

75203

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА



10203

13 - 10203

ЭКЗ. ЧИТ. ЗАЛА

С.А.Бунятов, Б.Ж.Залиханов, В.С.Курбатов,
А.Халбаев

СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫЙ ДЕТЕКТОР
ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ВРЕМЕНИ ПРОЛЕТА
И КООРДИНАТЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ НЕЙТРОНОВ

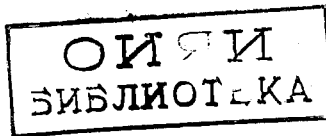
1976

13 - 10203

С.А.Бунятов, Б.Ж.Залиханов, В.С.Курбатов,
А.Халбаев*

СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫЙ ДЕТЕКТОР
ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ВРЕМЕНИ ПРОЛЕТА
И КООРДИНАТЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ НЕЙТРОНОВ

Направлено в ПТЭ



* Институт ядерной физики АН УзССР

Бунятов С.А. и др.

13 - 10203

Сцинтилляционный детектор для измерения времени пролета и координаты взаимодействия нейтронов

Описан сцинтилляционный детектор для измерения времени пролета и координаты взаимодействия нейтронов, состоящий из пяти сцинтилляционных спектрометров размерами $70 \times 10 \times 10$ см³. Детектор исследован на пучках заряженных и нейтральных частиц.

Для заряженных частиц получено пространственное разрешение $(3,0 \pm 0,1)$ см, по времени пролета (400 ± 20) пс. Разрешение по времени пролета для нейтронов с энергией $8,87 \text{ МэВ} \leq 1,2$ нс, а для гамма-квантов с энергией $(67,5 \pm 15) \text{ МэВ} - \leq 0,9$ нс.

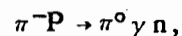
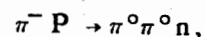
Приводится описание системы временной калибровки и контроля стабильности детектора в процессе эксперимента.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований

Дубна 1976

В настоящей работе описывается детектор, предназначенный для измерения угловых и энергетических распределений нейтронов, образующихся в реакциях



при энергии первичного мезона, равной 230 и 270 МэВ.

Малая величина сечений реакций /1/ и /2/ /например, $\sigma(1) = 0,32 \pm 0,04$ мб при $E_{\pi^-} = 270 \text{ МэВ}$ /^{1/} предъявляет к детектору ряд особых требований. Он должен обладать достаточно высокой эффективностью регистрации нейтронов в диапазоне 10-100 МэВ. Для надежного разделения исследуемых нейтронов и нейтронов, образующихся в фоновой реакции $\pi^- P \rightarrow \pi^0 n$, необходимо иметь разрешение по времени пролета $/1 \div 1,5/$ нс. Наконец, при использовании детектора на пучке ускорителя необходимо обеспечить стабильность работы в течение длительного времени. Изменение цены канала анализатора во времени не должно превышать $/50 \div 100/$ пс.

1. Описание детектора

Детектор нейтронов состоит из пяти сцинтилляционных спектрометров размерами 70 х

х $10 \times 10 \text{ см}^3$, каждый из которых просматривается с противоположных торцов двумя фотоумножителями типа ФЭУ-30. Все пять спектрометров располагаются друг над другом, образуя "стенку" объемом $70 \times 50 \times 10 \text{ см}^3$. Конструкция одного спектрометра описана в работе ^{/2/}.

Внешний вид детектора показан на *рис. 1*. Корпуса ФЭУ закреплены винтами к раме размерами $51 \times 130 \text{ см}^2$, которая способна перемещаться в горизонтальной плоскости. Перемещение детектора в вертикальной плоскости



Рис. 1. Общий вид детектора нейтронов.

осуществляется с помощью редуктора. Вся система счетчиков закреплена на подвижной платформе, вращающейся вокруг оси. Положение оси выбрано таким образом, чтобы при расположении детектора под углами 0° или 14° по отношению к падающему пучку расстояние между центрами мишени и детектора оставалось неизменным.

Детектор расположен на расстоянии 2 м от центра мишени, при этом аксептанс по полярному углу составляет 20° , а по азимутальному углу - 14° .

Чтобы избавиться от заряженных частиц, вылетающих из мишени, и рассеянных частиц пучка, непосредственно перед детектором установлены два сцинтилляционных счетчика размерами $55 \times 45 \times 1 \text{ см}^3$, которые включены в канал антисовпадений.

Схема включения фотоумножителей детектора приведена на *рис. 2*. Аноды ФЭУ, расположенные с одной стороны, соединяются параллельно короткими отрезками кабеля $/\ell = 12 \text{ см}, \rho = 100 \text{ Ом}/$. Сопротивление $R = 100 \text{ Ом}$ служит нагрузочным сопротивлением одновременно для всех пяти фотоумножителей. Фотоумножители ($A_1 \div A_5$) и ($B_1 \div B_5$) располагались таким образом, чтобы время задержки соединительных отрезков кабеля компенсировало разницу во времени пролета фотоэлектронов через умножающую систему фотоумножителей. Сигналы с анодов ФЭУ, несущие информацию о моменте регистрации, поступают на универсальный дискриминатор ^{/3/}, работающий в режиме следящего порога. Используемый метод включения ФЭУ позволяет сократить до минимума число электронной аппаратуры во временных каналах детектора и повысить его надежность.

Недостатком используемого метода включения фотоумножителей является прохождение анодного сигнала ФЭУ через межэлектродную емкость анод-динод на диноды соседних фотоумножителей. Для устранения этих сигналов в динодных цепях каждого ФЭУ используются полупроводниковые диоды Д311, включенные в прямом направлении. Схема включения диодов показана на *рис. 2*.

На *рис. 3* дана схема экспериментальной установки для исследования реакций ^{/1/} и ^{/2/}. Она включает в себя мониторный телескоп, состоящий из пяти сцинтилляционных счетчиков $M1, B11, M3, M\bar{4}$ и $M\bar{5}$, 4-каналь-

либо от пучковой частицы, прошедшей через детектор и счетчики Б1, БII и К1 или К2. Сигналы от детектора, несущие временную информацию, поступают на три время-амплитудных конвертора, работающих по принципу "старт" - "стоп" /5/. Время между сигналами со счетчика БII и каждым ФЭУ одного из спектрометров измеряется конверторами 1 и 2. Координата точки взаимодействия нейтрона определяется конвертором 3. Чтобы измеряемое время пролета нейтронов не зависело от места и угла попадания нейтрона в детектор, а также от скорости распространения светового сигнала в сцинтилляторе, выходные сигналы конверторов 1 и 2 суммируются в процессе обработки информации на ЭВМ "Хьюлетт-Паккард 2116-С". Номер спектрометра, в котором зарегистрирован нейтрон, определяется с помощью годоскопа ОЗ4 /5/.

2. Исследование детектора на заряженных и нейтральных частицах

Исследование детектора заключается в определении пространственного разрешения и разрешения по времени пролета. Методика исследования детектора в целом не имеет принципиального отличия от калибровки одного спектрометра /2/. Поэтому кратко перечислим результаты измерений, усредненные по пяти спектрометрам.

Все измерения проводились на проходящем через детектор пучке π^- -мезонов с импульсом 168 МэВ/с и шириною 2 см/ счетчики К1 и К2/. Амплитудное разрешение ФЭУ равно $25 \pm 1\%$. Длина поглощения света в сцинтилляторе - 220 ± 30 см. Пространственное разрешение детектора с учетом конечной ширины счетчиков К1 и К2 /2 см/ равно $3,0 \pm 0,1$ см /полная ширина на полувысоте/. На рис. 4 показаны спектры пространственного разрешения для одного из спектрометров и зависимость положения максимумов этих спектров от координаты прохождения частицы через спектрометр.

Разрешение детектора по времени пролета определялось по спектру от релятивистских электронов, содер-

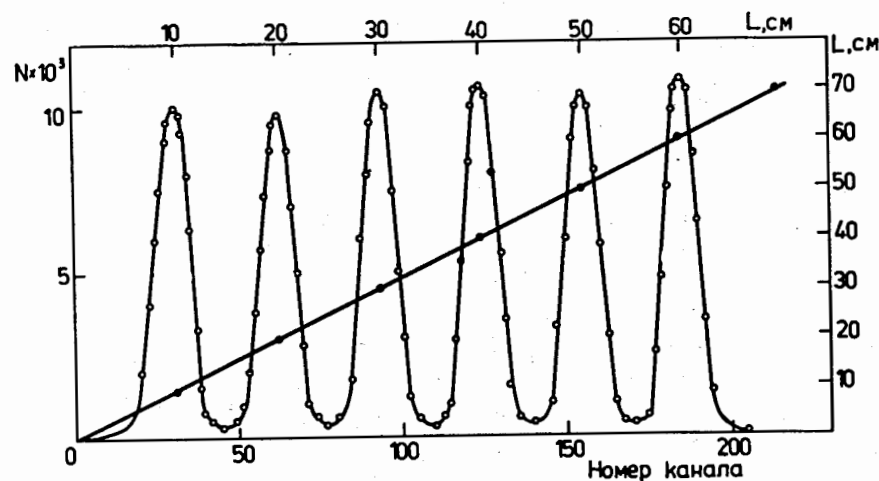


Рис. 4. Спектры пространственного разрешения и зависимость положения максимумов этих спектров от координаты прохождения частиц пучка через спектрометр. 1 канал = 0,3 см.

жащихся в пучке, и составило 400 ± 20 пс /полная ширина на полувысоте/. Спектр по времени пролета пучка отрицательных частиц π^-, μ^-, e^- с импульсом 168 МэВ/с, измеренный на пролетной базе 2 м, показан на рис. 5. Исследование детектора на нейтральных частицах проводилось в специальном эксперименте. Использовалась реакция радиационного захвата остановившихся π^- -мезонов в жидководородной мишени



Кинетическая энергия нейтронов, образующихся в данном процессе, равна $8,87 \text{ МэВ} / \beta_n = 0,1365$, а энергия гамма-квантов - 129,4 МэВ. Нейтроны с этой энергией использовались для измерения разрешения детектора по времени пролета.

При остановке π^- -мезонов в водороде, кроме реакции /3/, происходит реакция перезарядки



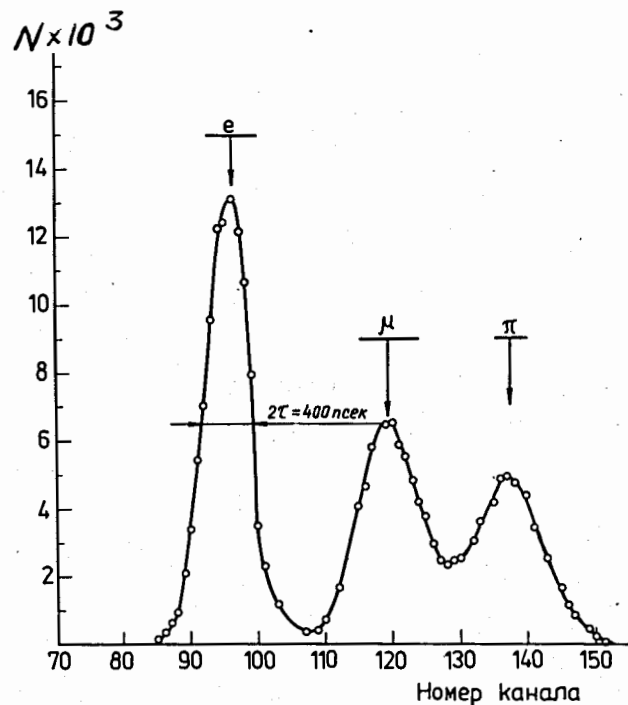


Рис. 5. Спектр по времени пролета пучка отрицательных частиц (π^- , μ^- , e^-) с импульсом 168 МэВ/с. 1 канал = 55 нс.

в которой образуются два гамма-кванта с энергией $/67,5 \pm 15/$ МэВ. Эти гамма-кванты использовались для временной калибровки шкалы анализатора.

Схема эксперимента показана на рис. 6. Гамма-кванты от реакций /3/ и /4/ регистрировались одним черенковским гамма-спектрометром полного поглощения, расположенным на расстоянии 25 см от центра мишени. Непосредственно перед черенковским спектрометром располагался сцинтилляционный счетчик размерами $20 \times 20 \times 1$ см³ и включался в канал антисовпадения. С целью уменьшения углового диапазона регистрации гамма-квантов перед сцинтилляционным счетчиком устанавливался свинцовый коллиматор с диаметром отверстия 9 см и толщиной 5 см. Исследуемый нейтронный спектрометр располагался напротив черенковского

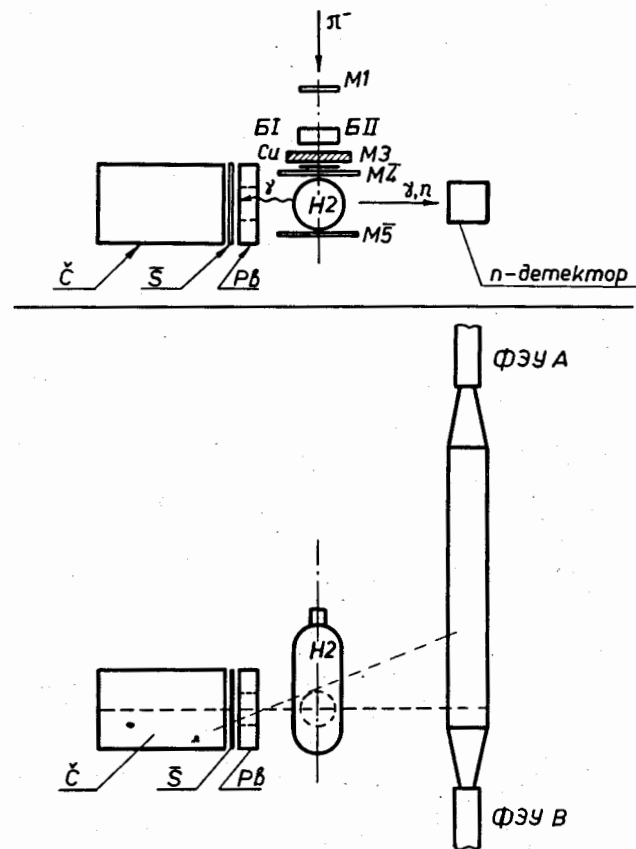


Рис. 6. Схема калибровки спектрометров на нейтральных частицах.

спектрометра на расстоянии 35 см от центра мишени и включался с ним на совпадение. Из-за нечувствительности черенковского счетчика к нейтронам, образующимся в реакции /3/, сцинтилляционным спектрометром регистрировались только гамма-кванты реакции /4/ и нейтроны реакции /3/. Время пролета нейтронов и гамма-квантов измерялось конверторами 1 и 2 /рис. 2/. Выходные сигналы конверторов складывались в схеме линейного сложения и затем поступали на анализатор АИ-4096.

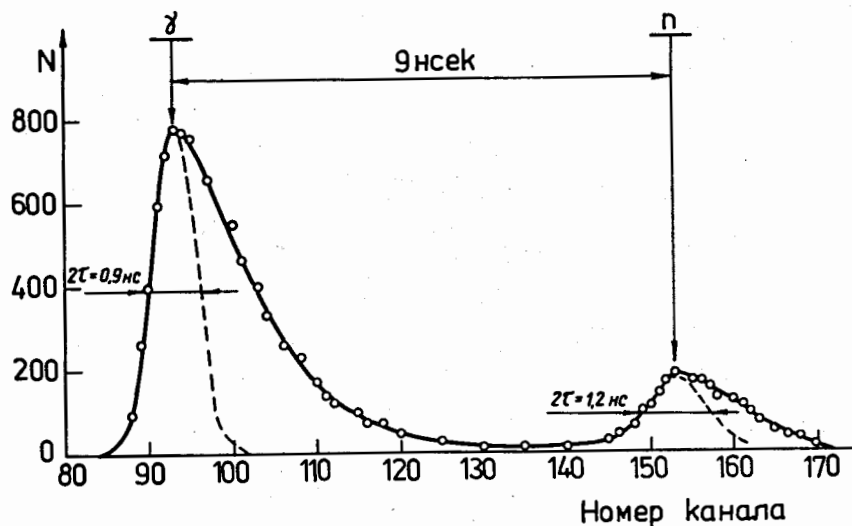


Рис. 7. Спектр по времени пролета гамма-квантов и нейтронов 1 канал = 0,15 нс.

Измерения проводились для мишени, наполненной водородом, и мишени без водорода. Результат измерения на водороде показан на рис. 7. Отчетливо видны два спектра по времени пролета, первый из которых соответствует гамма-квантам реакции /4/, а второй - нейтронам реакции /3/. Интервал между пиками равен 9 нс /1 канал = 0,15 нс/. Наблюдаемая асимметрия временных распределений вызвана разбросом пролетного расстояния от мишени до нейтронного спектрометра. Разброс этого расстояния определяется конечными размерами мишени /φ 12 см/, толщиной сцинтиллятора исследуемого спектрометра на пути нейтронов и гамма-квантов /10 см/ и угловым диапазоном регистрации черенковского спектрометра /~30°. Так как передние части временных распределений соответствуют гамма-квантам и нейтронам, имеющим минимальный разброс по пролетному расстоянию, то их можно использовать для получения оценок величины разрешения по времени пролета для нейтронов и гамма-квантов. Как видно из

рис. 7, разрешение по времени пролета исследуемого спектрометра $\leq 1,2$ нс для нейтронов с энергией 8,87 МэВ и $\leq 0,9$ нс для гамма-квантов с энергией /67,5±15/ МэВ.

В таблице приведены характеристики нейтронных детекторов, описанных к настоящему времени.

Таблица

Характеристики нейтронных детекторов

Работы	Кол-во, тип, размеры сцинтилл-ра, см ³	Т и п ФЭУ	Пучок, МэВ/с.	Простр. разреш. 2 ΔX, см	Разрешение по времени пролёта, 2τ, нс
Миллер и др. /7/	5 Поливинил-толуол, (160, φ 10)	56 АУР	П, 1860	4,3	0,60
			Р, 440	2,5	0,60
Болдин и др. /8/	12 Поливинил-толуол, 100x18x18	ХР-1040	П, 810	2,8	0,70
			н, 370-940	5,0	1,40
Аставагуров и др. /9/	1 Полистирол 130x8x8	56 АУР	П, 4000	3,4	0,76
Стиер /11/	NE - 110 200x16x16 8	56 ДУР	П, γ,	3,6 -	- 2,80
Рихвицкий и др. /10/	Полистирол 120x10x10 1	ХР-1020	П, 4000	3,6	0,56
		ФЭУ-63	П, 4000	5,3	0,64
Настоящая работа	5 Полистирол 70x10x10	ФЭУ-30	П, 168	3,0	0,40
			н, 8,87 МэВ	-	$\leq 1,20$
			γ, 67,5 МэВ	-	$\leq 0,90$

Для вычисления эффективности регистрации нейтронов детектором была написана специальная программа Монте-Карло. За исходную была взята программа TOTEFF^{16/}, по которой рассчитывается эффективность регистрации нейтронов в интервале энергий от 1 до 100 МэВ для сцинтилляторов цилиндрической и прямоугольной формы. Используемая программа была модифицирована с целью удовлетворения конкретным условиям применения детектора и учета его особенностей. Были учтены возможные переходы нейтронов и вторичных протонов из одного счетчика в другой и эффект от поглощения света сцинтиллятором. Эффективность детектора рассчитывалась для 24 значений энергий нейтронов от 5 до 100 МэВ. Получено, что в диапазоне энергий нейтронов /5-100/ МэВ при порогах регистрации 2 и 9 МэВ она равна в среднем 13,5% и 5% соответственно.

3. Калибровка и контроль стабильности параметров нейтронного детектора

Для установления зависимости между измеряемыми величинами (T_1, T_2, θ) и соответствующими каналами анализатора необходимо провести калибровку детектора с помощью частиц с известной и постоянной скоростью. Использование в этих целях гамма-квантов от распада π^0 -мезонов^{11/}, образующихся при взаимодействии первичного пучка с веществом мишени, требует расположения перед детектором свинцовых конверторов. Это приводит к дополнительному фону. Кроме того, такой метод применим для реакций с образованием большого числа гамма-квантов.

В нашем случае временная калибровка детектора проводится с помощью электронов, содержащихся в пучке π^- -мезонов. Доля их в пучке π^- -мезонов с энергией 230 МэВ составляет 3%^{12/}, т.е. при интенсивности пучка, равной $3 \times 10^5 \text{ с}^{-1}$ количество электронов составит примерно $9 \times 10^3 \text{ с}^{-1}$.

Калибровка детектора перед началом измерения осуществляется в следующей последовательности. Детектор нейтронов /ДН/ устанавливался на пути первичного

пучка π^- -мезонов. Анализируются события Б1хБ11хДНх /К₁ или К₂/. Тип частиц (π, μ, e) определяется с помощью спектрометра /Б1, Б11/ по времени пролета ими расстояния между счетчиками Б1 и Б11.

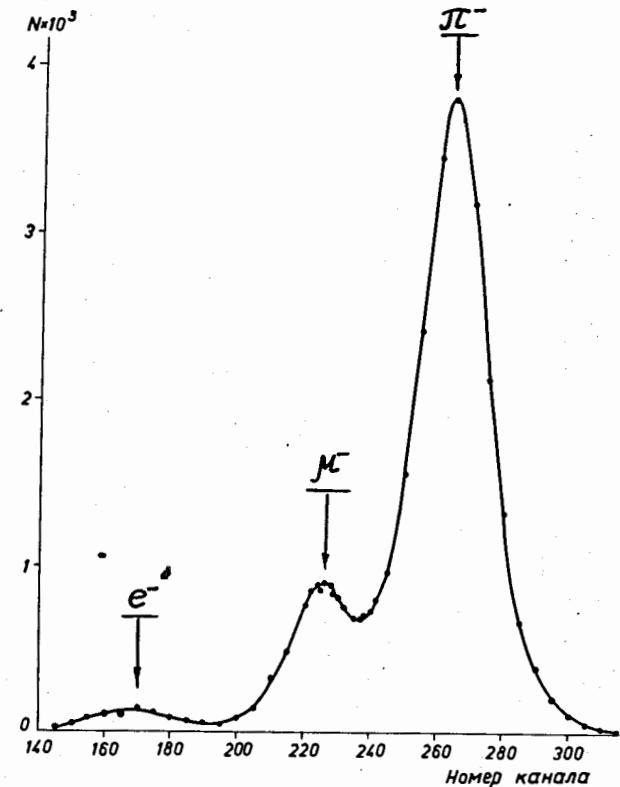
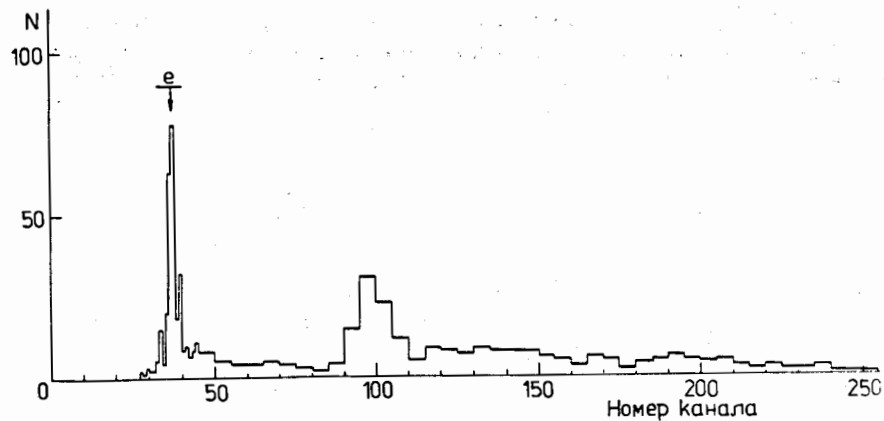
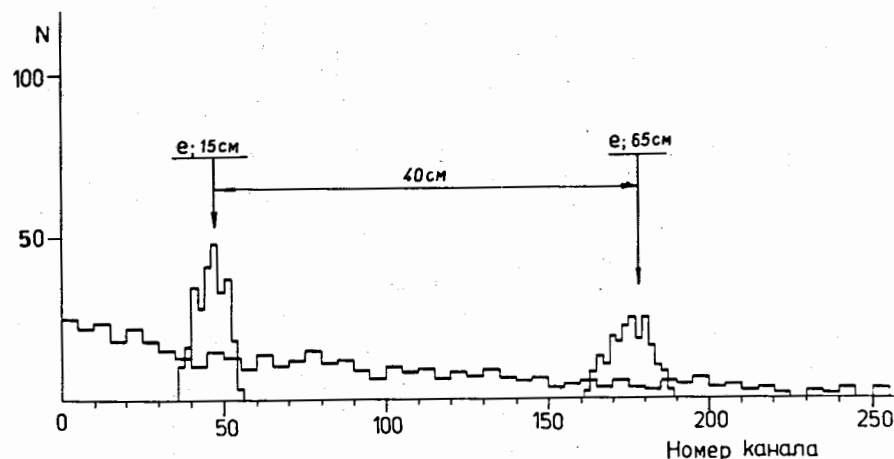


Рис. 8. Спектр по времени пролета частиц пучка с импульсом 340 МэВ/с / $E_{\pi^-} = 230 \text{ МэВ}$ /.

Информация о пучке с выхода схемы сложения /рис.8/, а также сигналы с конверторов 1,2,3 и годоскопа ОЗ4 через стойку многомерного анализа /СМА/^{13/} поступают на ЭВМ "Хьюлетт-Паккард 2116С". После обработки информации для каждого спектрометра выводятся спектры по времени пролета электронами расстояния между



a/



б/

Рис. 9. а/ Спектры по времени пролета электронов пучка и нейтронов от реакций $\pi^-P \rightarrow \pi^0 p \pi^0 n$, $\pi^-P \rightarrow \pi^0 n p$, $\pi^-P \rightarrow \pi^0 n$. б/ Пространственное разрешение детектора для электронов пучка и распределение нейтронов от реакций /1/, /2/, /4/.

счетчиком БИ и нейтронным детектором. По этим спектрам определяются цена канала анализатора, разрешение по времени пролета и относительные задержки сигналов в спектрометрах.

Спектры пространственного разрешения спектрометров, соответствующих точкам расположения счетчиков K_1 и K_2 , строятся для всех частиц пучка.

Для контроля стабильности временного и координатного разрешения, а также цены канала анализатора в процессе эксперимента /детектор находится в рабочем положении под углом 14 по отношению к направлению первичного пучка/ вместе с нейтронами, образующимися в реакциях /1/ и /2/, анализируются события $B1 \times B1 \times D \times H \times K_1$ или K_2 /.

На рис. 9а показаны спектры по времени пролета электронов пучка и нейтронов, образующихся в реакциях /1/, /2/, /4/. В этом случае для запуска детектора использовались сигналы одного черенковского спектрометра. Для этого же спектрометра на рис. 9б показано координатное разрешение для электронов пучка и распределение нейтронов от реакций /1/, /2/, /4/ вдоль спектрометра. Положение максимумов временных и координатных распределений, полученных для электронов пучка /рис. 9/, а также цена канала анализатора сохранялись неизменными в течение 15 ч непрерывной работы детектора.

Таким образом, созданный детектор удовлетворяет всем основным требованиям для исследования нейтронов, образующихся в широком энергетическом и угловом интервалах.

Авторы выражают благодарность В.Г.Зинову, Ю.Г.Будяшову за обеспечение электронной аппаратурой, Б.Ю.Балдину, В.М.Гребенюку, З.В.Крумштейну за полезные обсуждения, Н.А.Лебедеву - за помощь при изготовлении и исследовании детектора.

Литература

1. С.А.Бунятов, Г.В.Жолобов, Б.Ж.Залиханов, В.С.Курбатов, М.М.Мусаханов, А.Холбаев, В.А.Ярба. ОИЯИ, Р1-9668, Дубна, 1976.

2. С.А.Бунятов, Б.Ж.Залиханов, А.Халбаев, Г.М.Штюдентмайер. ОИЯИ, Р13-6222, Дубна, 1972.
3. Б.Ю.Балдин, Э.В.Крумштейн, А.И.Ронжин. ОИЯИ, 13-9850, Дубна, 1976.
4. С.А.Бунятов, Б.Ж.Залиханов, В.С.Курбатов, А.Халбаев. ОИЯИ, 13-10156, Дубна, 1976.
5. В.Ф.Борейко и др. ОИЯИ, 13-6396, Дубна, 1972.
6. N.R.Stonton. Preprint COO-1545-92, Ohio State University, 1971.
7. H.Muller et al. A Neutron Counter with Position Determination. Interner Bericht. Karlsruhe, 1966.
8. D.Bollini et al. Nuovo Cimento, 61A, 125, 1966.
9. Р.Г.Астевацатуров, И.Ф.Колпаков, В.А.Смирнов, М.Н.Хачатурян. ПТЭ, №1, 77, 1971.
10. С.В.Рихвицкий, И.Н.Семенюшкин, А.Н.Хренов. ОИЯИ, 13-8152, Дубна, 1974.
11. U.Stier. Ein Szintillationszähler zum ortsnachweis von Neutronen. Institut für Experimentelle Kernphysik, Universität Karlsruhe, 1970.
12. С.А.Бунятов, Б.Ж.Залиханов, В.С.Курбатов, А.Халбаев. ОИЯИ, 13-10157, Дубна, 1976.
13. А.Н.Синаев, А.А.Стахин. ОИЯИ, 13-7656, Дубна, 1974.
14. В.Ф.Борейко, В.М.Гребенюк, В.Г.Зинов. ПТЭ, №1, 84, 97, 1976.

Рукопись поступила в издательский отдел
1 ноября 1976 года.