может конкурировать по размерам, пространственному разрешению и простоте конструкции с традиционными сцинтилляционными годоскопами, а в некоторых случаях даже с пропорциональными камерами. А лучи типа I, собранные с торца пластины, могут использоваться для триггера системы.

2. Экспериментальная проверка соотношений (3) и (4)

Методика измерений. Для проверки справедливости соотношений (3) и (4) был использован оптический стенд, схема которого приведена на рис.2а. Сцинтилляционная пластина размером $70 \times 270 \times 1.4$ мм³, изготовленная методом экструзии на основе стандартной смеси полистирола, р-терфенила и ПООП, облучалась коллимированным пучком электронов от радиоактивного Sr - 90. На широкой грани пластины, касательно к её поверхности, было закреплено спектросмещающее волокно (WLS - волокно) типа Y-11 (производства фирмы Kuragai) диаметром 1.0 мм. Противоположная грань покрывалась чёрной бумагой на оптической смазке для поглощения света, падающего на эту грань. Пластина вместе с волокном была помещена в светонепроницаемый ящик.

Спектросмещающее волокно Y-11 преобразовывало видимую часть светового спектра, излучаемую сцинтилляционной пластиной, в диапазон зеленых волн, близкий к 510 нм, и передавало свет на фотокатод фотоумножителя ФЭУ - 75, работавшего в токовом режиме.

Радиоактивный источник имел возможность перемещаться во взаимно перпендикулярных направлениях относительно сцинтилляционной пластины.

С помощью этого стенда была изучена способность описанной выше системы съёма света к регистрации компоненты лучей типа II от сцинтилляционной вспышки.

Проверка избирательной чувствительности системы съёма света к месту облучения пластины. Измерения показали, что оптический сигнал, наведенный в WLS – волокне, зависел от относительного расположения источника и волокна так, что он достигал максимума при совпадении положений волокна и источника Sr-90 и резко убывал при увеличении относительного расстояния между ними. Типичная зависимость тока ФЭУ от положения источника приведена на рис.3. Эти результаты ясно свидетельствуют о том, что описанное устройство обладает способностью определения места прохождения заряженной частицы через пластину.

Обнаруженная избирательность не связана с чувствительностью самого WLS-волокна к электронам и γ -квантам от Sr-90. Это обстоятельство было проверено нами в контрольном опыте, в котором между сцинтилляционной пластиной и WLS-волокном помещалась тонкая светонепроницаемая полоса бумаги вдоль всей поверхности соприкосновения волокна и пластины. Полоса бумаги, поглощавшая компоненту лучей II, не меняла собственной чувствительности волокна к воздействию источника Sr-90. При этом оказалось, что вклад собственной чувствительности WLS-волокна к электронам и γ -квантам в общий сигнал от источника не превышал 10%.

Как показали измерения, ширины распределений, а также максимальная величина наведённых в WLS - волокне сигналов с точностью до ошибок измерений не зависят от места расположения волокна на данной пластине. Исключением является лишь достаточно малая область объёма, непосредственно примыкающая к торцам пластины, где краевые эффекты, вызываемые рассеянием света на торцовых гранях, слегка влияют на количество света, уходящего через широкую грань. Этот эффект яснее всего виден в случае, когда волокно находилось на расстоянии 3 мм. от ближайшего торца пластины (см. рис.3).

Ширина (на полувысоте) кривых на рис.3, 2σ , оказалась равной 8.5 мм. С учетом суммарного уширения, связанного с конечными размерами электронного пучка и размерами WLS - волокна (3.6 мм), разрешение оказалось равным 2.2 мм для пластины толщиной 1.4 мм.

Всё это позволяет предположить, что сигналы, регистрируемые нами с помощью WLS – волокна, сформированы лучами типа II.

Дополнительно был поставлен опыт, схема которого приведена на Рис.2б. Сцинтилляционная пластина толщиной 4 мм и начальной площадью 900 см² облучалась коллимированным пучком электронов под углом 75 градусов. Место прохождения пучка (в 1,5 см. от одного из углов пластины) просматривалось двумя фотоумножителями ФЭУ-85, фотокатоды которых находились в 3 см. от поверхности пластины по разные стороны от неё.

Амплитуды сигналов от ФЭУ₁, совпавшие по времени с сигналами от ФЭУ₂, оцифровывались с помощью 1024-канального кодировщика.

Положения максимумов спектров амплитуд ФЭУ₁ при различных величинах площади сцинтилляционной пластины приведены на рис.4. (Изменение площади производилось последовательным обрезанием пластины без полирования обрезанных граней). Из этого рисунка видно, что светосбор не зависит от площади пластин. Это подтверждает предположение о том, что наблюдаемый выход света с широких граней определяется лучами типа II.

Зависимость избирательной способности системы сбора света от толщины пластины. Проверка справедливости предсказаний формулы (4) была выполнена на основе измерений ширины кривых избирательной способности σ с поправкой на реальные размеры электронного пучка, для пластин различных размеров. Результаты этой проверки для сцинтилляционных пластин прямоугольной формы с толщинами в диапазоне 1,4 -20 мм приведены на рис.5. Видно, что измеренные величины находятся в достаточно хорошем согласии с расчётными значениями, найденными по формуле (4).

Соотношение интенсивностей выхода света J_{11}/J_1 . Аккуратное измерение соотношения этих интенсивностей является достаточно трудной задачей. По этой причине мы ограничились только грубой его оценкой. С этой целью с помощью того же, использованного ранее, экземпляра WLS-волокна для пластины с размером 70x270x1,4 мм³ было найдено затухание света в веществе этой пластины. С учётом этого затухания световой выход с торца (при этих измерениях для более полного сбора света к волокну прикреплялся отражатель из алюминизированного майлара) сравнивался со световым выходом со стороны широкой грани. В качестве последнего использовалось значение, полученное интегрированием под всей площадью пика кривой на рис.3. Отношение интенсивностей выхода света J_{11}/J_1 оказалось равным 3.5 ± 0.3 . Эта величина находится в достаточно хорошем согласии с расчётным значением 3.34, найденным по формуле (2).

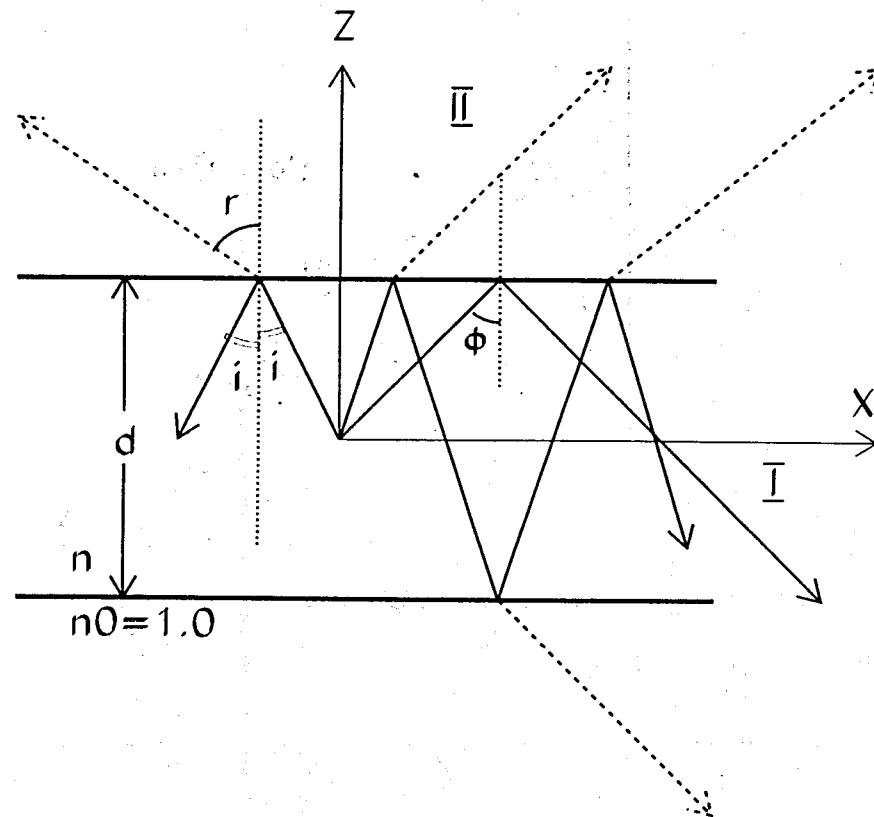


Рис1а. Ход лучей от точечной вспышки в пластине с полированными гранями. Сплошные линии - лучи типа I, пунктир - лучи типа II, Φ - угол полного внутреннего отражения, i - углы падения и отражения, r - угол преломления, n - показатель преломления, d - толщина пластины

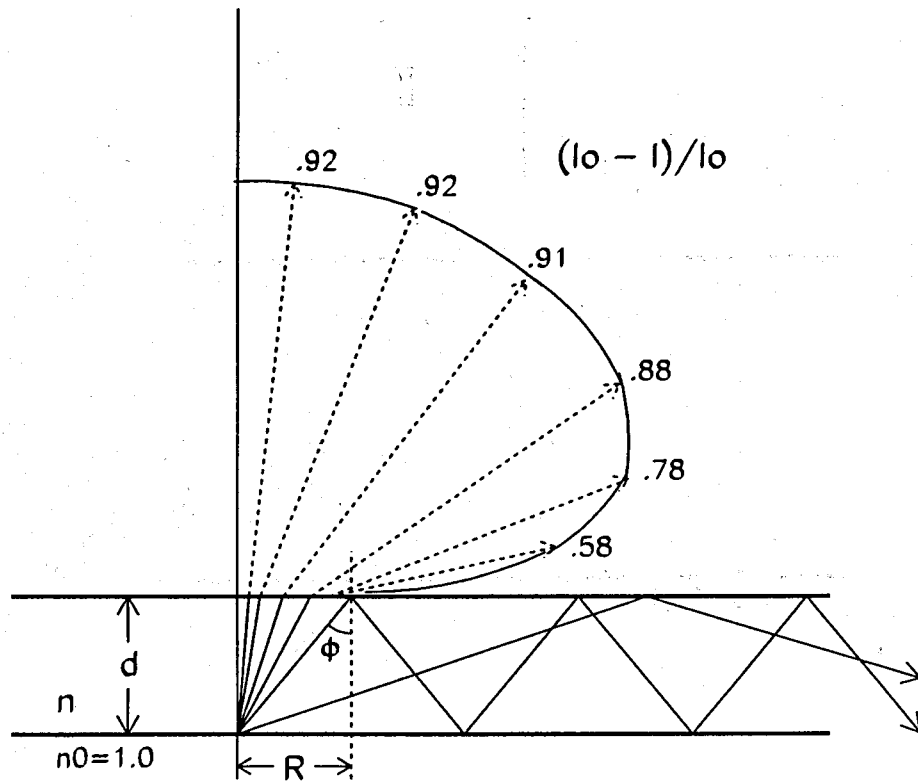


Рис 16. Интенсивность лучей от сцинтиляционной вспышки, выходящих за пределы пластины через широкую грань сцинтиллятора. I_0 – интенсивность луча от вспышки, I – интенсивность отраженных лучей, R – радиус области на широкой грани пластины, через которую свет выходит за ее пределы – в тексте "размер светящейся наружной поверхности ..."

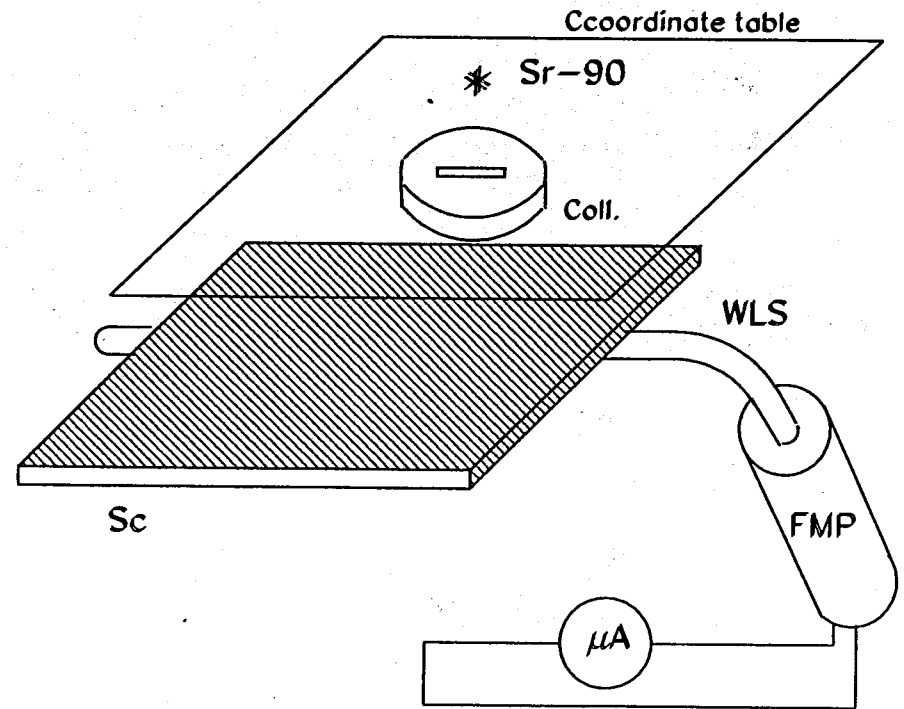


Рис.2а. Схема оптического стенда для исследования избирательной способности волоконной системы сбора света со сцинтиляционной пластины. FMP – фотоумножитель, WLS – спектрсмещающее волокно, Sc – исследуемая сцинтиляционная пластина, Coll – коллиматор, Sr-90 – источник электронов, Coordinate table – координатный стол

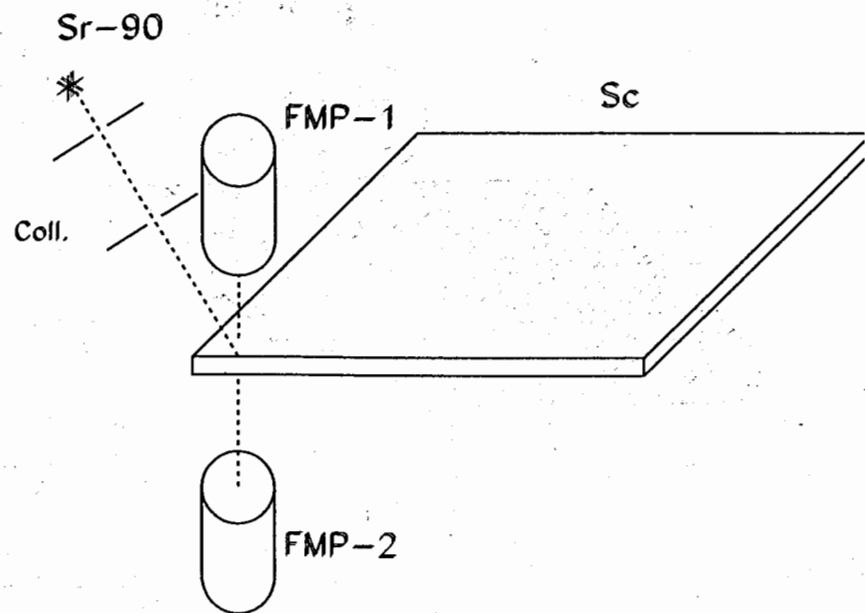


Рис.26. Схема опыта по регистрации лучей типа II. Sc – стинциллятор, Sr-90 – радиоактивный источник e^- и γ , Coll - коллиматоры, FMP-1 и FMP-2 - Фотоумножители ФЭУ₁ и ФЭУ₂

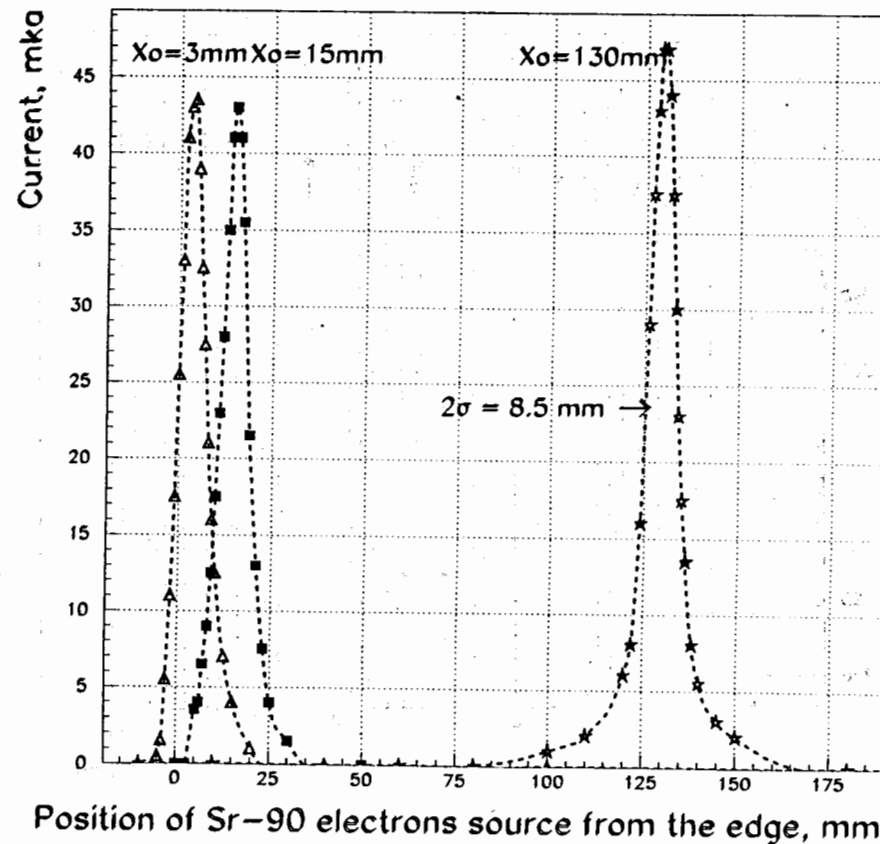


Рис.3. Зависимость амплитуды оптических сигналов, наведённых в WLS- волокне, от расстояния между волокном и источником электронов. X_0 – расстояние от края пластины до волокна. По оси абсцисс – положение источника относительно края пластины

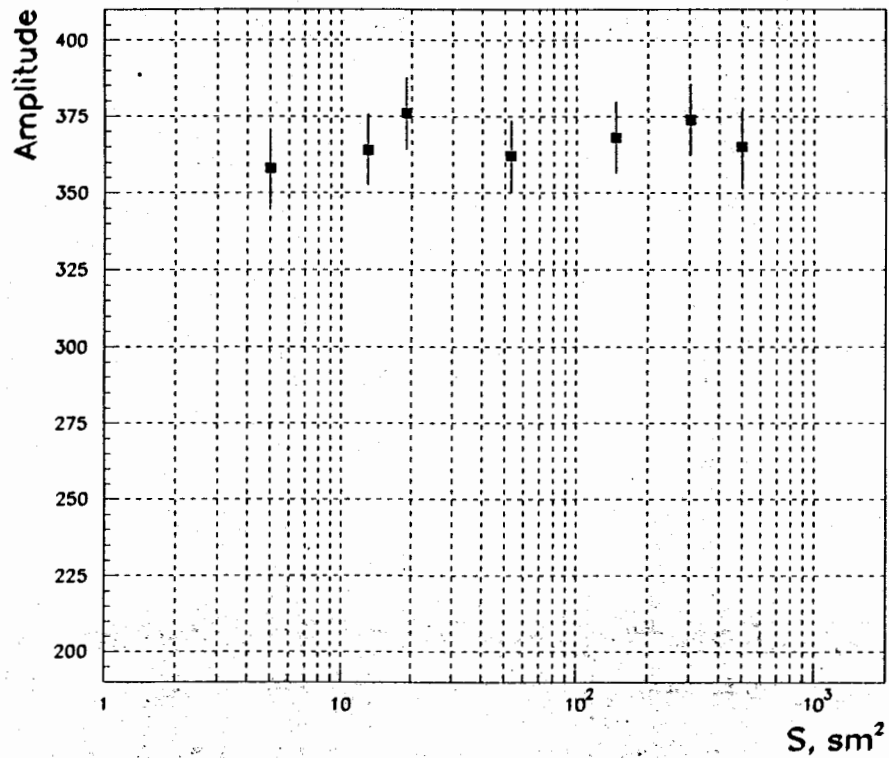


Рис.4. Зависимость положения максимума спектра амплитуд ФЭУ₁ от площади сцинтилляционной пластины. S – площадь пластины

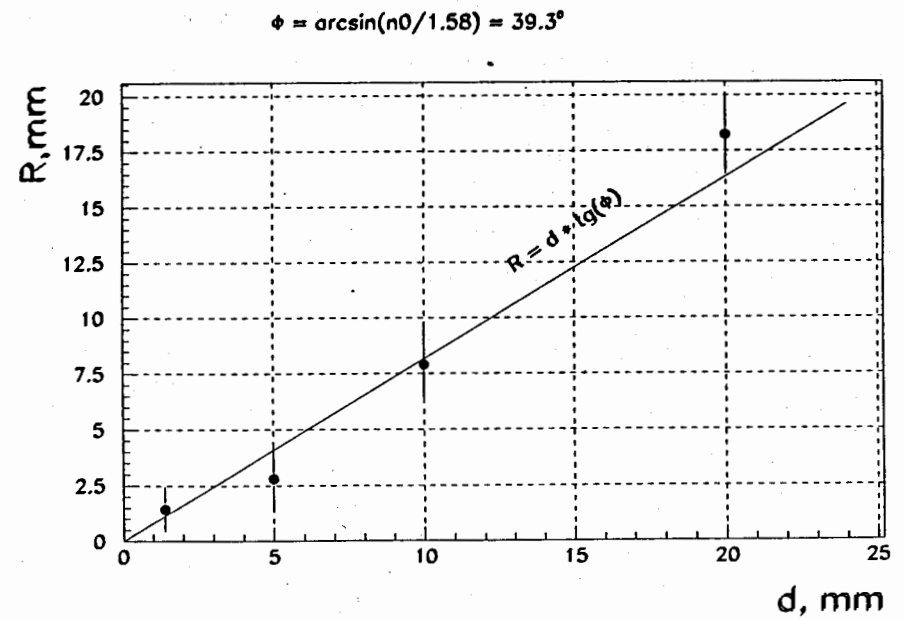


Рис.5. Зависимость измеренных значений ширин избирательной способности волоконной системы светосбора (размера светового пятна, R, на поверхности широкой грани пластины) от толщины исследуемых пластин, d. Сплошная линия - предсказания по формуле (4) для $n = 1.58$. См. обозначения на рис. 1а,б

3. Выводы

1. На основе анализа хода лучей от сцинтилляционной вспышки в пластине, окруженной воздухом, предложен и экспериментально проверен новый метод считывания оптической информации о месте возникновения сцинтилляционной вспышки в пластинах больших размеров.

2. Опытным путём показано, что предложенная система сбора света позволяет находить координаты проходящей через тонкую пластину частицы с погрешностью, примерно равной толщине используемой пластины.

3. Изученный нами новый метод регистрации координат применим при работе как с релятивистскими, так и с медленными частицами.

Авторы благодарят В.С. Киселёва и И.Ш. Музафарова за участие в работе на начальной стадии.

Литература

1. Основные формулы физики. Редактор Д.Мензел, И.Л., Москва, 1957, стр.315.
2. TRIUMF User Handbook, Table III – 15.

Рукопись поступила в издательский отдел
28 сентября 1998 года.

Василевский И.М. и др.

P13-98-272

Тонкая сцинтилляционная пластина больших размеров
как детектор координаты заряженных частиц

Описан новый метод съема света со сцинтилляционной пластины с помощью спектросмещающих волокон для получения информации о координате прохождения через нее заряженных частиц. Пространственное разрешение системы сравнимо с толщиной сцинтилляционной пластины и может конкурировать с разрешением, получаемым на проволочных камерах.

Приведены результаты экспериментальной проверки метода.

Работа выполнена в Лаборатории сверхвысоких энергий ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна, 1998

Перевод авторов

Vasilevski I.M. et al.

P13-98-272

Thin and Large Size Scintillator Plate as a Coordinate Detector
for Charged Particles

A new method of the light-readout from a scintillator plate is proposed in order to identify the particle coordinates by using wave-length shifter (WLS) fibers. The spatial resolution of the system is compared with the plate thickness and competes with those for multiwire chambers.

The results of the experimental tests are given.

The investigation has been performed at the Laboratory of Particle Physics, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna, 1998