

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА



28/11/74

Б-202

P13 - 10241

758/2-77

Б.Ю.Балдин, Л.С.Вертоградов, З.В.Крумштейн,
М.А.Мусин, В.И.Петрухин, А.И.Ронжин,
С.Л.Смирнова, Й.Шюлер

КООДИНАТНЫЕ ДЕТЕКТОРЫ
НА ЖИДКИХ СЦИНТИЛЛЯТОРАХ

1976

P13 - 10241

Б.Ю.Балдин, Л.С.Вертоградов, З.В.Крумштейн,
М.А.Мусин, В.И.Петрухин, А.И.Ронжин,
С.Л.Смирнова, Й.Шюлер

**КООРДИНАТНЫЕ ДЕТЕКТОРЫ
НА ЖИДКИХ СЦИНТИЛЛЯТОРАХ**

Направлено в ПТЭ

Балдин Б.Ю., Вертоградов Л.С., Крумштейн З.В.,
Мусин М.А., Петрухин В.И., Ронжин А.И.,
Смирнова С.Л., Шюлер Й.

P13 - 10241

Координатные детекторы на жидких сцинтилляторах

Описана конструкция координатных детекторов на основе жидких сцинтилляторов, приводятся результаты их испытаний. Изучено влияние светосбора на разрешение детекторов. Показано, что наилучшими характеристиками обладает детектор, в котором светосбор осуществляется методом полного внутреннего отражения (ПВО). Пространственное разрешение детектора с размерами $10 \times 10 \times 130 \text{ см}^3$ при энерговыделении в нем 30 МэВ составляет 2,5 см, разрешение по времени пролета - 0,25 нс.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований
Дубна 1976

Baldin B. Yu. et al.

P13 - 10241

Liquid Scintillator Coordinate Detectors

The construction of the coordinate detectors based on liquid scintillators and the results of their tests are presented. The influence of the light-collection on the detector resolution is studied. The detector, in which the light-collection is realised by the total internal reflection (TIR) method, has the best characteristics. The space resolution of the detector with sizes $10 \times 10 \times 130 \text{ cm}^3$ at energy release of 30 MeV, is 2.5 cm, the time-of-flight resolution is 0.25 ns.

The investigation has been performed at the Laboratory of Nuclear Problems, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research
Dubna 1976

© 1976 Объединенный институт ядерных исследований Дубна

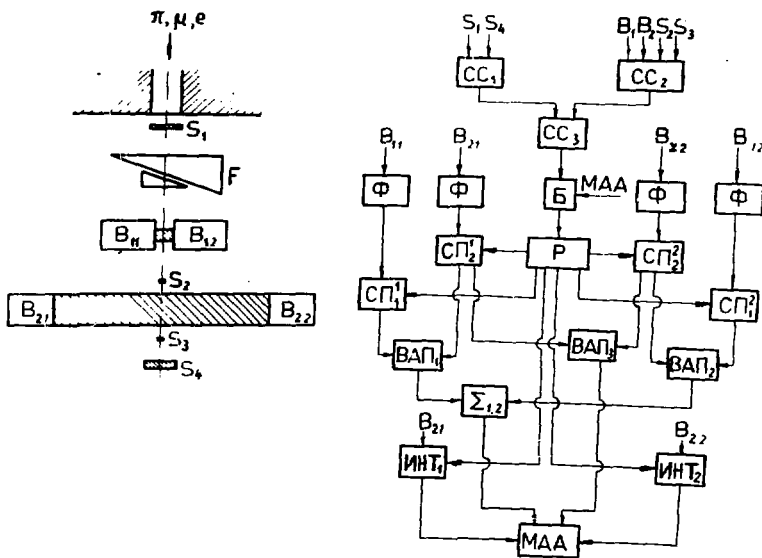
В работе приведены результаты исследования координатных сцинтилляционных детекторов, в которых координата определяется по разности времен прихода световых импульсов на два фотоумножителя, просматривающих протяженный сцинтиллятор с двух противоположных сторон. Наиболее широко в таких детекторах используются сцинтилляторы на твердой основе /полистирол, поливинилтолуол и т.д./^{/1-4/}, нам известна только одна физическая группа из США, использующая в координатном детекторе жидкий сцинтиллятор^{/5/}. Применение жидких сцинтилляторов для координатных детекторов больших размеров > 1 м/ обеспечивает ряд преимуществ по сравнению с твердыми. Главными из них, на наш взгляд, являются: высокая прозрачность, сочетающаяся с хорошими временными характеристиками и большим световыходом; невысокая стоимость, а также относительная простота изготовления.

В настоящей работе изучены характеристики координатных детекторов различных конструкций на основе жидких сцинтилляторов. Исследованы факторы, определяющие разрешение время-пролетного спектрометра по координате и времени пролета при использовании в качестве одного из счетчиков координатного детектора.

Испытывались детекторы прямоугольной геометрии ДПГ₇₃ и ДПГ₁₂₀. Размеры контейнера ДПГ₇₃ - 73 x 10 x 10 см³, ДПГ₁₂₀ - 120 x 12 x 12 см³. Один контейнер был изготовлен для детектора кольцевой геометрии - ДКГ₁₀₀. Размеры этого контейнера - 100 x 12 x 12 см³, радиус кривизны - 1 м. Стенки контейнеров детекторов были изготовлены из листового алюминия толщиной 1 мм. С торцов к стенкам приварены полые световоды из алюминия, внутренняя поверхность которых представляет собой усеченный конус. Диаметры

оснований конусов - 10 см и 5 см /ДПГ_{7,3} / и 12 см и 5 см /ДКГ₁₀₀ /. Длина световодов составляла 8 см. В ДПГ₁₂₀ световоды не применялись. Разделительные стекла толщиной 6 мм и диаметром 8 см крепились в выемки световодов /диаметр 8,2 см, высота 5 мм/ с помощью фланцев. Места соединения стекол со световодами уплотнялись прокладками из индиевой проволоки. Контейнеры детекторов были снабжены дополнительными "аппендиксами" для компенсации температурных изменений объема сцинтиллятора. В основном в детекторах использовались ФЭУ ХР1020, некоторые измерения выполнены с ФЭУ-30. Делители фотоумножителей были подобраны на оптимальное временное разрешение /6/.

Детекторы испытывались на прогонном и мезонном пучках синхроциклотрона ЛЯП ОИЯИ. Схема опыта и блок-схема электронной аппаратуры представлены на рис. 1. Пучок заряженных частиц определенного им-



пульса попадает в телескоп, состоящий из шести сцинтилляционных счетчиков. Счетчики S_1 и S_4 с размерами сцинтилляторов $10 \times 10 \times 1 \text{ см}^3$ и $10 \times 10 \times 3 \text{ см}^3$ служат для мониторинга пучка; S_2 и S_3 / $10 \times 2 \times 1 \text{ см}^3$ каждый/ задают профиль пучка. V_1 является первым базовым счетчиком спектрометра по времени пролета, исследуемый координатный детектор V_2 - вторым. Размеры сцинтиллятора счетчика V_1 - $45 \times 35 \times 35 \text{ мм}^3$. Сцинтилляторы счетчиков V_1 и V_2 просматриваются с обеих сторон фотоумножителями ХР1020. Во время-пролетных измерениях влияние геометрических размеров сцинтилляторов компенсировалось суммированием аналоговых сигналов двух время-амплитудных преобразователей /ВАП/. Нелинейность в трактах для временных измерений в рабочем диапазоне не превышала 1,5%.

Основные измерения проведены на пучке π -мезонов с импульсом 170 МэВ/с , содержащем примерно в равной пропорции π , μ и e . π -мезоны выделялись из пучка с помощью счетчика S_4 , работавшего в режиме "звездного детектора" /7/. Энерговыделение π -мезонов в исследуемых координатных детекторах составляло $\sim 30 \text{ МэВ}$. В каждой серии измерений определялся профиль пучка с помощью координатного детектора. В этом случае счетчики S_2 , S_3 , S_4 и V_1 выключались из совпадений. Неравномерность распределения интенсивности пучка в месте расположения счетчиков S_2 и S_3 не превышала 10%.

Первоначальные испытания детектора ДПГ_{7,3} были проведены на пучке протонов. Разрешение по координате /ширина на полувысоте/ было измерено с двумя разными ширинами сцинтилляторов счетчиков S_2 , S_3 , равными

Рис. 1. Схема опыта для испытаний координатных детекторов. S_1 , S_4 - мониторные счетчики, S_2 , S_3 - профильные счетчики, V_1 - первый базовый счетчик спектрометра по времени пролета, V_2 - исследуемый координатный детектор, F - фильтр переменной толщины, $СС$ - схемы совпадений, Φ - формирователи, $СП$ - схемы пропускания, $ВАП$ - время-амплитудные преобразователи, Σ - линейный сумматор, $ИНТ$ - интегратор, $ММА$ - многоканальный амплитудный анализатор.

1 см и 2 см. Это позволило уточнить процедуру исключения влияния ширины профильных счетчиков на величину разрешения. В табл. 1 представлены значения аппаратного разрешения, полученные квадратичным вычитанием из измеряемой величины разрешения ширины сцинтилляторов счетчиков S_2 , S_3 /как в работе /8/ /, а также - вычитанием дисперсий прямоугольного распределения с ширинами 1 см и 2 см. Из таблицы видно, что значения, полученные вычитанием дисперсий, хорошо согласуются между собой, а при квадратичном вычитании - существенно различаются.

Детектор ДПГ₇₃ испытывался с двумя типами сцинтилляторов: 1/ толуол с добавками 3 г/л р-терфенила и 100 мг/л РОРОР, 2/ толуол с добавками 3 г/л р-терфенила и 33 мг/л дистирилбифенила. На рис. 2 представлены зависимости среднего значения амплитуды выходного сигнала ФЭУ от места прохождения заряженной частицы через сцинтиллятор /амплитудные зависимости/. Полученные данные показали, что световыход сцинтиллятора с добавкой дистирилбифенила на 20% больше, чем с добавкой РОРОР, а по прозрачности сцинтилляторы практически не различаются. Из табл. 1 видно, что наблюдается ухудшение разрешения по координате к краям детектора /неоднородность/. С целью изучения причин этого явления были измерены характеристики координатных детекторов в зависимости от способов светособирания. Исследовалось влияние отражающих покрытий в следующих вариантах сцинтилляторов: 1/ твердый сцинтиллятор на основе полистирола с полированными боковыми стенками, а/ обернутыми зеркальным майларом, б/ имеющими оптический контакт со светопоглощающей поверхностью; 2/ жидкий сцинтиллятор на основе толуола, когда стенки контейнера ДПГ₁ а/ покрыты зеркальным майларом, б/ диффузно отражают свет.

При измерениях разрешения по координате использовалась временная привязка к переднему фронту импульса ФЭУ, поэтому величина отношения $U_{п}/A$ для центра детектора / $U_{п}$ - порог формирователя, A - среднее значение амплитуды выходного сигнала ФЭУ/ в случаях 1а, 2а, 2б выбиралась одинаковой, что достигалось

Таблица 1

Сцинтиллятор (при диффузном отражении света на стенках контейнера).	Положение детектора X (см)	Разрешение по координате (см)	Аппаратурное разрешение по координате (см)		Ширина сечетчиков (см)	S_2, S_3
			При вычитании дисперсии прямоуг. распр.	При квадрат. вычитании при счече.		
Токозол + 3г/л р-терфенила + 100 мг/л РОРОР	-30 -15 0 +15 +30	3,6 3,3 2,6 2,6 3,7	3,3 3,0 2,4 2,4	3,0 2,7 2,0 2,1	2	
	-30 -20 -10 0 +10 +20 +30	3,4 3,1 2,7 2,5 2,5 2,8 3,4	3,3 3,0 2,4 2,4	3,0 2,7 2,0 2,1		1
Токозол + 3 г/л р-терфенила + 33 мг/л дистирлабфенила	-30 -15 0 +15 +30	3,2 3,0 2,7 2,9 3,3	2,8 2,6 2,6 3,0		2	

Отражающая поверхность $\left\{ \begin{array}{l} \text{зеркальная} \left\{ \begin{array}{l} (\square, \oplus) \\ (\triangle, \Delta) \end{array} \right. \\ \text{диффузная} \quad (\circ, \ominus) \\ \text{светопогло-} \\ \text{щающая} \quad (\nabla, \Psi) \end{array} \right.$

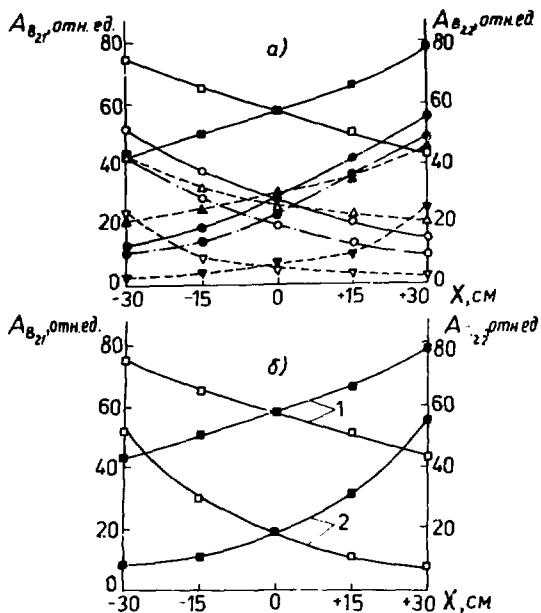


Рис. 2. Зависимости амплитуды выходного сигнала ФЭУ от места прохождения частицы через детектор: а/ сплошная линия - жидкий сцинтиллятор на основе толуола с добавками р-терфенила и дистирилбифенила; штрихпунктирная линия - жидкий сцинтиллятор на основе толуола с добавками р-терфенила и РОРОР; пунктирная линия - твердый сцинтиллятор на основе полистирола; б/ 1 - то же, что на рис. 2а; 2 - сцинтиллятор на основе вазелинового масла.

изменением напряжения питания ФЭУ. Предварительно было установлено, что при фиксированном отношении U_{II}/A изменение напряжения на ФЭУ ХР1020 в диапазоне 1700÷2600 В не влияет на временное разрешение. Оптимальной по разрешению для вариантов 1а, 2а, 2б оказалась величина отношения $U_{II}/A = 10\%$, а для случая 1б - 5%. Ширина амплитудных спектров в случаях 1а, 2а, 2б не превышала 25%, в случае 1б спектры уширялись до 45%. Чтобы получить сравнимые условия для разных вариантов детекторов в амплитудном спектре детектора 1б вырезалось "окно" шириной 25%. Это привело к улучшению разрешения по координате на 17%. В табл. 2 и на рис. 2 представлены результаты измерений. Анализ приведенных данных показал, что разрешение координатных детекторов зависит от количества света, пришедшего на фотокатод в результате отражения от боковых стенок, в отличие от детекторов с малыми размерами сцинтилляторов, разрешение которых определяется "прямым" светом ^{19/}.

Для оценки роли световодов и возможности работы детекторов на непрямом свете были испытаны детекторы ДПГ₁₂₀ и ДКГ₁₀₀. Боковые стенки контейнеров детекторов были покрыты изнутри зеркальным майларом. Амплитудные зависимости детекторов ДПГ₁₂₀ и ДКГ₁₀₀ показаны на рис. 3. Для сравнения здесь же приведены амплитудные зависимости ДПГ₁₂₀, измеренные ранее в варианте стенок контейнера, диффузно отражающих свет. Сравнение амплитудных зависимостей детекторов ДПГ₁₂₀ и ДПГ₇₃ показывает, что применение световодов позволяет существенно /фактор 2/ увеличить светосбор из области детектора, наиболее удаленной от фотокатода ($X > 45$ см). Примерно такой же эффект достигается использованием зеркального покрытия вместо диффузного. Разрешение по координате детекторов ДПГ₁₂₀ и ДКГ₁₀₀ составило, соответственно, 4,1 см и 4,6 см. Детектор ДПГ₁₂₀ в этих же условиях испытывался с применением фотоумножителей ФЭУ-30. В этом случае разрешение оказалось 6,5 см.

В результате этих исследований установлено, что увеличение количества собранного непрямого света по-

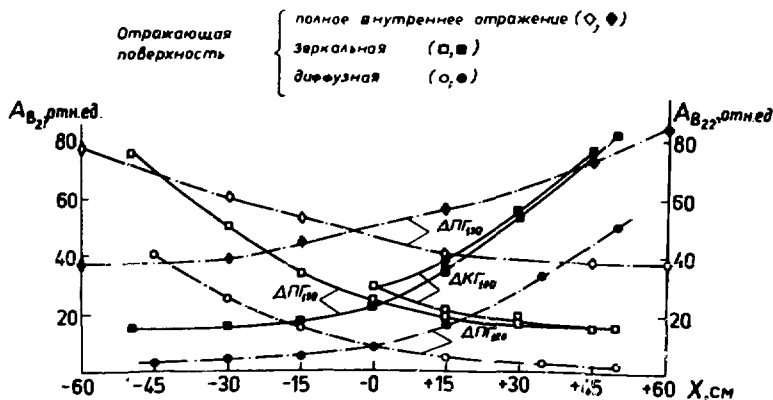


Рис. 3. Амплитудные зависимости для координатных детекторов. Тип сцинтиллятора обозначен теми же линиями, что и на рис. 2.

зволяет улучшить характеристики координатных детекторов. Поэтому представляло интерес испытание координатного детектора с поверхностью сцинтиллятора, обеспечивающей полное внутреннее отражение /ПВО/. Для этого был изготовлен детектор ДПГ₁₃₀ с размерами 130x10x10 см³. Контейнер детектора и световоды были выполнены из пенополиуретана /ППУ/. Каждая из стенок контейнера была обтянута изнутри прозрачным майларом толщиной 50 мк. Склейка стенок друг с другом и со световодами, а также присоединение оптических стекол к световодам производились с помощью клея на основе эпоксидной смолы. Прочность конструкции обеспечивалась за счет каркаса из дюралевых уголков, стягивающих контейнер с помощью стальных шпилек. Изготовление стенок контейнера и световодов из ППУ, являющегося лористым материалом, позволило устранить оптический контакт между майларом и стенками контейнера. Кроме того, имелась возможность поддува воздуха в пространство между майларом и ППУ. Контейнер детектора был заполнен сцинтиллятором на основе толуола с добавками 3 г/л р-терфенила и 100 мг/л РОРОР.

Таблица 2

Сцинтиллятор	Отражающая поверхность	Положение детектора X, см.	Разрешение по координате, см	Аппаратурное разрешение, см
Твердый; на основе полистирола с добавкой 2% р-терфенила и 0,02% POPS	Полнмирована и обернута зеркальным майларом	-30	3,5	3,2
		-15	3,3	3,0
		0	3,3	3,0
		+15	3,3	3,0
		+30	3,5	3,2
в контакте с черной бумагой	$\frac{\Delta A}{A} = 45\%$	-30	5,1	4,9
		-15	5,1	4,9
		0	4,7	4,5
		+15	4,9	4,7
		+30	5,3	5,1
	$\frac{\Delta A}{A} = 25\%$	0	4,0	3,8
Жидкий; на основе толуола с добавкой 3 г/л р-терфенила и 33 мг/л дистирилбифенила	диффузно отражает свет	-30	4,0	3,8
		-15	3,7	3,4
		0	3,4	3,1
		+15	3,6	3,3
		+30	3,8	3,5

Выделение энергии в детекторе - 30 МэВ, ширина счетчиков S_2, S_3 - 2 см.

Разрешение по координате детектора ДПГ₁₃₀ с ПВО оказалось не хуже, чем разрешение ДПГ₇₃, равное 2,5 см /см. табл. 3/. Таким образом, использование ПВО в ДПГ₁₃₀ позволило получить такое же высокое разрешение, как для ДПГ₇₃, при почти вдвое большей длине ДПГ₁₃₀. Амплитудные зависимости для ДПГ₁₃₀ показаны на рис. 3, кривые пространственного разрешения - на рис. 4.

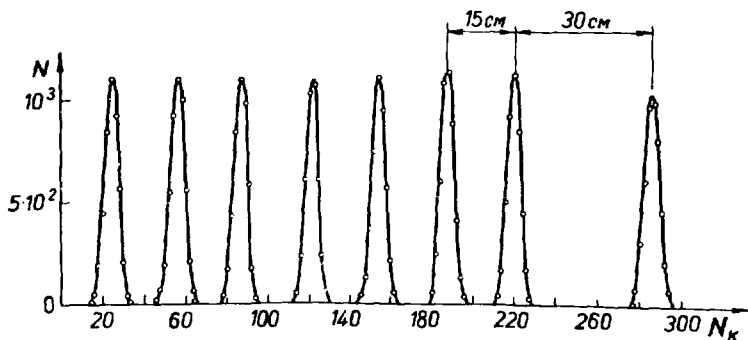


Рис. 4. Кривые пространственного разрешения детектора ДПГ₁₃₀.

Во время-пролетных измерениях координатные детекторы использовались в качестве вторых базовых счетчиков спектрометра. Результаты по их временному разрешению приведены в табл. 3. Для сравнения в этой же таблице приведены значения аппаратного разрешения координатных детекторов, взятые из предыдущих таблиц. Анализ данных таблицы 3 показывает, что временное разрешение спектрометров определяется координатным детектором, а счетчик В₁ вносит в разрешение малый вклад.

С целью изучения возможности размещения координатного детектора в чувствительном объеме пятиметровой стримерной камеры /10/ были проведены испытания сцинтилляторов, обладающих повышенными электронизоляционными свойствами /11/, пожаробезопас-

Таблица 3

Тип детектора	Сцинтиллятор и тип поверхности	ФЭУ	Энерговыделен. в детекторе, МэВ	Разрешение по времени пролета, нс	Аппаратурное разрешение по координатам, см	Размеры сцинтиллятора, см ³
ДПГ ₇₃	Толуол, 3 г/л р-терфенила, 33 мг/л дистирилобифенила, зеркальн.	ХР1020	30	0,25	2,5	73x10x10
ДПГ ₁₂₀	Толуол, 3 г/л р-терфенила, 100 мг/л РОРОР; зеркальн.	ХР1020 ФЭУ-30	36 36	0,37 0,56	4,1 6,5	120x12x12
ДКГ ₁₀₀	Толуол, 3 г/л р-терфенила, 100 мг/л РОРОР, зеркальн.	ХР1020	36	0,53	4,6	Осевая линия - 1/6 часть окружности с R = 1 м сечение 12x12 см ²
ДПГ ₁₃₀	Толуол, 3 г/л р-терфенила, 100 мг/л РОРОР, полное внутр. отражение.	ХР1020	30	0,25	2,5	130x10x10

ностью, низкой токсичностью. Этим требованиям отвечают, в частности, сцинтилляторы на основе масел^{/12/}. Нами были исследованы характеристики ДПГ₇₃ со сцинтиллятором на основе химически очищенного вазелинового масла с добавками РРО - 4 г/л, РОРОР - 0,05 г/л и нафталина - 100 г/л. На рис. 26 приведены полученные амплитудные зависимости. Прозрачность сцинтиллятора на основе исследованного масла оказалась в 10 раз меньше, чем на основе толуола. Длительность по основанию импульса от ФЭУ ХР1020 составляла $t_{\text{тол.}} \approx 15$ нс для сцинтилляторов на основе толуола и $t_{\text{масл.}} = 40$ нс для сцинтиллятора на основе масла. Поскольку все приведенные значения амплитуд являются интегралом импульса тока с анода ФЭУ, для выделения пикового значения амплитуды в случае сцинтиллятора на основе масла амплитудные зависимости следует поправить на величину отношения $t_{\text{тол.}}/t_{\text{масл.}}$. Разрешение по координате и времени пролета ДПГ₇₃ со сцинтиллятором на основе масла составило 7,8 см и 0,62 нс, соответственно. Дополнительные исследования показали, что включение в сцинтиллятор нафталина, увеличивающее его световыход, одновременно увеличивает и время его высвечивания, что ограничивает возможность применения этого сцинтиллятора во временных измерениях. Удобными в отношении техники безопасности являются также сцинтилляторы на основе дитоллилметана. Они имеют малое время высвечивания /~ 3 нс/, высокий световыход /> 100% по отношению к толуолу/ и относительно высокую прозрачность. Детектор ДПГ₇₃ был испытан со сцинтиллятором следующего состава: дитоллилметан + 5 г/л РРО + 100 мг/л РОРОР. Разрешение по координате, полученное в предварительных испытаниях, составило 4,5 см.

Литература

1. G. Charpak, L. Dick, L. Feuvrais. Nucl. Instr. and Meth., 15, 323, 1962.
2. D. Bollini, A. Buhler-Broglin, P. Dalpiaz, T. Massam, F. Navach, F. L. Navarra, M. A. Schneegans, F. Zetti, A. Zichichi. Nuovo Cim., 61A, 125, 1969.

3. U. Stier. *Ein Szintillationszähler zum Ortsnachweis von Neutronen, Karlsruhe, 1970.*
4. Р. Г. Асвацацуров, И. Ф. Колпаков, В. А. Смирнов, М. Н. Хачатурян. ПТЭ, 1, 77, 1971.
5. I. T. Dakin. *Nucl. Instr. and Meth.*, 114, 393, 1974.
6. Б. Ю. Балдин, А. И. Ронжин, З. Цисек. Сообщение ОИЯИ, 13-7859, Дубна, 1974.
7. A. F. Dunaitsev, Yu. D. Prokoshkin, Tang-Syao-wei. *Nucl. Instr. and Meth.*, 8, 11, 1960.
8. С. А. Бунятов, Б. Ж. Залиханов, А. Холбаев, Г. М. Штауденмайер. Сообщение ОИЯИ, P13-6222, Дубна, 1972.
9. Н. К. Вишневецкий, М. И. Грачев, И. И. Карпов, В. Г. Лапшин, А. И. Ронжин, В. И. Рыкалин, В. И. Соляник, В. И. Хромов. Препринт ИФВЭ, 71-86, Серпухов, 1971.
10. G. Bohm et al. *Proc. of I Int. Conf. on Streamer Chamber Technology*, 1973, ANL 8055, p. 117.
11. А. А. Ноздрин, Г. А. Шелков. Препринт ОИЯИ, 13-7861, Дубна, 1974. ПТЭ, 2, 239 /1975/.
12. И. И. Земскова, Л. Я. Жильцова, Е. Н. Мавеева, В. Г. Тыминский. Препринт ОИЯИ, 13-4349, Дубна, 1969.

Рукопись поступила в издательский отдел
23 ноября 1976 года.