

P-557

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА



18/21-74

13-8152

4477/2-74

С.В.Рихвицкий, И.Н.Семенюшкин, А.Н.Хренов

СПЕКТРОМЕТР С ВРЕМЯ-КООРДИНАТНОЙ  
КОМПЕНСАЦИЕЙ ДЛЯ БОЛЬШИХ СЦИНТИЛЛЯТОРОВ

**1974**

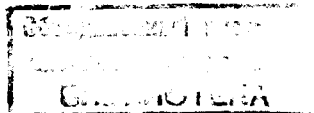
**ЛАБОРАТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ**

13-8152

С.В.Рихвицкий, И.Н.Семенюшкин, А.Н.Хренов

**СПЕКТРОМЕТР С ВРЕМЯ-КООРДИНАТНОЙ  
КОМПЕНСАЦИЕЙ ДЛЯ БОЛЬШИХ СЦИНТИЛЛЯТОРОВ**

*Направлено в Nuclear Instruments and Methods*



## 1. ВВЕДЕНИЕ

Сцинтилляционные счетчики больших размеров находят широкое применение для детектирования с высокой эффективностью нейтральных частиц в диапазоне кинетических энергий от нескольких десятков до нескольких сотен *МэВ*. Исследованию таких счетчиков, используемых для определения координаты и времени пролета частиц, посвящены работы <sup>/1-6/</sup>. В табл. 1 приведены основные характеристики указанных детекторов.

Факторами, ограничивающими точность спектрометра с большим сцинтиллятором, являются временные флуктуации, обусловленные зависимостью времени прихода света на фотокатод фотоумножителей от места попадания частиц в сцинтиллятор, статистический разброс появления импульсов, "гуляние" /размытие/ во времени, зависящее от диапазона амплитуд импульсов фотоумножителей и временной дрейф при длительных измерениях <sup>/7-9/</sup>.

В современных спектрометрах по времени пролета вклад электронной аппаратуры в общее временное разрешение мал /десятки пикосекунд/ по сравнению с вкладом системы сцинтиллятор - фотоумножитель с формирователем импульсов /сотни пикосекунд/, а поэтому им можно пренебречь. Форму и размеры сцинтиллятора выбирают обычно, исходя из назначения детектора. Для нашего спектрометра был выбран сцинтиллятор размером  $120 \times 10 \times 10 \text{ см}^3$  со световодами размером  $15 \times 10 \times 10 \text{ см}^3$  на его торцах, через которые сцинтиллятор "просматривался" фотоумножителями.

**Таблица 1**  
**Характеристики сцинтилляционных детекторов для измерения координаты и времени пролета частиц**

Авторы	Размеры сцинтиллятора см	Тип ФЭУ	Пучок Изв/с	Простран. разрешение см	Временное разрешение нсек
Шарпак Г. и др. /1/	40x12x1	56AVP		5	
Миллер Г. и др. /2/	∅ 10x160	56AVP	П-1860	4,3	0,6
"	"	"	P 440	2,5	0,6
Боллини Д. и др. /3/	100x18x18	XP1040	П-810	2,8	0,7
"	"	"	2 70-390	5,0	1,4
Аставагуров Р.Г. и др. /4/	130x8x8	56TVP	П-4000	3,4	0,76
Бунятов С.А. и др. /5/	70x10x10	XP1020	П-175	2,2	
"	"	ФЭУ-30	"	3,0	0,8
Дейкин Дж. /6/	305x20x20 жидкий	56DYR	Космич. излуч.	10	0,6
Фельдман Г. /6/	254x20x2,5	56DYR	Космич. излуч.	6	0,38
Настоящая работа	120x10x10	XP1020	П-4000	3,6	0,56
"	"	ФЭУ-63	"	5,3	0,64

## 2. ВЫБОР БЛОК-СХЕМЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ВРЕМЕНИ ПРОЛЕТА

Существует два метода устранения влияния места попадания частиц в сцинтиллятор на точность измерения времени пролета: метод линейного суммирования выходных импульсов двух одинаковых время-амплитудных конверторов <sup>/1,4,5/</sup> и метод, основанный на применении время-координатных компенсаторов <sup>/8/</sup> и одного время-амплитудного конвертора. При втором способе компенсации импульсы от фотоумножителей стандартизируются,

как обычно, по амплитуде и длительности, а затем обрабатываются во время-координатном компенсаторе, время задержки выходных импульсов которого относительно центра перекрытия входных постоянно. В табл. 2

представлены четыре блок-схемы спектрометров по времени пролета, первые две из которых построены на основании метода линейного суммирования, а две вторые по методу время-координатной компенсации. Пусть  $t_0$  - время пролета монохроматических частиц от первого базового счетчика до второго, а  $t_1 \div t_4$  - среднее время прохождения сигналов от места взаимодействия до выхода из счетчика. Абсолютные флуктуации этого времени обозначим  $\tau_1 \div \tau_4$ . На блок-схемах показаны: А и В - время-амплитудные конверторы, С - линейные сумматоры, К и L - время-координатные компенсаторы. Выражения для среднего значения выходного сигнала  $\bar{t}$  легко написать, исходя из принципа действия схем, а абсолютную флуктуацию его  $\tau$  - на основании известного закона сложения дисперсий. Длительность стандартных импульсов на входах время-координатного компенсатора обозначена  $t_{и}$

Относительные флуктуации выходных сигналов  $\tau/t$  для спектрометров, построенных по блок-схемам 2.1 и 2.3, одинаковы, а блок-схема 2.4 имеет некоторое преимущество перед блок-схемой 2.2 ввиду того, что она не содержит линейных элементов и второго время-амплитудного конвертора. Введение компенсатора L, в принципе, несколько уменьшает относительную флуктуацию.

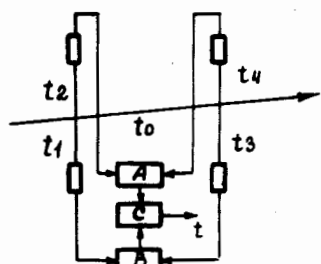
Для экспериментальных исследований времени пролета частиц в пучке ускорителя была выбрана блок-схема 2.4.

Легко определить временные разрешения базовых счетчиков спектрометра методом измерения геометрических сумм временных разрешений попарно взятых фотоумножителей.

## 3. ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ

Блок-схема спектрометра с большим сцинтиллятором и время-координатным компенсатором для измерения

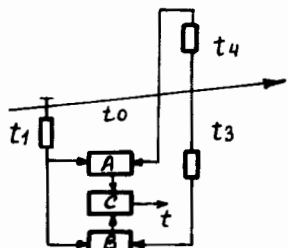
Таблица 2



2.1

$$t = 2t_0 + (t_3 + t_4) - (t_1 + t_2)$$

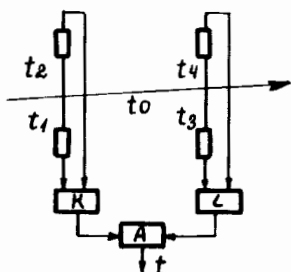
$$\tau = \sqrt{\tau_1^2 + \tau_2^2 + \tau_3^2 + \tau_4^2}$$



2.2

$$t = 2t_0 + (t_3 + t_4) - 2t_1$$

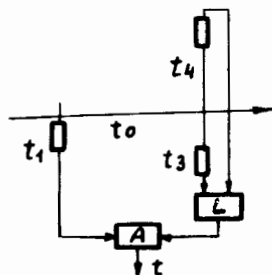
$$\tau = \sqrt{4\tau_1^2 + \tau_3^2 + \tau_4^2}$$



2.3

$$t = \frac{2t_0 + (t_3 + t_4) - (t_1 + t_2)}{2}$$

$$\tau = \frac{1}{2} \sqrt{\tau_1^2 + \tau_2^2 + \tau_3^2 + \tau_4^2}$$



2.4

$$t = \frac{2t_0 + (t_3 + t_4) + t_u - 2t_1}{2}$$

$$\tau = \frac{1}{2} \sqrt{4\tau_1^2 + \tau_3^2 + \tau_4^2}$$

времени пролета показана на *рис. 1а*, а для измерения координаты прохождения частицы - на *рис. 1б*.

Для определения время-пролетного и координатного разрешений классический телескоп состоял из двух одинаковых счетчиков S1 и S3 со сцинтилляторами NE110 размером  $3 \times 3 \times 1$  см<sup>3</sup> на световодах из оргстекла размером  $\varnothing 4 \times 5$  см и фотоумножителями XP1020 /диаметр фотокаатода 42 мм/. Исследуемый счетчик S2 представлял собой пластический сцинтиллятор на основе полистирола размером  $120 \times 10 \times 10$  см<sup>3</sup>, к торцам которого были приклеены световоды  $15 \times 10 \times 10$  см<sup>3</sup>, один из которых был изготовлен из оргстекла, а другой - из полистирола. При испытаниях применялись фотоумножители XP1020, а затем ФЭУ-63, диаметр фотокаатода которых составлял 100 мм.

Быстродействующие формирователи со следящим порогом<sup>/10/</sup> были применены для уменьшения "гуляния" и получения оптимального временного разрешения в широком диапазоне амплитуд импульсов, поступающих от фотоумножителей. Стандартные сигналы формирователей подавались на время-координатный компенсатор ТСС<sup>/8/</sup>, время появления выходного сигнала которого практически не зависело от места прохождения частицы через сцинтиллятор. Аналоговые сигналы от фотоумножителей подавались также на интегральные дискриминаторы D1 ÷ D4 с регулируемыми порогами.

Логические сигналы от дискриминаторов поступали на схему совпадений, которая через формирователь F5 с выходным импульсом длительностью 50 нсек управляла линейными воротами LG1 и LG2.

Пороги интегральных дискриминаторов были установлены так, чтобы устранить временную погрешность начальной части характеристики формирователей со следящим порогом. Временные сигналы после прохождения линейных ворот<sup>/11/</sup> подавались на время-амплитудный конвертор, работающий по принципу "старт-стоп".

Выходные сигналы конвертора регистрировались в 512-канальном амплитудном анализаторе.

Все измерения были выполнены в пучке  $\pi^-$ -мезонов с импульсом 4 ГэВ/с.

#### 4. РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ

В процессе исследований спектрометра были определены следующие его параметры: амплитудное разрешение, эффективная длина ослабления света в счетчике, пространственное разрешение, время-пролетное разрешение, а также исследован спектр масс частиц пучка ускорителя.

**4.1: Амплитудное разрешение.** Телескоп был установлен так, чтобы пучок проходил через середину большого сцинтиллятора. Импульсы от фотоумножителей пропускались через линейные ворота, интегрировались и анализировались в многоканальном анализаторе. Получено амплитудное разрешение /полная ширина на полувысоте/ 30%.

Проверка распределения амплитуд импульсов по критерию Неймана-Пирсона <sup>/12/</sup> показала, что полученный амплитудный спектр с надежностью 99% является распределением Ландау /рис. 2/.

**4.2. Эффективная длина ослабления света в счетчике.** Измерение ослабления света собственного излучения в сцинтилляторе  $120 \times 10 \times 10 \text{ см}^3$  было выполнено в той же схеме, что и в п. 4.1. На рис. 3 показана зависимость амплитуд импульсов, соответствующих пикам распределения, от координаты пучка. Из графика видно, что эффективная длина ослабления света в счетчике составляет  $120 \pm 15 \text{ см}$ .

**4.3. Пространственное разрешение.** Результаты измерения для детектора с использованием фотоумножителей XR1020 приведены на рис. 4, из которого видно, что пространственное разрешение практически не зависит от места попадания частицы в сцинтиллятор, так как световой сигнал поступает на фотокатод не только по прямой, а и в результате многократного отражения в сцинтилляторе. Средняя скорость распространения светового сигнала в счетчике меньше, чем скорость распространения света в сцинтилляторе, и равнялась  $1,4 \cdot 10^{10} \text{ см/сек}$ .

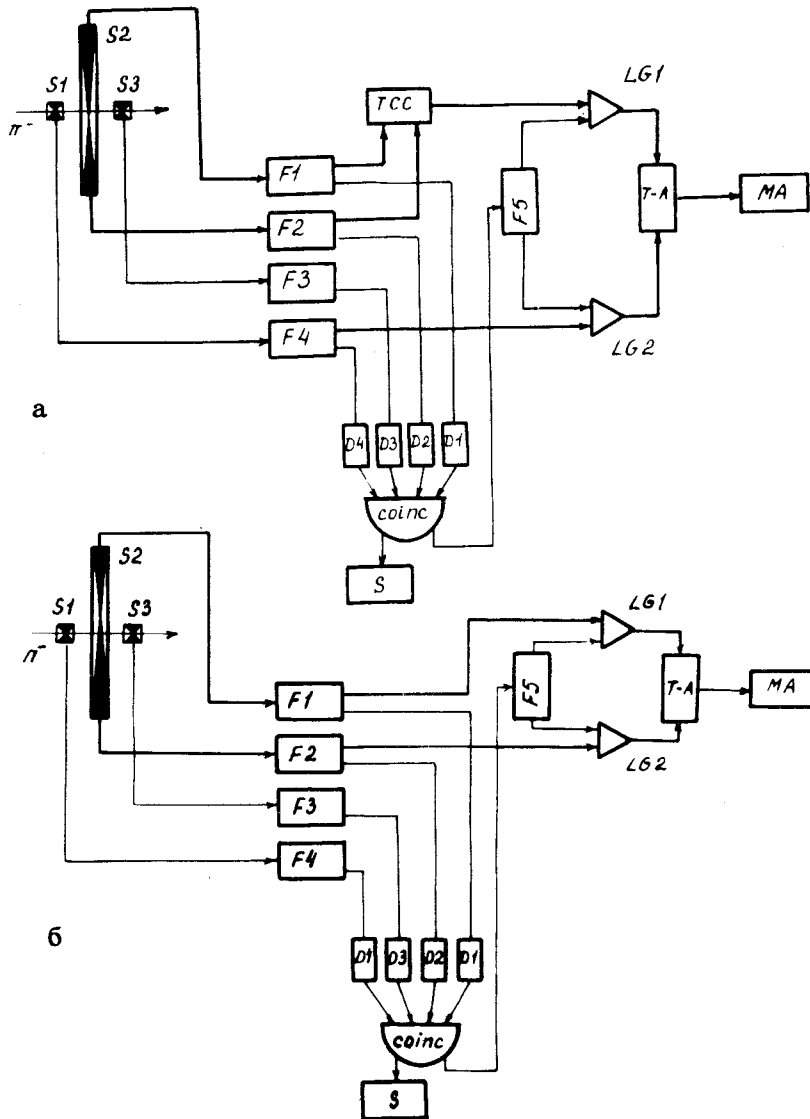


Рис. 1. Блок-схемы измерения времени пролета /а/ и измерения координаты взаимодействия /б/.

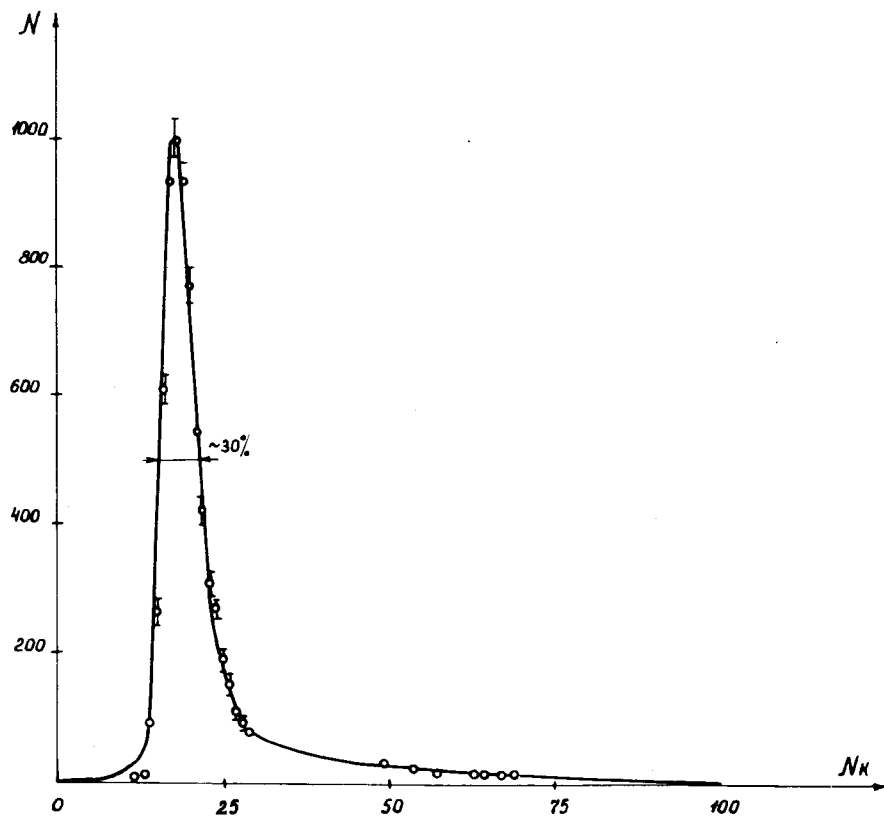


Рис. 2. Амплитудный спектр счетчика S2.

Истинное разрешение детектора, усредненное по семи точкам измерения, равно  $3,6 \pm 0,8$  см. Эта величина вычислялась путем исключения конечной ширины /3 см/ мониторинговых счетчиков S1 и S3, выделяющих пучок частиц, проходящих через детектор. Для счетчика с фотумножителями ФЭУ-63 истинное разрешение координаты составляет  $5,3 \pm 0,8$  см.

4.4. Разрешение по времени пролета. Точность измерения времени пролета была определена вдоль оси счетчика на расстояниях 2, 20, 40, 60, 80, 100 и 118 см

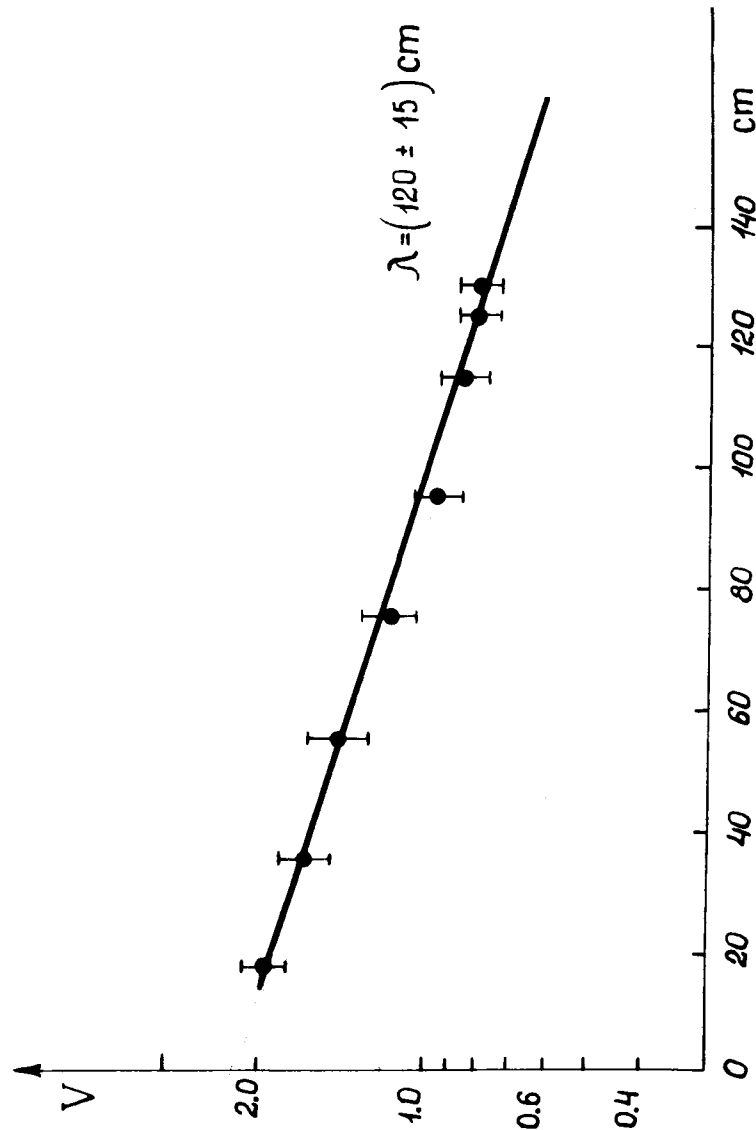


Рис. 3. Зависимость амплитуды импульсов фотомножителей счетчика S2 от координаты пучка.

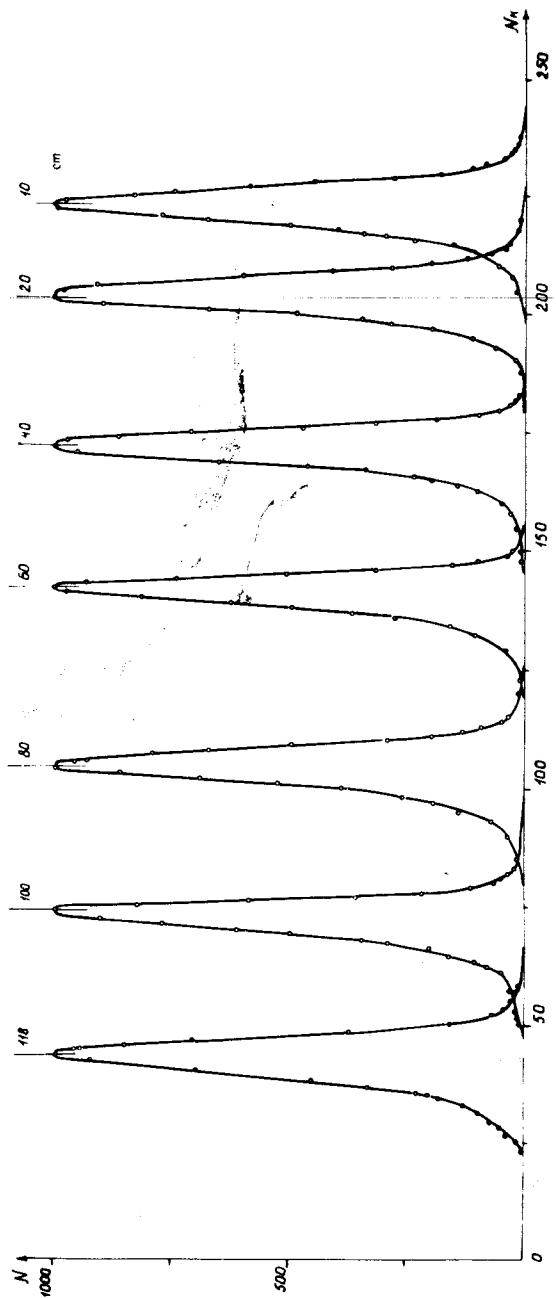


Рис. 4. Спектры пространственного разрешения с фотоумножителями XP1020. Масштаб - 0,5 см/канал.

от торца сцинтиллятора. Время-пролетное разрешение, усредненное по всем отсчетам, получено для счетчика с XP1020  $560 \pm 80$  псек, а для счетчика с ФЭУ-63  $640 \pm 40$  псек. Максимумы временных спектров для всех точек попадали практически в один и тот же канал амплитудного анализатора. Спектр временного разрешения спектрометра с фотоумножителями XP1020 показан на рис. 5.

4.5. *Исследование спектра масс частиц.* Описанный спектрометр с время-координатным компенсатором, но со счетчиком размером  $29 \times 5 \times 2,5$  см<sup>3</sup> применялся для исследования спектров масс частиц от ускорителя. Разрешение по времени пролета составляло 280 псек /полная ширина на полувысоте/. Пример разделения по времени пролета  $\pi^+$ -мезонов, протонов и дейтронов показан на рис. 6. Пролетная база 10,9 м при импульсе частиц 3,35 ГэВ/с.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате исследования время-пролетного спектрометра с большим сцинтиллятором и время-координатным компенсатором были получены:

1. Формулы для оценки точности спектрометра по времени пролета. В частности, для спектрометра с большим сцинтиллятором и время-координатным компенсатором время-пролетное разрешение было:

$$\tau = 1/2 \sqrt{4\tau_1^2 + \tau_2^2}, \quad /1/$$

где  $\tau_1$  - разрешающее время 1-го базового счетчика,  $\tau_2$  - разрешающее время 2-го базового счетчика, равное

$$\sqrt{\tau_3^2 + \tau_4^2} \quad \text{для блок-схемы 2.4 в табл. 2.}$$

2. Экспериментально были определены для исследуемого спектрометра  $\tau_1 = \tau_3 = 340 \pm 80$  псек, а  $\tau_4 = 445 \pm 80$  псек и, соответственно, расчетное разрешающее время  $\tau$  с фотоумножителями XP1020 равно  $440 \pm 120$  псек.



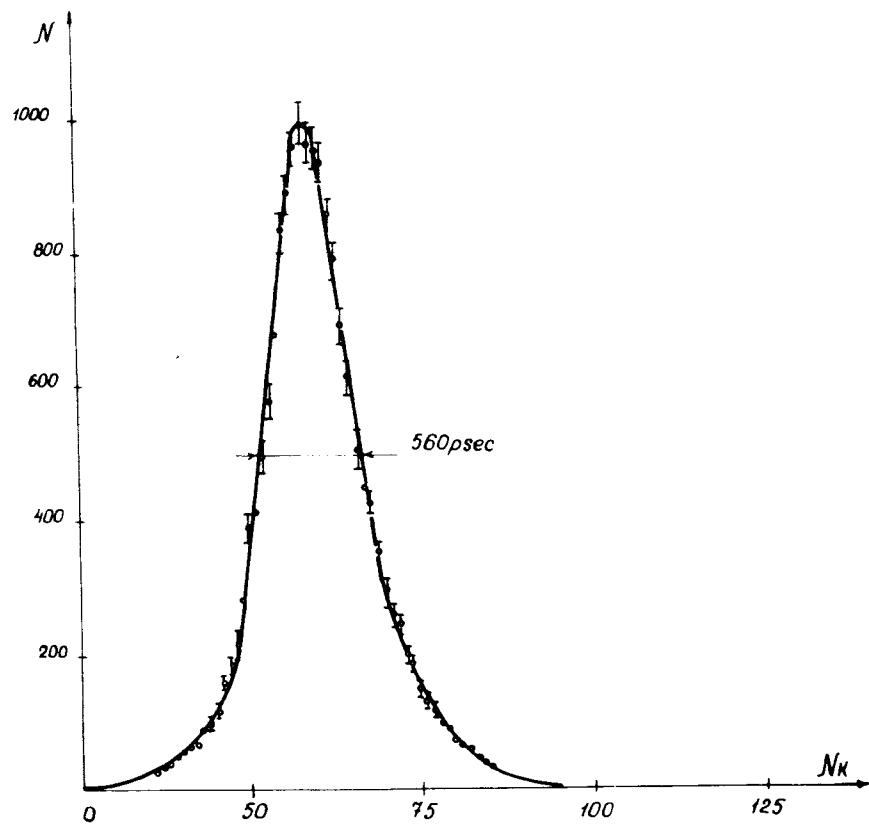


Рис. 5. Спектр разрешения спектрометра по времени пролета.

3. Измерены время-пролетные разрешения спектрометра с различными фотоумножителями:

с ХР1020  $\tau = 560 \pm 80$  псек и  
с ФЭУ-63  $\tau = 640 \pm 40$  псек.

4. Пространственные разрешения спектрометра получены:

с ХР1020  $3,6 \pm 0,8$  см и  
с ФЭУ-63  $5,3 \pm 0,8$  см.

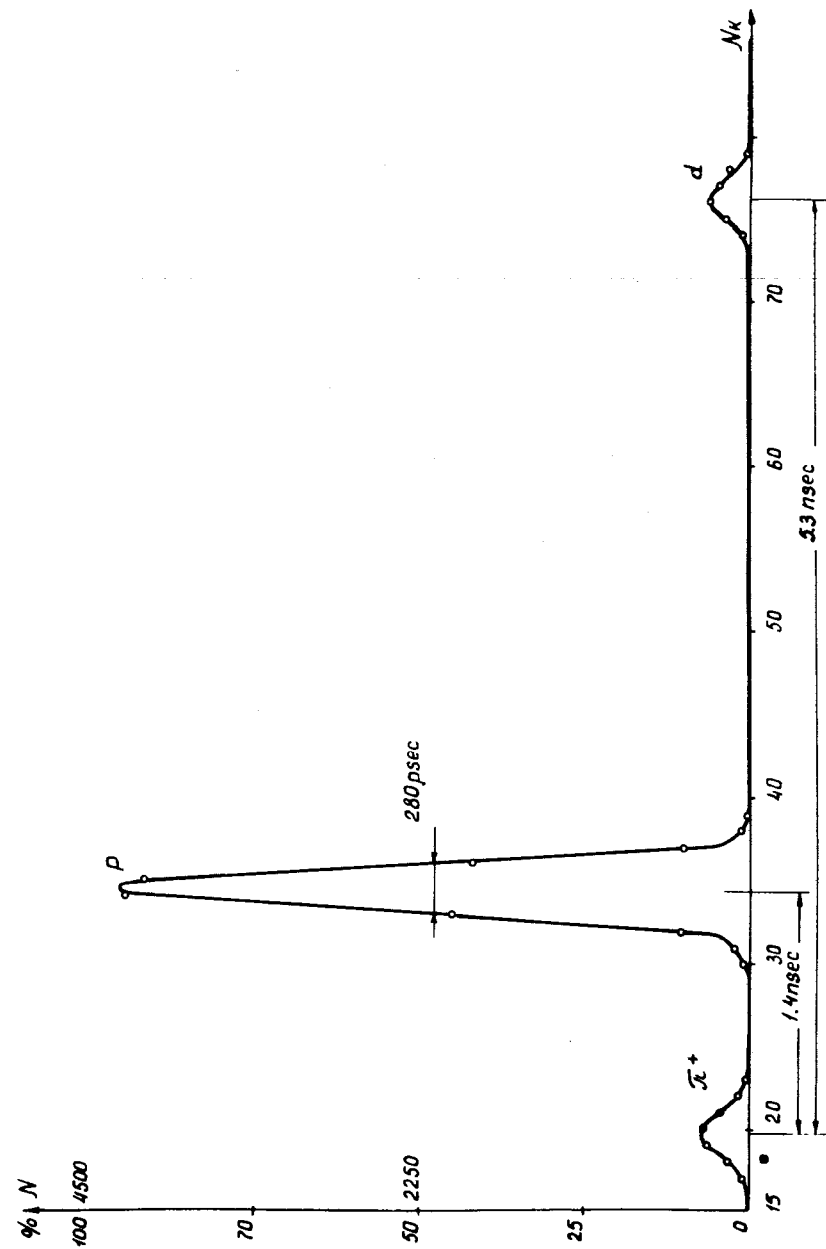


Рис. 6. Спектр масс пучка частиц с импульсом 3,35 ГэВ/с при базе 10,9 м.

Авторы выражают благодарность за помощь в работе А.Н.Максимову, С.В.Мухину, Л.Ондришу, П.Хорвату, М.Зваде, В.Штрайту, С.Г.Басиладзе, а также В.С.Балашовой, А.Н.Манятовскому, М.Н.Шкобиной и А.И.Рихвицкой.

### Литература

1. G. Charpak, L. Dick and L. Feuvrais. *Nucl. Instr. and Meth.*, 15, 323 (1962).
2. H. Müller et al. *A Neutron Counter with Position Determination, Interner Bericht. Karlsruhe (1966)*.
3. D. Bollini, A. Buhler-Broglin, P. Dalpiaz, T. Massam, F. Navach, F. L. Navarra, M. A. Schneegans, F. Zetti and A. Zichichi. *Nuovo Cimento.*, 61A, 125 (1969).
4. Р. Г. Аствацатуров, И. Ф. Колпаков, В. А. Смирнов, М. Н. Хачатурян. *ПТЭ*, № 1, 77, 1971.
5. С. А. Бунятов, Б. Ж. Залиханов, А. Халбаев, Г. М. Шмауденмайер. *Сообщения ОИЯИ*, P13-6222, Дубна, 1972.
6. J. T. Dakin. *Nucl. Instr. & Meth.*, 114, 393 (1974).
7. С. Г. Басиладзе. *Сообщения ОИЯИ*, 13-7955 и 13-7957, Дубна, 1974.
8. Л. Ондриш, С. В. Мухин, С. В. Рихвицкий, И. Н. Семениошкин, М. Турала, П. Хорват, А. Н. Хренов. *ПТЭ*, № 2, 110, 1971.
9. И. С. Крашенников, С. С. Курочкин, А. В. Машвеев, Е. И. Рехин, *Современная ядерная электроника*. Москва, Атомиздат, 1974.
10. С. Г. Басиладзе, В. Тлачала. *Препринт ОИЯИ*, 13-6852, Дубна, 1972.
11. С. Г. Басиладзе, В. Я. Гвоздев, И. Ф. Колпаков, П. К. Маньяков, В. Тлачала. *Сообщение ОИЯИ*, 13-6383, Дубна, 1972.
12. Г. Корн, Т. Корн. *Справочник по математике для научных работников и инженеров*. Москва, 1970 г.

Рукопись поступила в издательский отдел  
25 июля 1974 года.