

10156

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА



10156

ЭКЗ. ЧИТ. ЗАЛА

13 - 10156

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

СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫЕ СПЕКТРОМЕТРЫ
ПО ВРЕМЕНИ ПРОЛЕТА

1976

13 - 10156

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

СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫЕ СПЕКТРОМЕТРЫ
ПО ВРЕМЕНИ ПРОЛЕТА

Направлено в ПТЭ



* Институт ядерной физики АН УзССР

Бунятов С.А. и др.

13 - 10156

Сцинтилляционные спектрометры по времени пролета

Исследованы характеристики двух сцинтилляционных спектрометров, использованных для измерения энергии частиц пучка по времени пролета.

Разрешение по времени пролета определялось с помощью релятивистских электронов. Для спектрометра I разрешение составило 130 пс (полная ширина на полувысоте), а для спектрометра II - 280 пс.

Измерены энергии π^- -мезонных пучков мезонного тракта синхроциклотрона Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ. Проведена калибровка анализирующего магнита мезонного тракта.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований
Дубна 1976

В большинстве работ, выполненных на мезонных пучках синхроциклотрона Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ, средняя энергия частиц определялась по величине пробега в поглотителе. Однако этот метод имеет ограниченную область применения и для пучков с импульсами $P \geq 250 \text{ МэВ/с}$ не обеспечивает необходимой точности. Это обусловлено в основном недостаточной точностью измерения пробегов частиц вследствие угловой расходимости пучка в поглотителе^{/1/} и наличием значительного начального разброса частиц по импульсам.

В настоящей работе описаны временные характеристики сцинтилляционных времяпролетных спектрометров двух типов и приводятся результаты измерения средней энергии π^- -мезонных пучков мезонного тракта синхроциклотрона Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

1. Конструкция спектрометров

Конструктивные особенности исследованных спектрометров приведены в табл. 1.

Таблица 1

Спектро-метр	Счёт-чики	Размеры сцинт-ов** см ³	Длина световодов, см	Расстояние между ФЭУ, см	Тип ФЭУ
С 1	Б I	3 x 3 x 3	10	23	XP-1020
	Б II	4 x 2,8 x 4 4 x 4 x 2,8	10	24	XP-2020
С 2	Б I	10 x 10 x 4	40	90	XP-2020
	Б II	10 x 10 x 4	24	58	XP-1020

* Б I - "базовый" счетчик, регистрирующий начальный момент измеряемого временного интервала.

Б II - "базовый" счетчик, регистрирующий конечный момент измеряемого временного интервала.

** Последние цифры показывают толщину сцинтиллятора, расположенного на пути пучка.

Используемые в спектрометрах сцинтилляторы изготовлены из полистирола и просматриваются с противоположных торцов двумя фотоумножителями XP-1020 /диаметр фотокатода - 42 мм/ или XP-2020 /диаметр фотокатода - 42 мм, квантовая эффективность фотокатода - 25%/. Световоды изготовлены из плексигласа. Эффективная площадь перекрытия световодов с фотокатодами ФЭУ для спектрометра С1 равна 71%, а для спектрометра С2 - 100%.

Для устранения дефокусирующего действия рассеянного магнитного поля ускорителя счетчики тщательно экранировались. Коэффициент экранирования $K_{\text{экр}} = 3 \cdot 10^{-2}$ / и толщина пермаллового экрана с 45%-ным содержанием никеля /8 изолированных слоев общей толщиной 3,2 мм/ определялись по номограммам, приведенным в [2]. Исследования фотоумножителей в рабочих условиях показали, что данная защита /внешний кожух ФЭУ изготовлен из стали СТ-3 с толщиной стенки 4 мм/ обеспечивает 100%-ную чувствительность ФЭУ.

2. Исследование временных характеристик фотоумножителей XP-1020 и XP-2020

Временные характеристики фотоумножителей исследовались по схеме, изображенной на рис. 1. В качестве импульсного источника света использовался светодиод XP-22. Светодиод располагался над фотокатодом на расстоянии 12 см и запитывался от генератора наносекундных импульсов "COSSOR".

Интенсивность световой вспышки выбиралась следующим образом.

При некоторой интенсивности световой вспышки и фиксированном токе, проходящем через делитель ФЭУ, потенциалы на фокусирующих электродах и первом диноде подбирались такими, чтобы амплитуда сигнала на аноде была максимальной. Затем светодиод заменялся рабочим сцинтиллятором с приклеенным к нему свето-

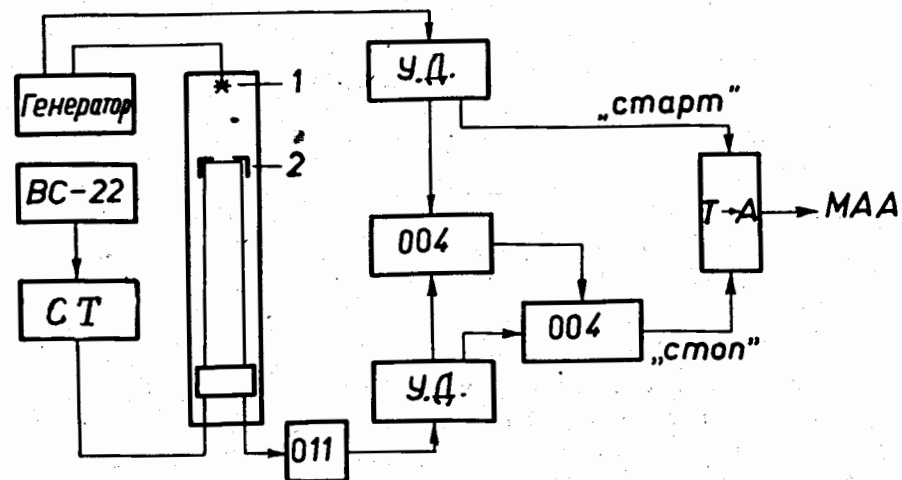


Рис. 1. Схема исследования временных характеристик фотоумножителей XP-1020 и XP-2020: 1 - светодиод, 2 - диафрагма, УД - универсальный дискриминатор, Т-А - конвертор, 004 - схема совпадений, 011 - ослабитель, СТ - стабилизатор тока, МАЗ - многомерный амплитудный анализатор.

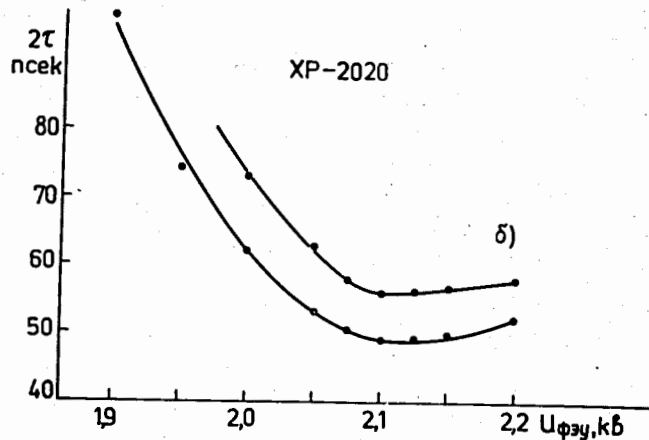
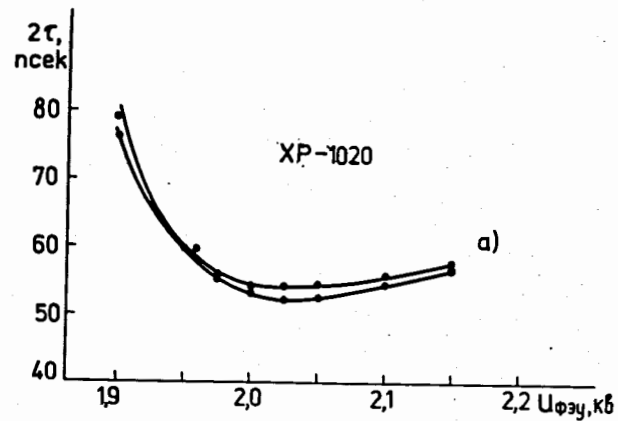


Рис. 2. Зависимость временного разрешения фотоумножителей от напряжения питания.

водом /4 x 2,8 x 4 см³/ и снималось амплитудное распределение сигналов, образующихся от прохождения через сцинтиллятор космического излучения. После этого вновь подключали светодиод и подбирали его питание таким, чтобы средняя амплитуда сигналов на выходе ФЭУ была равна средней амплитуде сигналов, обусловленных космическим излучением. Выбранным таким образом интенсивность световой вспышки позволяет полнее смоделировать процесс высвечивания сцинтиллятора и сбор света на фотокатод.

Диафрагма 2, показанная на рис. 1, с диаметром отверстия 3 см располагалась непосредственно над фотокатодом.

Исследование временных характеристик фотоумножителей заключалось в измерении зависимости временного разрешения от напряжения питания ФЭУ. Напряжение на фотоумножителе изменялось в пределах 1,9 - 2,2 кВ. Для каждого значения напряжения потенциалы на трех первых и трех последних электродах устанавливались по максимальной амплитуде и крутизне анодного сигнала. На рис. 2 показана зависимость временного разрешения фотоумножителей XP-1020 и XP-2020, использованных в спектрометрах, от напряжения питания. Как видно из рисунков, для выбранной рабочей области фотокатода /φ 3 см/ минимальное разрешение для фотоумножителей XP-1020 составляет 52 и 54 нс / полная ширина на полувысоте/, а для фотоумножителей XP-2020 - 49 и 56 нс. При освещении всей поверхности фотокатода /φ 4,2 см/ временное разрешение фотоумножителей равно в среднем 110 нс.

3. Исследование временных характеристик спектрометров. Измерение энергии π⁻-мезонных пучков

Характеристики спектрометров исследовались на π⁻-мезонных пучках при токе питания анализирующего магнита мезонного тракта /3/, равном 550 и 485 А.

Схема эксперимента и блок-схема электронной аппаратуры приведены на рис. 3. Базовое расстояние между счетчиками Б I и Б II составляет примерно 6 м.

Для компенсации влияния амплитудного разброса сигналов с ФЭУ на временное разрешение в каналах спектрометра использовались универсальные дискриминаторы /4/, работающие в режиме следящего порога. Порог срабатывания канала временной привязки, выраженный в долях от максимума амплитуды входного сигнала, равен 0,2. Пороги дискриминаторов устанавливались такими, чтобы исключить импульсы, образованные в результате прохождения частиц пучка через световоды.

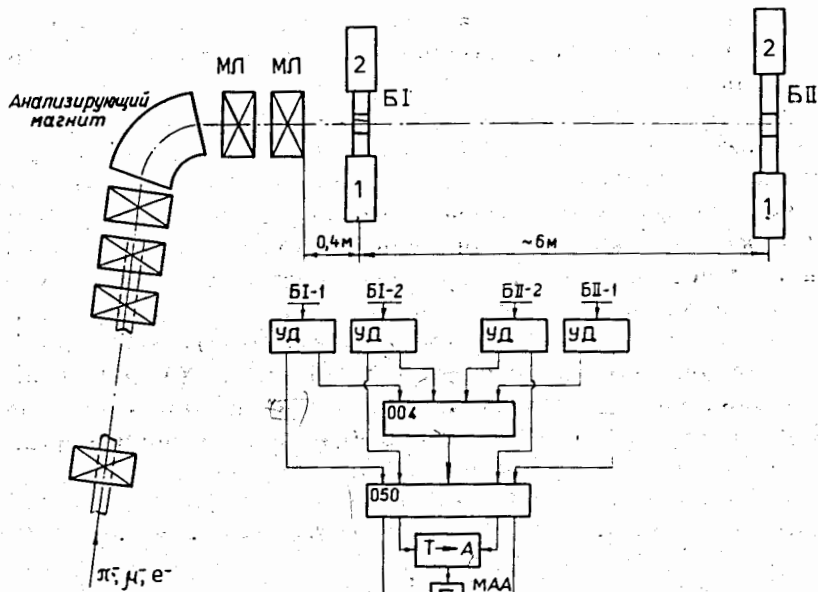


Рис. 3. Схема эксперимента и блок-схема электронной аппаратуры. МЛ - квадрупольные магнитные линзы, УД - универсальный дискриминатор, 004 - схема совпадений, 050 - стробируемая схема совпадений, Т-А - конвертор, Σ - схема линейного сложения.

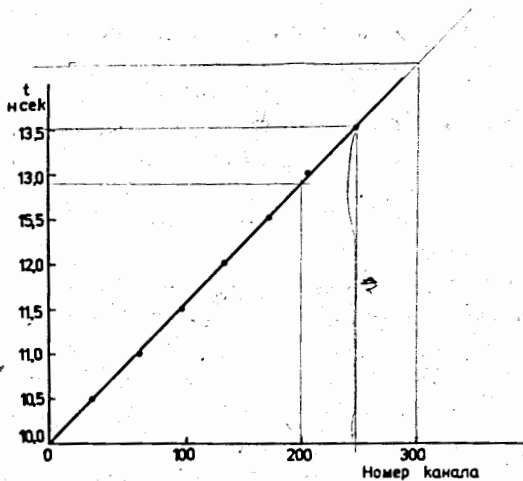


Рис. 4. Линейность время-амплитудного преобразователя.

С помощью ослабителей амплитуда сигналов перед дискриминаторами уменьшалась до 2 В.

При прохождении частицы через счетчики БИ и БII схемой совпадения 004 вырабатывался сигнал управления длительностью 30 нс, который поступал на стробируемую схему совпадений 050^{5/}. На эту же схему подавались сигналы длительностью 15 нс, несущие временную информацию и задержанные по отношению к сигналу управления на 10 нс. Выходные сигналы со схемы 050 поступали на два одинаковых время-амплитудных преобразователя, работающих по принципу перекрытия^{7/6/}. На рис. 4 показана линейность преобразователя в диапазоне /10÷14/ нс. Отклонение от линейности составляет ± 1 канал / $\sim 2\%$ /. Сигналы с выходов преобразователей суммировались в схеме линейного сложения. В этом случае амплитуда сигнала с выхода схе-

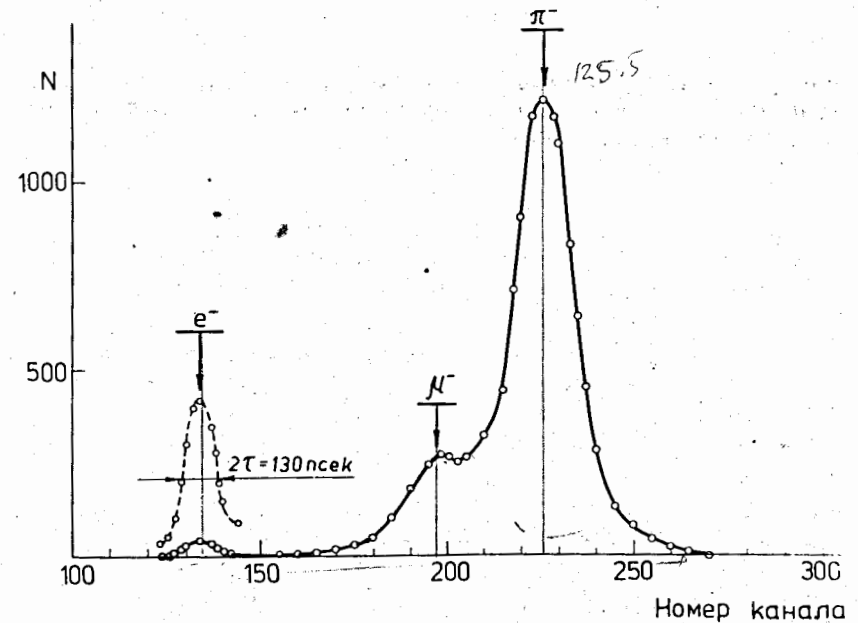


Рис. 5. Распределение по времени пролета частиц пучка при токе питания анализирующего магнита 550 А. 1 канал соответствует 13 нс.

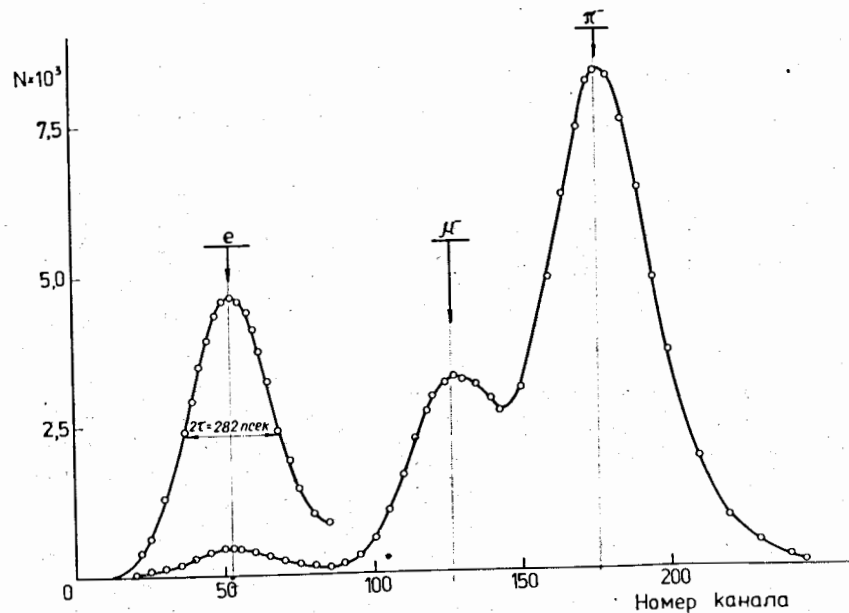


Рис. 6. Распределение по времени пролета частиц пучка при токе питания анализирующего магнита 485 А. 1 канал соответствует 8 нс.

мы сложения не зависит от координаты точки попадания частицы в сцинтиллятор и от скорости распространения светового сигнала в сцинтилляторе и световоде [7].

На рис. 5 и 6 показаны распределения по времени пролета пучка частиц, содержащего π , μ и e , на базе ~ 6 м при токе питания отклоняющего магнита, равном 550 и 485 А соответственно. Распределение, приведенное на рис. 5, снималось спектрометром С1, а приведенное на рис. 6 - спектрометром С2. Цена канала анализатора определялась по относительному сдвигу спектров от релятивистских электронов, содержащихся в пучке, при изменении пролетной базы на $370 \pm 0,5$ мм и $500 \pm 0,5$ мм. Временное разрешение определялось по спектрам от релятивистских электронов и для спектрометра С1 составило 130 нс /полная ширина на полувысоте/, а для спектрометра С2 - 280 нс.

Разрешение 130 нс получено при энерговыделении, равном примерно 8 МэВ в сцинтилляторе $4 \times 2,8 \times 4 \text{ см}^3$ /второго счетчика спектрометра С1. При $\Delta E = 5,6 \text{ МэВ}$ /сцинтиллятор $4 \times 4 \times 2,8 \text{ см}^3$ / разрешение составляет 170 нс.

Для однопорогового режима работы универсальных дискриминаторов разрешение спектрометра С2 по времени пролета равно 540 нс.

Сравнение результатов, полученных в данной работе, с результатами других работ дается в табл. 2.

Таблица 2

Работы, год публикации	Размеры I базового счетчика. Кол-во и тип ФЭУ	Размеры II базового счетчика. Кол-во и тип ФЭУ	Разрешение 2τ , нс
В.Г. Лапшин и др. /8/, 1967	/235/мм ³ (35x35x10)мм ³ 2 XP-1020	/360/мм ³ ($\varnothing 160$, толщ. 45)мм ³ 2 XP-1020	0,440
Д. Боллини и др. /9/, 1970	/81/ мм ³ (2x30x30)мм ³ XP-1021	/81/ мм ³ (2x30x30)мм ³ XP-1021	0,140
С.В. Рихвицкий и др. /10/, 1974	/65/ мм ³ (30x30x10)мм ³ XP-1021	/490/мм ³ (290x50x25)мм ³ 2 XP-1020	0,280
НАСТОЯЩАЯ РАБОТА	/230/мм ³ (30x30x30)мм ³ 2 XP-1020	/240/мм ³ (40x28x40)мм ³ 2 XP-2020	0,130
	/230/мм ³ (30x30x30)мм ³ 2 XP-1020	/240/мм ³ (40x40x2,8)мм ³ 2 XP-2020	0,170
	/900/мм ³ (100x100x40)мм ³ 2 XP-2020	/580/мм ³ (100x100x40)мм ³ 2 XP-1020	0,280

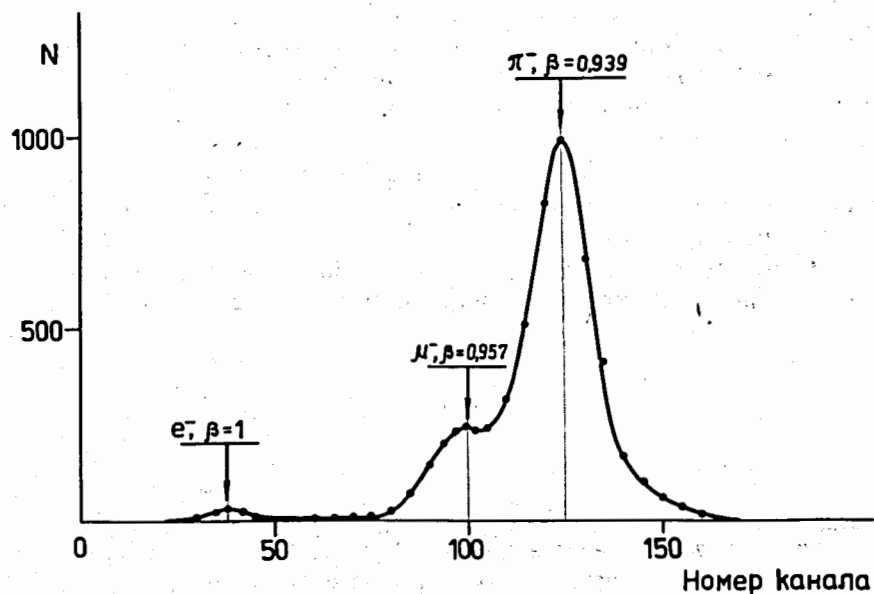


Рис. 7. Распределение по времени пролета частиц пучка при токе питания анализирующего магнита 550 А. Пролетное расстояние уменьшено на $370 \pm 0,5$ мм.

Во второй и третьей колонках табл. 2, в квадратных скобках, приводится расстояние между фотоумножителем и счетчика. Для счетчиков с одним фотоумножителем указано расстояние от центра сцинтиллятора до фотокатода ФЭУ.

Средняя скорость π^- -мезонов определялась по относительному сдвигу π^- -мезонных пиков при указанном выше изменении пролетного расстояния. Новые распределения приведены на рис. 7 и 8. В первом случае средняя скорость π^- -мезонов равна $0,9390 \pm 0,0005$, а во втором - $0,9099 \pm 0,0003$. Ошибка в измерении средней скорости π^- -мезонов состоит в основном из ошибки в определении центров π^- -мезонных пиков и для первого случая равна $\pm 6,6$ нс, а для второго случая - $\pm 4,0$ нс. Средняя кинетическая энергия π^- -мезонов для данных значений β_π равна соответственно $266,5 \pm 2,0$ МэВ

и $219,3 \pm 1,5$ МэВ. Принимая во внимание, что полные энергетические потери, включая потери в счетчиках Б1, составляют примерно 8 МэВ, получаем начальные значения для средних энергий, равные $274,5 \pm 2,0$ МэВ и $227,3 \pm 1,5$ МэВ, что соответствует начальным импульсам $390,0 \pm 2,5$ МэВ/с и $340,0 \pm 1,8$ МэВ/с.

Для проведения калибровки анализирующего магнита мезонного тракта были измерены импульсы частиц пучка при значениях тока питания магнита 240 и 126 А. Соответствующие импульсы при данных значениях токов определялись в первом случае по средней скорости π^- -мезонов, а во втором - по средней скорости μ^- -мезонов. Было получено $\beta_{\pi^-} = 0,770$, а $\beta_{\mu^-} = 0,642$, что соответствует импульсам $168,0 \pm 3,0$ МэВ/с и $88,0 \pm 3,6$ МэВ/с.

На рис. 9 показана зависимость импульса частиц пучка от величины тока питания анализирующего магнита. На этом же рисунке приведены результаты, полученные в работе ^{1/} методом токунесущей нити.

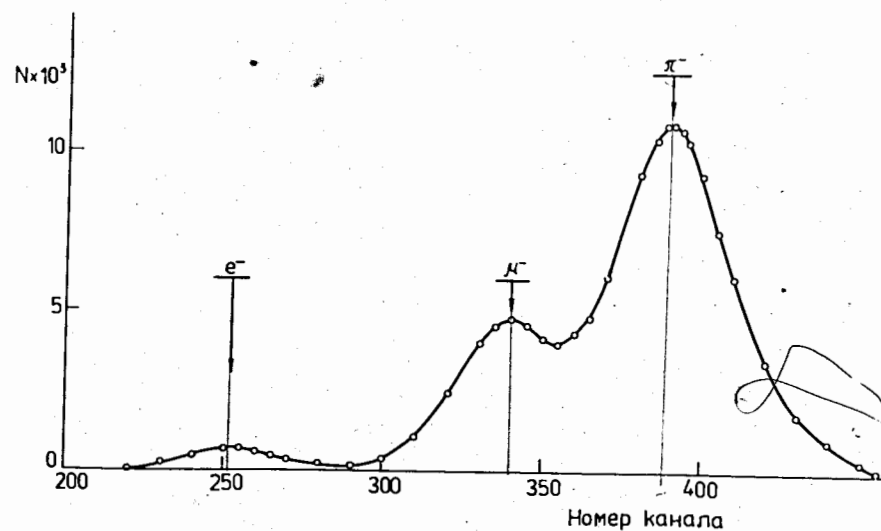


Рис. 8. Распределение по времени пролета частиц пучка при токе питания анализирующего магнита 485 А. Пролетное расстояние увеличено на $500 \pm 0,5$ мм.

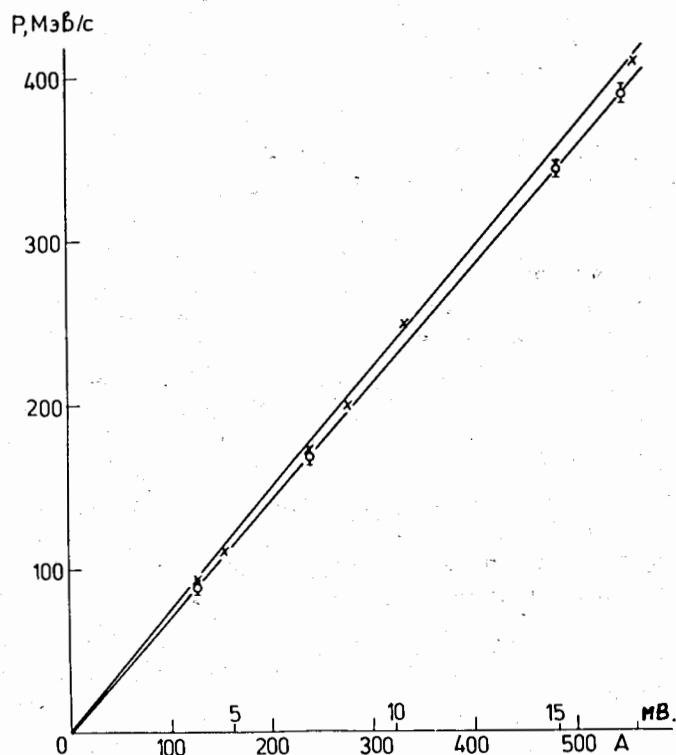


Рис. 9. Зависимость импульса частиц пучка от величины тока питания анализирующего магнита. /По оси абсцисс сверху опложено напряжение на шунте генератора/. × - работа /ошибки измерений в работе не приводятся/, о - настоящая работа.

Для определения энергетического разброса пучка из суммарного распределения по времени пролета π^- -мезонов, измеренного в точках, где интенсивность пучка /в месте расположения второго счетчика БИ/ составляла половину от максимального значения, вычиталось аппаратное разрешение спектрометра. Измерения показали, что энергетический разброс пучка π^- -мезонов с энергией 274,5 МэВ составляет ± 14 МэВ.

Таким образом, с помощью созданных спектрометров по времени пролета проведено измерение энергии

пучков мезонного тракта в широком диапазоне с точностью $0,7 \div 4\%$.

Авторы выражают благодарность Ю.М.Казаринову, Ю.А.Щербакову за предоставление фотоумножителей ХР-1020 и ХР-2020; Б.Ю.Балдину, А.Дитеру, З.В.Крумштейну - за помощь в изготовлении универсальных дискриминаторов и конверторов и за обсуждения; Н.А.Лебедеву - за техническую помощь при изготовлении и исследовании спектрометров.

Литература

1. В.С.Роганов. Депонированная публикация ОИЯИ, Б1-9-4707, Дубна, 1969.
2. В.В.Матвеев, Б.И.Хазанов. Приборы для измерения ионизирующих излучений. Атомиздат, 1972, стр. 347.
3. Ю.М.Грашин, Б.А.Долгошеин, В.Г.Кириллов-Угрюмов, А.А.Кропий, В.С.Роганов, А.В.Самойлов, С.В.Сомов. АЭ, 18, 384 /1965/.
4. Б.Ю.Балдин, З.В.Крумштейн, А.И.Ронжин. Препринт ОИЯИ, 13-9850, Дубна, 1976.
5. В.Ф.Борейко, В.М.Гребенюк, В.Г.Зинов. ПТЭ, №1, 84 /1976/.
6. Б.Ю.Балдин. Препринт ОИЯИ, 13-6954, Дубна, 1973.
7. C. Word et al. Nucl. Instr. and Meth., 30, 61 /1964/.
8. В.Г.Лапшин, В.И.Петрухин, В.И.Рыкалин, Д.М.Хазинс, З.Цисек. Препринт ОИЯИ, 13-3549, Дубна, 1967.
9. D. Bollini et al. Nucl. Instr. and Meth., 81, 56 /1970/.
10. С.В.Рихвицкий, И.Н.Семенюшкин, А.Н.Хренов. Препринт ОИЯИ, 13-8152, Дубна, 1974.

Рукопись поступила в издательский отдел
6 октября 1976 года.