

F-626



ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ  
ЛАБОРАТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

1 - 7777

ГОЛУТВИН

Игорь Анатольевич

МЕТОДИКА СОВРЕМЕННОГО ФИЗИЧЕСКОГО ЭКСПЕРИМЕНТА  
С БЕСФИЛЬМОВЫМИ ИСКРОВЫМИ КАМЕРАМИ  
НА ЛИНИИ С ЭВМ

Специальность 01.04.01 - экспериментальная физика

Автореферат диссертации на соискание ученой степени  
доктора физико-математических наук

Дубна 1974

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий  
Объединенного института ядерных исследований

Официальные оппоненты:

член-корреспондент АН СССР, профессор М.Г.МЕЩЕРЯКОВ,  
доктор физико-математических наук Б.А.ДОЛГОШЕИН,  
доктор физико-математических наук В.С.КАФТАНОВ.  
Ведущее научно-исследовательское учреждение:  
физический институт АН СССР им. П.Н.Лебедева

Автореферат разослан " 19 " II 1974 года.  
Защита диссертации состоится " 19 " III 1974 года  
в 12 час. на заседании Ученого совета Лаборатории вы-  
соких энергий Объединенного института ядерных исследова-  
ний, г. Дубна, Московской области, Лаборатория высоких  
энергий ОИЯИ, конференц-зал.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке

Ученый секретарь Совета  
кандидат физико-математических  
наук

*М.Ф.Лихачев*

М.Ф.Лихачев

1 - 7777

ГОЛУТВИН  
Игорь Анатольевич

МЕТОДИКА СОВРЕМЕННОГО ФИЗИЧЕСКОГО ЭКСПЕРИМЕНТА  
С БЕСФИЛЬМОВЫМИ ИСКРОВЫМИ КАМЕРАМИ  
НА ЛИНИИ С ЭВМ

Специальность 01.04.01 - экспериментальная физика

Автореферат диссертации на соискание ученой степени  
доктора физико-математических наук

Объединенный институт  
ядерных исследований  
БИБЛИОТЕКА

В настоящее время в экспериментальной физике высоких энергий все большее распространение получают электронные методы исследования свойств частиц и реакций с их участием. За последние 15 лет электронная методика бурно развивалась и продолжает также бурно развиваться в настоящее время. Развитие методики стимулируется ее очевидными преимуществами перед другими известными методами исследований:

- быстродействием, т.е. возможностью измерять процессы во времени с точностью до  $(1 \pm 2) \cdot 10^{-10}$  сек;
- возможностью управления установкой с целью выбора определенного процесса или класса процессов;
- возможностью полного использования интенсивных вторичных пучков частиц на современных ускорителях (до  $10^7$  -  $10^8$  частиц/сек);
- возможностью обеспечения высокой статистической точности изучаемого процесса;
- возможностью изучения редких процессов;
- возможностью селектирования сорта частиц;
- возможностью автоматизации процесса исследования;
- разнообразием детекторов частиц.

Универсальность электронной методики иллюстрируется широким выбором детекторов частиц. Это:

- сцинтилляционные счетчики и годоскопы, включая координатные детекторы нейтральных частиц;
- счетчики полного поглощения;
- полупроводниковые детекторы;
- черенковские пороговые и дифференциальные счетчики и годоскопы;

- искровые камеры;
- стримерные камеры;
- пропорциональные и дрейфовые камеры.

Допускается любая комбинация перечисленных детекторов между собой и с другими устройствами типа:

- криогенных мишеней;
- магнитов, включая сверхпроводящие;
- коллиматоров, блоков вещества и т.п.

Скорость набора событий при исследованиях электронными методами может быть на несколько порядков больше, чем скорость набора событий в пузырьковых камерах, а информативность, получаемая в последних, может быть получена комбинацией электронных детекторов.

Большинство электронных методов допускает автоматизацию съема информации и, в частности, использование для этого ЭЕМ. Использование ЭЕМ на линии с экспериментальной электронной установкой резко повысило эффективность методики; раскрыло ее большие возможности и позволило исследовать много процессов, недоступных до этого другой методике.

Следует подчеркнуть также мысль, что развитие электронных методов исследований основывается на общем прогрессе техники, технологии, химии, микроэлектроники, ЭЕМ, имеющем общегосударственное значение. Для этих методов исследования не требуется развития специальных отраслей промышленности.

Повышению удельного веса электронных методов исследования в значительной мере способствовал прогресс в области бесфильмовых трековых детекторов частиц - таких, как проволочные искровые камеры. С развитием трековых детекторов связаны главные направления развития методики эксперимента.

Основная современная тенденция использования уже разработанных способов регистрации частиц - это создание крупных автоматизированных установок с ЭЕМ на линии, предназначенных для решения задач, связанных с определенным типом взаимодействий<sup>/1-9/</sup>.

Вторая современная тенденция - создание комбинированного детектора широкого профиля, который состоит из мишени, окруженной трековыми детекторами и счетчиками для идентификации вторичных продуктов реакций и имеет близкую к 4П геометрическую эффективность<sup>/10-13/</sup>.

Третья тенденция естественным образом вытекает из того огромного вклада в физику, который был сделан на пузырьковых, особенно жидководородных, камерах - это совмещение детектора с мишенью. Работы в этом направлении ведутся во многих научных центрах<sup>/14-16/</sup>.

Таким образом, основной чертой современного физического эксперимента является использование детекторов частиц, имеющих высокое временное и пространственное разрешение в комбинации с электронными вычислительными машинами. Именно этой методикой в настоящее время выполняется большинство экспериментов на ускорителях.

Определенные успехи в создании современных методов исследований в области физики высоких энергий и элементарных частиц достигнуты в Лаборатории высоких энергий Объединенного института ядерных исследований, где на основе большого цикла методических исследований<sup>/17-27/</sup> впервые в Советском Союзе были созданы бесфильмовые искровые спектрометры<sup>/7-9/</sup>, работающие на линии с электронными вычислительными машинами, с помощью которых проведены эксперименты на протонных ускорителях ОИЯИ и ИФВЭ и получены важные физические результаты при измерении упругого П-р-рассеяния в области кулон-ядерной интерференции<sup>/28-31/</sup> и при исследовании  $K_L^0 - K_S^0$  регенерации в области энергий каонов 10-50

Гэв /32-36/. Эти работы положены в основу настоящей диссертации.

Диссертация состоит из введения, пяти глав и заключения.

В первой главе рассматриваются физические характеристики проволочных искровых камер как трековых детекторов частиц /37,38/ и излагаются результаты исследований в области методов бесфильмового съема информации и их применения в экспериментах на ускорителях.

Наибольшее распространение в экспериментах на ускорителях получили искровые камеры со считыванием при помощи ферритовых колец и магнитострикционных линий. Эти методы считывания информации удовлетворяют основным требованиям экспериментальной физики высоких энергий с точки зрения точности ( $0,2 \pm 0,3$  мм), временного разрешения ( $\sim 1$  мксек), "мертвого" времени ( $\sim 1$  мсек), многотрековой эффективности и позволяют создавать трековые детекторы с размерами до 7 м /32/. В настоящее время большие бесфильмовые искровые спектрометры создаются, как правило, на основе магнитострикционных камер /40/.

Впервые в эксперименте магнитострикционные искровые камеры /17/ были использованы для измерения  $\Pi^-$ -рассеяния на  $180^\circ$  при импульсах  $\Pi^-$ -мезонов 4-7 Гэв/с /41/. Опыт работы с ними в этом эксперименте показал, что они с успехом могут заменить фильмовые камеры, практически не ухудшая точности регистрации /25/.

В обычном исполнении проволочные искровые камеры с ферритовыми кольцами позволяют получать координаты искр в цифровом виде, пригодном для непосредственной передачи в ЭЕМ и дальнейшего анализа. Однако информацию в таких камерах можно получать и в аналоговой форме - в виде импульса напряжения, амплитуда которого пропорциональна координате искры. Этот метод дает возможность, во-первых, сократить объем выводимой информации и, во-вторых, в ряде случаев

произвести анализ данных с искровых камер за сравнительно небольшое время (порядка долей мксек). Результаты этого анализа могут быть, таким образом, использованы для управления другими, более сложными системами искровых камер, например, стримерными камерами. Аналоговый метод был применен в установке для быстрого измерения углов и импульсов частиц /20/. В этой установке время получения информации об углах и импульсах меньше 1 мксек. Точность измерения угла отклонения частицы при базе между парой камер 1 м составляла  $\pm 2$  мрад. Существенным недостатком метода является то, что он применим только для одноискровых событий.

В методике бесфильмовых искровых камер, в частности, магнитострикционных, большой интерес представляет возможность работы последних в магнитных полях, что определяется, главным образом, характеристиками магнитострикционных материалов, помещенных в магнитное поле. Исследования показали /42/, что наилучшими свойствами для работы в магнитных полях с  $H \geq 1$  тл обладают линии  $\rho$  0,2 мм, из материала 65% Fe, 35% Co. Работа магнитострикционной камеры в поле магнита 1,3 тл на пучке  $\Pi^-$ -мезонов 4 Гэв/с показала, что точность регистрации координат искр не ухудшается по сравнению с камерами, находящимися вне магнитного поля, при условии, что магнитострикционная линия расположена перпендикулярно направлению магнитного поля с точностью не хуже  $\pm 1^\circ$ .

Применение магнитострикционных искровых камер в экспериментах для исследования сложных многотрековых событий требует создания сложной электронной регистрирующей аппаратуры. В некоторых случаях объем регистрирующей электроники может быть значительно сокращен, если использовать магнитострикционные камеры со статической памятью /43/.



Во второй главе рассматриваются основные вопросы, связанные с использованием ЭЕМ непосредственно в эксперименте.

Круг задач, решаемых ЭЕМ в реальном масштабе времени, определяется в первую очередь возможностями средств вычислительной техники, которыми располагает экспериментатор. При современном уровне развития техники целесообразно возложить на ЭЕМ в режиме непосредственной связи с бесфильмовыми искровыми камерами и другим экспериментальным оборудованием следующие функции /44/:

1) фильтрацию и накопление в буферной памяти информации, поступающей от детекторов, запись ее на магнитную ленту в виде, удобном для проведения окончательных вычислений, осуществление контроля этой информации с точки зрения ее пригодности для дальнейшей обработки;

2) проверку и отладку экспериментального оборудования перед началом эксперимента или его нового этапа;

3) контроль за работой экспериментальной аппаратуры, выявление неисправностей и определение степени надежности получаемой информации при отказах в отдельных звеньях всего экспериментального комплекса; измерение параметров отдельных частей и всей установки в целом в реальном времени эксперимента и извещение экспериментатора в тех случаях, когда уход параметров и отказы могут существенно повлиять на качество результатов;

4) анализ условий проведения эксперимента и оповещение экспериментатора, когда эти условия не соответствуют заданным;

5) паспортизацию всех параметров, определяющих условия проведения эксперимента;

6) автоматическое управление режимами работы аппаратуры, если это требуется при проведении эксперимента (измерение, калибровка, тест и т.д.).

При измерении  $\Pi$ -р-рассеяния на малые углы и при исследовании  $K_L^0 - K_S^0$  регенерации для работы на линии с экспериментальными установками использовались модернизированные варианты ЭЕМ БЭСМ-3М и БЭСМ-4 /45/. Возможности этих машин ограничены и по емкости оперативной памяти, и по быстродействию, и по набору внешних устройств. Поэтому степень реализации указанных выше функций сильно зависела от количества и характера поступления информации от экспериментальной установки.

Работа ЭЕМ при использовании ее на линии с экспериментальной аппаратурой была организована в мультипрограммном режиме /46/. Автоматическое распределение ресурсов ЭЕМ программой - диспетчером осуществлялось в зависимости от загрузки.

Программы подразделялись на группы трех приоритетов (уровней): нулевой, первый и второй. При выборе уровня, на котором будет проходить программа, учитывалось ее функциональное назначение. Основные функции программ следующие: обмен информацией (высший приоритет), накопление информации (первый приоритет), контроль оборудования и хода эксперимента (второй приоритет).

Необходимым этапом экспериментального цикла является определение параметров и исследование таких характеристик искровых камер, как эффективность и точность непосредственно в процессе проведения эксперимента. Результаты исследования различных алгоритмов нахождения этих величин приведены в заключительном разделе второй главы на примере бесфильмового искрового спектрометра для исследования  $K_L^0 - K_S^0$  регенерации.

В третьей главе рассматривается методика эксперимента по измерению вещественной части амплитуды упругого  $\Pi$ -р-рассеяния в области кулон-ядерной интерференции /31/. Основной целью эксперимента являлась проверка дисперсионных соотношений для  $\Pi$ -р-упругого рассеяния вперед.

Благодаря кинематике процесса упругого столкновения двух частиц, для выделения его среди других реакций достаточно, зная направление и импульс первичного пиона, измерить кинематические параметры рассеянного пиона. Вещественная часть амплитуды упругого  $\pi^-p$ -рассеяния определялась из дифференциального сечения в области малых значений переданного импульса, где имеет место интерференция кулоновской и ядерной амплитуд.

Оптимальной областью передач для измерения кулон-ядерной интерференции является интервал

$$10^{-4} (\text{Гэв}/c)^2 \leq t \leq 10^{-2} (\text{Гэв}/c)^2,$$

что соответствует для импульса пиона 5 Гэв/с интервалу углов  $2 \text{ мрад} \leq \theta \leq 20 \text{ мрад}$ .

Задача измерения эффекта кулон-ядерной интерференции (в области импульсов пионов  $\sim 5 \text{ Гэв}/c$ ) сводится к измерению углов рассеяния пиона в мишени с точностью  $\Delta \theta \sim 1 \text{ мрад}$ , измерению импульса рассеянного пиона с точностью  $\Delta p/p \sim 10^{-2}$ , определению эффективности регистрации соонтий с точностью  $\Delta \epsilon/\epsilon \sim 10^{-2}$ . При этом скорость набора информации должна быть достаточно высокой.

Схема эксперимента показана на рис.1. Основу эксперимента составляла установка из магнестрикционных искровых камер, работавшая на линии с электронной вычислительной машиной БЭСМ-3М. Эта установка разрабатывалась в 1965-1966 годах и была введена в действие летом 1966 года /7,47/.

Девять искровых камер объединены в три секции. Первая секция (ИК-1 + ИК-3) необходима для измерения углов и координат  $\pi^-$ -мезонов, налетающих на жидководородную мишень ( $H_2$ ); с помощью второй секции (ИК-4 + ИК-7) определяются углы рассеяния  $\pi^-$ -мезонов в водородной мишени; третья секция (ИК-8 + ИК-9) позволяет,

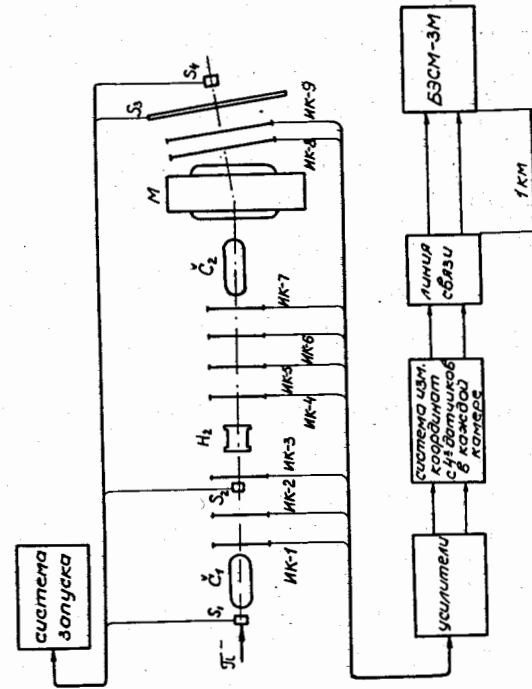


РИС.1 СХЕМА ВЕСИЛЬНОГО ИСКРОВОГО СПЕКТРОМЕТРА В ЭКСПЕРИМЕНТЕ ПО  $\pi^-p$  РАССЕЯНИЮ НА МАЛЫЕ УГЛЫ.

совместно со второй секцией, измерять импульсы  $\Pi^-$ -мезонов по их отклонениям в поле анализирующего магнита (М).

Запуск осуществлялся импульсами совпадений счетчиков  $S_1 \check{C}_1 S_2 \check{C}_2 S_3$ . Счетчики  $S_1$  и  $S_2$  определяли сечение пучка  $\Pi^-$ -мезонов, падающих на мишень; счетчик  $\check{C}_1$  выделял из пучка пионы, направление движения которых составляло с осью счетчика угол  $\pm 1,5$  мрад; счетчик  $S_3$  ограничивал апертуру рассеяния, а счетчик антисовпадений  $\check{C}_2$  служил для подавления запусков от не взаимодействовавших пионов /48/.

Чтобы сократить время обработки информации на ЭМ и упростить регистрирующую электронную аппаратуру, были введены жесткие критерии к виду информации, поступавшей из искровых камер. Обращались только одноискровые случаи.

Исследование эффективности отдельных камер показало, что основными причинами неодноискровых событий в камерах являлись:

- а) отсутствие искр в камере  $\sim 2+3\%$ ;
- б) наличие в камере более одной искры (зависит от интенсивности пучка)  $\sim 5 + 15\%$ ;
- в) пробои по следу предыдущей искры  $\sim 3\%$ .

Специальные исследования, проведенные со схемой выделения двух треков, показали также, что основная доля многоискровых событий связана с неравномерностью сброса пучка на внутреннюю мишень ускорителя. Поэтому для обработки выбирались только те события, в которых в каждой из трех камер первой группы была только одна искра. Это условие несколько уменьшало скорость набора статистического материала, но зато при этом эффективности  $\Pi^-$ -ой и  $\Pi^+$ -ей групп камер практически не зависели от интенсивности и неравномерности пучка.

Для  $\Pi^-$  и  $\Pi^+$  групп искровых камер считалось достаточным одноискровое срабатывание любых 3-х камер во  $\Pi^-$  группе и хотя бы од-

ной камеры в  $\Pi^+$  группе при условии, что в вертикальной плоскости координаты искр лежат на одной прямой. Если информация о координатах одноискровых срабатываний не позволяла провести через  $\Pi^-$  группу камер прямую с хорошим значением  $\chi^2$ , проводился анализ 2-искрового срабатывания в оставшейся камере этой группы.

Переопределение по количеству камер во  $\Pi^-$  и  $\Pi^+$  группах обеспечило высокую эффективность регистрации рассеянного пиона ( $\epsilon_{2,3} > 93\%$ ). Эффективность  $\Pi^-$ -й группы камер  $\epsilon_1$  определялась по всем запускам установки,  $\epsilon_{2,3}$  - по контрольным запускам (каждый десятый цикл). Суммарная погрешность в определении эффективности составляла не более 1%.

Установка работала на линии с ЭМ БЭСМ-3М, которая позволяла осуществлять контроль системы избирательного запуска, интенсивность пучка частиц и т.п. Основная часть времени ЭМ расходовалась на обработку информации о координатах искр с целью контроля работы искровых камер. Кроме итоговых характеристик, непрерывно проверялось, находятся ли контролируемые величины в области допустимых значений.

Регистрирующая аппаратура была выполнена на пересчетных схемах и запоминала информацию, соответствующую одному срабатыванию искровых камер до передачи ее в ЭМ. Передача в ЭМ, которая находилась на расстоянии 1 км, осуществлялась с помощью специально разработанной для этой цели последовательной линии связи /24/ в виде 45-разрядных слов. Из них 9 слов содержали информацию с искровых камер (в каждом слове содержится информации с 4-х координатных датчиков камеры), а 3 слова - счет монитора ( $S_1 \check{C}_1 S_2$ ), относившийся к данному срабатыванию, т.е. информацию о количестве  $\Pi^-$ -мезонов, прошедших через установку, и данные об интенсивности пучка  $\Pi^-$ -мезонов.



Характеристика установки

1. Импульсное разрешение	- 2 %
2. Угловое разрешение	- 0,6 мрад.
3. Точность измерения координат	- 0,3±0,4 мм
4. Время памяти камер (на уровне 50% эффективности)	- 1,5 мксек.
5. Минимальное "мертвое" время	- 2,2 мсек.
6. Количество вещества на пути частицы:	
а) камера	- 40 мг/см <sup>2</sup>
б) воздух между двумя камерами	- 100 мг/см <sup>2</sup>
7. Телесный угол	- 5·10 <sup>-4</sup> стерад.
8. Горизонтальный угловой захват	- ± 22 мрад.
9. Вертикальный угловой захват	- ± 22 мрад
10. Диапазон импульсов	- 1÷7 Гэв/с
11. Длина мишени по пучку	- 50 см
12. Интенсивность пучка π <sup>-</sup> -мезонов	- 1·10 <sup>4</sup> цикл <sup>-1</sup>
13. Максимальное количество событий, передаваемых в ЭВМ за один цикл	- 100
14. Размеры искровых камер а) ИК-1+ИК-7	- 200x200 мм <sup>2</sup>
б) ИК-8+ИК-9	- 480x480 мм <sup>2</sup>
15. Расстояние между электродами камер	- 8 мм
16. Расстояние между проволочками электродов	- 1 мм
17. Емкость регистрирующей аппаратуры	- 12 45-разрядных слов
18. Время регистрации одного события	- 120 мксек
19. Минимальное время передачи одного слова в ЭВМ	- 50 мксек
20. Среднее время передачи в ЭВМ одного события	- 1,2 мсек.

Исследование характеристик установки во время проведения эксперимента показало, что бесфильмовый искровой спектрометр является оптимальным прибором для решения поставленной задачи.

Высокая точность измерения координат трека и малое количество вещества на пути частиц создали условия для получения требуемых угловых и импульсных разрешений. Высокая эффективность спектрометра позволила иметь малые систематические ошибки в определении сечений, а работа на линии с ЭВМ и наличие триггера обеспечили необходимую скорость набора событий упругого рассеяния в области кулон-ядерной интерференции (обеспечили требуемую статистическую точность эксперимента).

В четвертой главе сформулированы основные экспериментальные особенности изучения  $K_L^0 - K_S^0$  регенерации и дано описание спектрометра с ферритовыми искровыми камерами, разработанного для проведения таких экспериментов.

Исследование регенерации нейтральных каонов имеет большое значение для решения фундаментальных проблем современной физики. Как хорошо известно, интенсивность когерентной регенерации определяется коэффициентом

$$\rho(p) \equiv |\rho(p)| \exp[i\varphi(p)].$$

Значения модуля  $|\rho(p)|$  и фазы  $\varphi(p)$  можно получить из распределения по собственному времени интенсивности π<sup>+</sup>π<sup>-</sup>-распадов  $K_L^0$  и регенерированных  $K_S^0$ , происходящих в пространстве за мишенью-регенератором, помещенной в пучок  $K_L^0$ .

Экспериментальная задача измерения модуля и фазы трансмиссионной регенерации сводится к:

1) выделению π<sup>+</sup>π<sup>-</sup>-распадов  $K_L^0$  и  $K_S^0$  в пространстве за мишенью-регенератором, помещенной в пучок  $K_L^0$ ,

2) измерению числа π<sup>+</sup>π<sup>-</sup>-распадов, происходящих в направлении падающего  $K_L^0$ , в зависимости от расстояния до мишени,

3) определению формы углового распределения регенерированных  $K_S^0$  с целью вычитания фона.

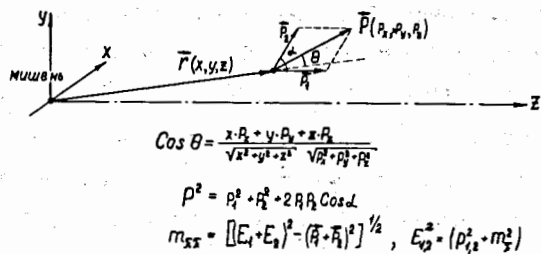


РИС.2 ПАРАМЕТРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ГЕОМЕТРИЮ РАСПАДОВ КАОНОВ.

$\Pi^+\Pi^-$ -распады образуют так называемое  $V^0$  событие (событие, в котором имеется всего две заряженных частицы, идущие из одной точки). Кроме того,  $V^0$  события образуются от распадов нейтральных каонов по другим модам ( $K_{e3}$  и  $K_{\mu 3}$ ). Также некоторую примесь могут давать  $K_{3\pi}$ -распады. Определение импульсов обеих заряженных частиц в  $V^0$  событии и угла между ними позволяет восстановить точку распада, эффективную массу и, в случае распада на две частицы, определить импульс распавшегося каона и направление его полета по отношению к направлению падающего. Кинематика двухпионного распада приведена на рис.2. Выделение  $K_{\Pi 2}$  событий можно произвести по эффективной массе  $m_{TT}$  и углу  $\theta$ .

В случае распада на три частицы, импульс каона однозначно не определяется, а направление суммарного вектор-импульса двух заряженных распадных частиц  $\vec{p}$  может существенно отличаться от направления полета падающего каона.

Таким образом, рассматривая угловое распределение вектор-импульсов  $\vec{p}$  от зарегистрированных распадов каонов, среди которых есть двухпионные распады, мы должны наблюдать острый пик вблизи нулевых углов  $\theta$  на фоне значительно более пологого углового распределения этих векторов от трехчастичных распадов. Установив закон измерения фона, можно произвести его вычитание из области пика и определить количество чистых двухпионных распадов. Точность выполнения этой операции определяется угловой разрешающей способностью спектрометра.

События, являющиеся кандидатами в двухпионные распады каонов, должны иметь острый пик при  $m_{TT}$  (см. подписи к рис.2), соответствующей массе каона, т.к. в этом случае для точного определения массы распавшегося каона достаточно параметров распада, определяемых в установке.

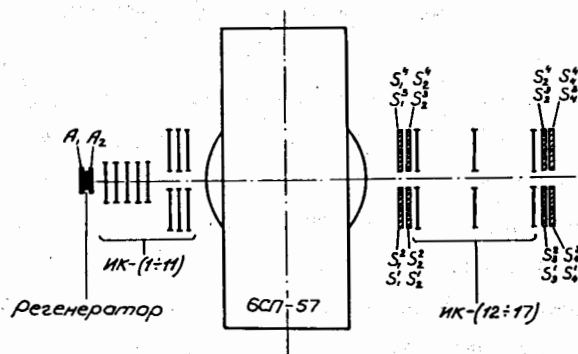


РИС.3 СХЕМА РАСПОЛОЖЕНИЯ ВЕСФИЛЬМОВОГО ИСКРОВОГО СПЕКТРОМЕТРА НА ПУЧКЕ НЕЙТРАЛЬНЫХ ЧАСТИЦ СИНХРОФАЗОТРОНА ОИЯИ.

Рассмотренная выше кинематика двухчастичных распадов каонов может быть использована при построении электронной схемы отбора  $V^0$  событий и позволяет при не очень больших энергиях каонов ( $< 10$  Гэв) значительно повысить относительный вклад в количество срабатываний системы запуска от двухчастичных распадов  $K^0 \rightarrow \pi^+\pi^-$ .

Успехи, достигнутые в исследованиях  $K_L^0 - K_S^0$  регенерации за последние годы, тесным образом связаны с развитием методики бесфильмовых искровых спектрометров, работающих на линии с электронными вычислительными машинами. Важным этапом в работах по этому направлению было создание и исследование характеристик спектрометра с ферритовыми искровыми камерами для экспериментального изучения регенерации каонов в пучке нейтральных частиц синхрофазотрона ОИЯИ /8/. Разрешающая способность этой установки по углу и инвариантной массе была не хуже, чем у лучших зарубежных установок того времени (Рубоиа, ЦЕРН /49/, 1968 г.)

Опыт, накопленный в этих работах, был использован при разработке методики проведения экспериментов по  $K_L^0 - K_S^0$  регенерации на серпуховском ускорителе.

Схема экспериментальной установки показана на рис.3. Пучок нейтральных частиц от внутренней мишени ускорителя выводился под углом  $4^\circ$  к пучку протонов и далее формировался системой коллиматоров. Продукты распадов  $K^0$ -мезонов регистрировались и анализировались спектрометром, основу которого составляли проволочные искровые камеры, расположенные по обе стороны анализирующего магнита.

В спектрометр входило семнадцать проволочных искровых камер с памятью на ферритах, одиннадцать из которых размещены перед анализирующим магнитом, шесть — за магнитом. С помощью первой группы камер определяется геометрия  $V^0$  события до магнита,

вторая группа служит для определения импульсов распадных пионов. Импульс запуска высоковольтного питания проволочных искровых камер вырабатывается годоскопом сцинтилляционных счетчиков. Напряженность поля в анализирующем магните и геометрия расположения счетчиков позволяют выделить преимущественно двухчастичные распады  $K^0 \rightarrow \pi^+\pi^-$ .

Электроды искровых камер изготовлены из медной проволоки диаметром 0,1 мм, намотанной с шагом 1 мм. Зазор между электродами равен 8 мм. Рабочая область камер имеет размеры  $460 \times 460 \text{ мм}^2$ . Объем камеры отделен от внешнего лавсановой пленкой толщиной 70 мк. Собственная емкость камеры составляет  $400 \pm 10$  пф.

Ферритовая память расположена на камере и изготавливается при намотке заземленного электрода. В качестве запоминающих элементов используются ферритовые сердечники с прямоугольной петлей гистерезиса диаметром 2 мм. Проволоки электрода проходят через кольца и используются как обмотки записи. Тем самым исключается трудоемкая операция подсоединения ферритовой памяти к камере. Ферриты объединены в матрицу  $32 \times 14$ . Матрица закрыта крышкой, на которой размещены схемы выборки матрицы и 32 усилителя считывания. Здесь же размещены два разъема, при помощи которых камера соединяется со схемой считывания и вывода информации. Матрицы камер объединяются по считыванию в куб памяти объемом  $17 \times 32 \times 14$  колец.

Схема вывода информации осуществляет операции приема считанной из памяти камер информации и представления ее в двоичном коде и состоит из схемы управления, дешифратора и схемы кодирования. Координата искры на выходе схемы вывода информации представлена 14-разрядным двоичным числом. Старшие пять разрядов составляют номер матрицы (номер камеры), остальные девять — номер феррита в матрице.

В ЭМ информация поступает в виде 45-ти разрядных слов, в которых разряды с 1-го по 39 используются для передачи координат искр, разряды 40+45 - для передачи служебных признаков.

Кроме того, с каждым событием передается дополнительная информация о работе системы запуска и магнитном поле анализирующего магнита, записанная в пересчетной стойке.

Основные особенности работы спектрометра в пучке нейтральных частиц связаны с большими нагрузками фоновыми частицами счетчиков системы запуска и проволочных искровых камер.

Главным источником фона, приводящим к ложным срабатываниям системы запуска и появлению дополнительных искр в камерах, являются нейтроны пучка.

Дополнительные трудности, связанные с большими мгновенными нагрузками счетчиков и камер, возникают из-за того, что сброс протонов на мишень имеет как высокочастотную структуру (частота  $\sim 1,3$  мГц, связанная с периодом вращения протонов в камере ускорителя), так и низкочастотную структуру (связанную с неполным подавлением пульсаций в кривой главного тока).

Для изучения экспериментальных возможностей установки были проведены методические экспозиции в пучке нейтральных частиц при интенсивности пучка ускоренных протонов, сбрасываемого на внутреннюю мишень ускорителя  $3 \cdot 10^{10}$  с регенератором  $\sim 200$  г/см<sup>2</sup>.

Для зарегистрированных  $V^0$ -событий вычислялись следующие кинематические параметры:

- 1) эффективная масса распавшейся частицы ( $m$ ) в предположении распада  $\Pi^+\Pi^-$ ;
- 2) угол суммарного импульса двух частиц с осью ( $\theta$ );
- 3) энергия ( $E_K$ ) распавшейся частицы в предположении распада  $K^0 - \Pi^+\Pi^-$ .

Для построения гистограмм отбирались события, удовлетворяющие следующим критериям:

- 1) наличие не менее 6 искр на каждый трек,
- 2) вершина события лежит в распадном объеме,
- 3) полная энергия  $K^0$ -мезона в интервале  $1+7$  Гэв,
- 4) угол суммарного импульса с осью  $\theta \leq 100$  мрад.

На рис.4 показано распределение по эффективной массе  $M_{\Pi\Pi}$  для событий, удовлетворяющих перечисленным критериям. Видно, что распад  $K^0 - \Pi^+\Pi^-$  отчетливо выделяется над фоновыми событиями и точность восстановления массы  $K^0$ -мезона  $\Delta M = \pm 8$  Мэв.

Для оценки углового разрешения установки были отобраны события с эффективными массами, лежащими в интервале  $0,485 \leq M \leq 0,515$  Гэв/с<sup>2</sup>. Распределение по параметру  $\theta$  для таких событий показано на рис.5. Точность восстановления направления импульса  $K^0$ -мезона  $\Delta \theta \leq 2$  мрад. Уровень фона, показанный на рис. 5, оценивался по угловому распределению в соседних массовых интервалах  $0,470 < M < 0,485$  и  $0,515 < M < 0,530$  Гэв/с<sup>2</sup>.

Характерные черты методики современного физического эксперимента удобно иллюстрировать на примере эксперимента по  $K_L^0 - K_S^0$  регенерации при высоких энергиях /50/, проводившегося на серпуховском ускорителе в 1969-1972 гг, основной целью которого было изучение энергетической зависимости амплитуды трансмиссионной  $K_L^0 - K_S^0$  регенерации в диапазоне импульсов каонов 10-50 Гэв/с, что эквивалентно измерению разности полных сечений взаимодействия  $K^0$  и  $\bar{K}^0$  с веществом. Этот эксперимент проводился с помощью крупной автоматизированной установки, работавшей на линии с ЭМ. В нем были использованы различные детекторы частиц, дающие большую информативность об изучаемых явлениях. В качестве трековых детекторов были применены наиболее точные и быстродействующие (в момент начала опытов) приборы -

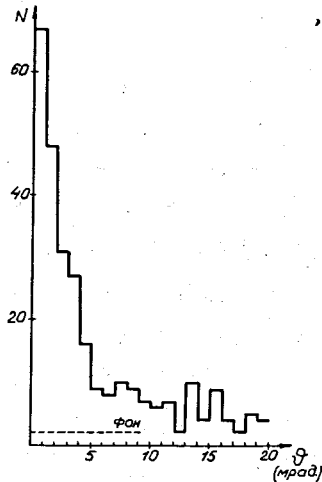


РИС. 4 РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЕКЦИИ УГЛА СУММАРНОГО ИМПУЛЬСА ДВУХ ЧАСТИЦ ДЛЯ СОБЫТИЙ С МАССОЙ В ИНТЕРВАЛЕ  $0,485 - 0,515 \text{ Гэв}/c^2$ . УРОВЕНЬ ФОНА, ПОКАЗАННЫЙ ПУНКТИРОМ, ОЦЕНИВАЛСЯ ПО СОСЕДНИМ МАССОВЫМ ИНТЕРВАЛАМ.

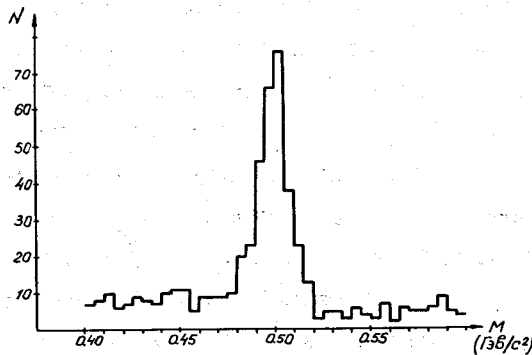


РИС. 5 РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОЙ МАССЫ ДВУХ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ В ПРЕДПОЛОЖЕНИИ РАСПАДА НА  $\pi^+ \pi^-$ .

– магнитострикционные искровые камеры, позволившие обеспечить рекордное разрешение по углу и инвариантной массе. Методические вопросы этого эксперимента составляют основное содержание пятой главы диссертации.

До ввода в действие серпуховского ускорителя экспериментально исследовались каоны, имеющие энергии в пределах нескольких Гэв. При повышении энергии каонов на порядок и более сложности проведения эксперимента значительно возрастают.

При высоких энергиях трудно выбрать систему запуска искровых камер, которая имела бы значительно большую эффективность к  $K_{L^0}$ -распадам, чем к лептонным распадам. Поэтому для выделения трансмиссионной регенерации необходимо иметь установку с хорошим угловым разрешением и хорошим разрешением по эффективной массе. Для тех же целей в состав экспериментальной аппаратуры должны быть введены детекторы лептонов – электронов и мюонов, информация с которых позволит существенно уменьшать фон от  $K_{e3}$  и  $K_{\mu 3}$  – распадов.

Стремление исследовать регенерацию при максимально возможной энергии требует создания пучка, ориентированного на внутреннюю мишень под малым углом, где число  $K_L^0$  – мезонов с энергией  $= 40+50 \text{ Гэв}$  еще достаточно для получения разумной статистики. Под малыми углами сильно возрастает интенсивность нейтронов, взаимодействия которых в регенераторе загружают искровые камеры за время их памяти фоновыми треками. Для облегчения восстановления геометрии события, вызвавшего запуск установки, необходимо использовать годоскопические счетчики. При высоких энергиях распадная длина  $K_S^0$  довольно велика ( $\lambda_s = 5,3 \text{ см} \cdot P_{K^0}$  (Гэв/с)). Поэтому для измерения фазы амплитуды регенерации необходимо, чтобы установка имела достаточно высокую и однородную эффективность для  $V^0$  – событий, вершины которых распреде-

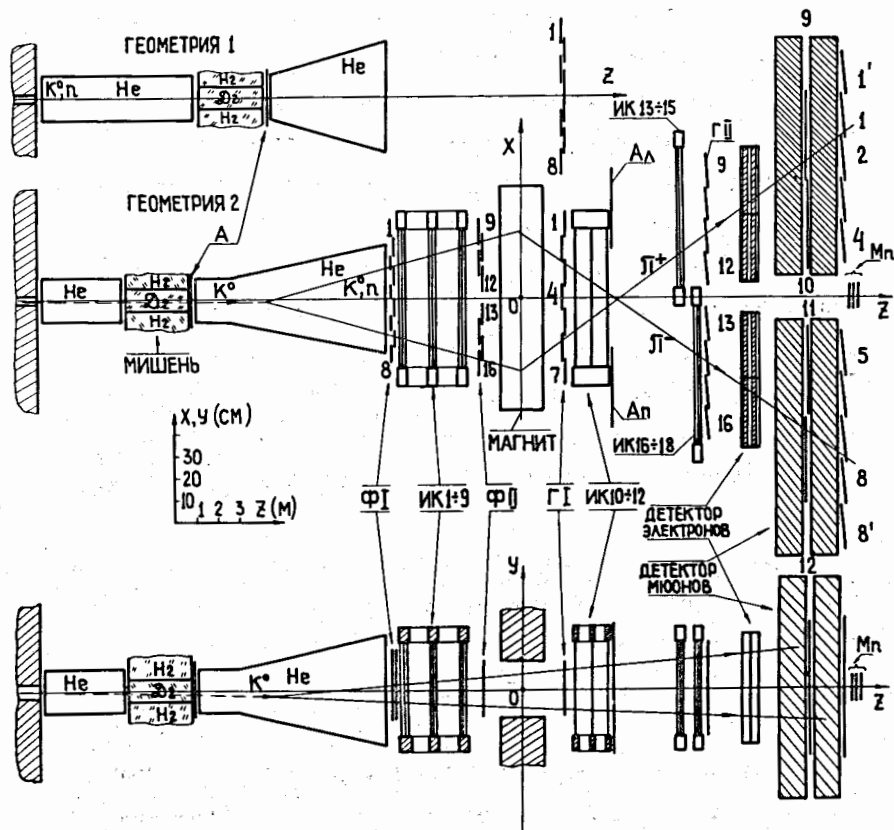


РИС.6 СХЕМА РАСПОЛОЖЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ АППАРАТУРЫ ВЕСФИЛЬМОВОГО СПЕКТРОМЕТРА В ЭКСПЕРИМЕНТЕ ПО  $K_1^0 - K_2^0$  РЕГЕНЕРАЦИИ ПРИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЯХ.

лены на длине несколько метров. Наконец, необходимость регистрации как можно большего числа событий за цикл ускорителя приводит к значительным импульсным и средним потокам информации в ЭВМ.

Основу экспериментальной установки составляет бесфилмовый искровой спектрометр (БИС), работающий на линии с ЭВМ БЭСМ-3М<sup>/9/</sup> (рис.6). В состав его входят магнит, искровые камеры и системы сцинтилляционных счетчиков для запуска искровых камер и идентификации частиц.

В установке использовалась "перекрестная" геометрия, которая при высоких энергиях обеспечивает хорошее разрешение по импульсу без существенной потери в однородности эффективности вдоль распадной зоны.

Сцинтилляционные счетчики, используемые для запуска искровых камер (триггер), располагались в четырех годоскопических плоскостях (ФI, ФII, ГI, ГII), две из которых были помещены перед магнитом, две другие - за ним. Каждая плоскость состояла из полуплоскостей, содержащих по четыре счетчика и расположенных слева и справа от оси спектрометра.

Регистрируемые распады каонов возникали в пространстве, расположенном за регенератором и ограниченном счетчиком антисовпадений А и первой фронтальной плоскостью запускающих счетчиков ФI (распадная база). Установка регистрировала события, конфигурация которых соответствовала следующим условиям:

- до магнита в районе плоскости ФII одна из распадных частиц проходит слева от оси спектрометра, другая - справа;
- за магнитом траектории этих частиц либо пересекаются в районе вето-счетчиков  $A_{II}$ ,  $A_{II}$  и искровых камер ИК-I0+I2, либо расходятся;



в) далее одна из распадных частиц попадает в искровые камеры ИК 13+15, другая - в ИК 16-18.

Для запуска искровых камер /51/ требовалось срабатывание, по крайней мере, одного счетчика в плоскости  $\Phi$ I и одного из счетчиков каждой полуплоскости вдоль траекторий левой и правой распадных частиц. Кроме того, должны были отсутствовать сигналы вето-счетчиков и счетчика А, помещенного вплотную к мишени-регенератору и запрещающего запуск частицами, рожденными до регенератора и в нем. После осуществления запуска информация о координатах искр вводилась в ЭВМ и записывалась на магнитные ленты (МЛ). Вместе с информацией, поступающей с искровых камер, на МЛ записывались номера триггерных счетчиков, сработавших в данном запуске. Информация о сработавших счетчиках годоскопа помогает исключить случайные треки в искровых камерах и ускоряет поиск событий при обработке.

Для идентификации различных типов распадов каонов в состав спектрометра входили детекторы электронов и мюонов, не участвовавшие в выработке триггерного сигнала установки.

В установке использовались 18 двухкоординатных проволочных искровых камер с магнитострикционным съемом информации. Все камеры имели стандартный размер с чувствительной областью  $600 \times 420 \text{ мм}^2$ , зазором 8 мм и шагом намотки X- и Y-электродов 1мм. Количество вещества по пучку для одной камеры составляло около  $40 \text{ мг/см}^2$ . Камеры расположены в пучке группами по три. Конструкция крепления обеспечивает строгую параллельность проволочек электродов всех трех камер. Каждая группа устанавливается на жесткую раму. Координаты камер были выбраны в соответствии с профилем пучка распадных частиц, полученного с помощью моделирования событий методом Монте-Карло.

В качестве рабочего газа для искровых камер использовалась трехкомпонентная газовая смесь, состоящая из чистого неона, 1,5 %  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$  и 0,8 % фреона - 20. Наличие в смеси фреона-20 позволяет получить достаточно крутой спад кривой памяти искровых камер, что очень важно при работе в условиях большого фона /52/.

Рабочий газ искровых камер приготавливался в специальном газовом пульте, обеспечившем высокую точность контроля и регулирования состава газовой смеси.

Работа спектрометра в интенсивном пучке нейтральных частиц приводит к сильной нагрузке искровых камер фоновыми частицами. Поэтому система регистрации координат должна быть рассчитана на регистрацию большого числа искр.

В данной установке предусмотрена возможность регистрации до 12 координат с каждого датчика, таким образом, можно измерять координаты 10 искр и двух реперных линий /53,54/.

С целью упрощения электронной аппаратуры система построена по принципу временного запоминания информации в динамических линиях задержки и содержит два идентичных регистрирующих канала, работающих параллельно. Каждый канал позволяет регистрировать координаты искр от 24 датчиков /22,23/.

Все блоки регистрирующей системы выполнены на основе ДТИ интегральных схем "Логика" и "Посол", которые в период создания установки имели наибольшее быстродействие по сравнению с другими. Применение интегральных схем (а это был один из первых примеров построения сложных систем на основе интегральной электроники) позволило создать аппаратуру, обладающую высокой надежностью. Система безотказно работала в течение всего длительного периода эксплуатации установки.

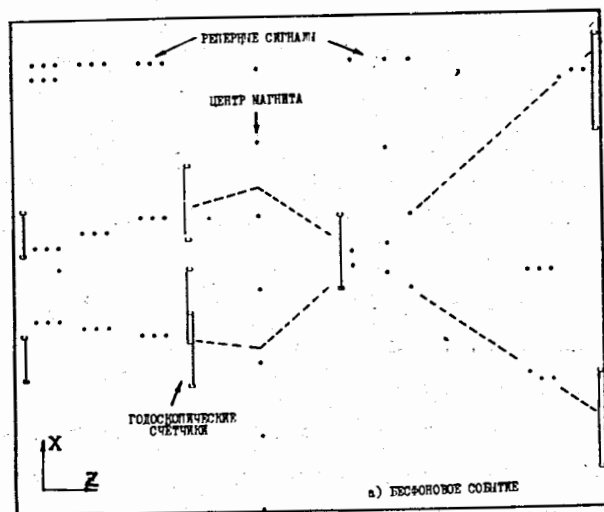


РИС. 7 ТОПОГРАФИЯ СОБЫТИЙ В ПЛОСКОСТИ X,Z .

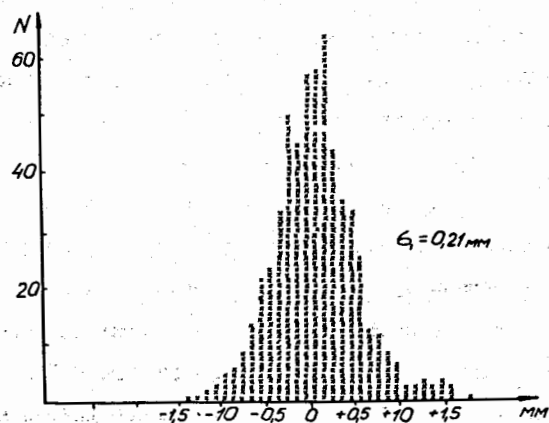


РИС. 8 РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОТКЛОНЕНИЙ КООРДИНАТ ИСКР ОТ ПРЯМОЙ ЛИНИИ (d).

В ЭВМ передавалась следующая информация /46/: X- и Y- координаты искр (максимум 12) в каждой из 18 камер, номера сработавших при запуске годоскопических счетчиков, амплитуды импульсов с детектора электронов, значение магнитного поля, отсчет 30 пересчетных схем, 40-разрядный регистр со служебной информацией. Время приема и передачи указанной информации составляло около 10 мсек. Средний объем информации на одно событие составлял около 100 машинных слов, что с учетом отведенного в ЭВМ объема памяти позволяло регистрировать не более 30 событий за цикл работы ускорителя. За 1 час работы установки на магнитную ленту записывалось  $\sim 7.8 \times 10^3$  событий.

ЭВМ осуществляла многосторонний и оперативный контроль всей измерительной системы и хода эксперимента. Осуществлялся контроль устройств связи и регистрирующей аппаратуры, искровых камер, элементов системы запуска и детекторов лептонов, фоновых условий. Совместно с итоговыми характеристиками и аварийными "печатами" весьма удобным средством для контроля работы экспериментальной установки и условий проведения эксперимента оказалось графическое представление событий. На печать выводились две проекции событий. На каждой из проекций фиксировались изображения искр и реперных отметок, положение магнита и сработавших счетчиков. Для этой цели использовалось АППУ (рис.7).

Большое переопределение (9 камер на трек до магнита и 6 - за ним) обусловили практически 100% эффективность нахождения полутраекторий программой геометрической реконструкции /55/. При этом эффективность отдельных искровых камер (в зависимости от фоновых условий) составляла 80-100 %.

Пространственная точность каждой камеры вычислялась по формуле  $\sigma_i = \sigma_d / f(z)$  /56/, где  $\sigma_d$  - дисперсия распределения

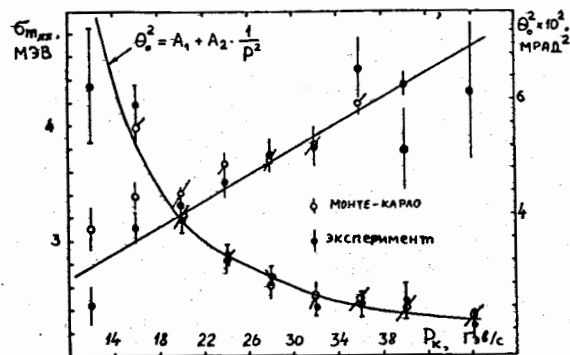


РИС. 9 РАЗРЕШАЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ СПЕКТРОМЕТРА ПО УГЛУ И ИНВАРИАНТНОЙ МАССЕ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ИМПУЛЬСА КАОНОВ.

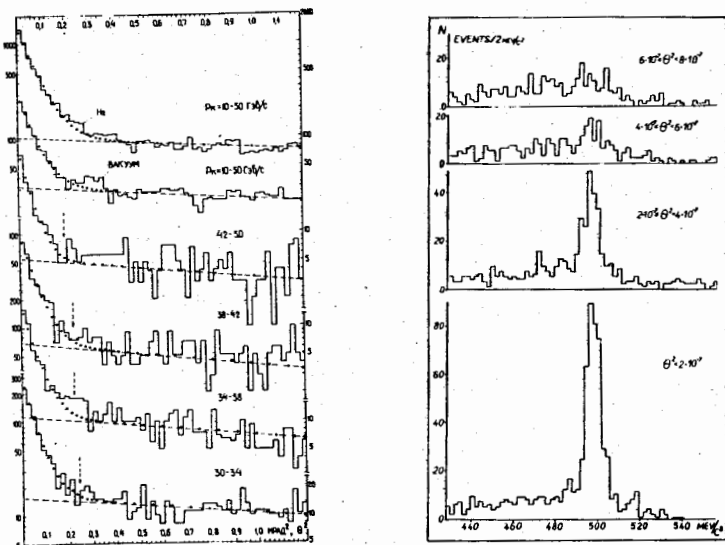


РИС. 10 РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПО УГЛУ И ИНВАРИАНТНОЙ МАССЕ КАНДИДАТОВ В ДВУХПИОННЫЕ РАСПАДЫ КАОНОВ.

отклонений ( $d$ ) координат искр от прямой, проведенной через две опорные камеры, а  $f(z)$  определяется расположением камер. На рис. 8 приведена гистограмма распределения величины  $d$  для одной из камер. Здесь  $f(z) = 1.37$  и  $\sigma_i = 0.21$  мм.

Высокое пространственное разрешение искровых камер и малое количество вещества на пучке частиц обеспечили высокое разрешение по углу и инвариантной массе, которые определяют точность регенерационного эксперимента. Зависимости этих величин от импульса распавшихся каонов приведены на рис. 9 /57,58/. Они получены на основании изучения соответствующих распределений событий (см. рис. 10).

#### Характеристики установки

1. Разрешение по инвариантной массе -  $\pm(2,5+4,3)\text{Мэв}/c^2$
2. Угловое разрешение -  $\pm(0,23+0,14)\text{мрад}^2$
3. Точность измерения координат ( $x, y$ ) -  $\pm 0,25$  мм
4. Точность восстановления точки распада ( $z$ ) -  $\pm 3$  см.
5. Диапазон импульсов каонов -  $10 + 50$  Гэв/с
6. Геометрическая эффективность (к  $K_{\Pi 2}$ -распадам) - 10%
7. Количество каонов в пучке -  $8 \cdot 10^4$  к<sup>0</sup>/цикл
8. Количество нейтронов в пучке -  $5 \cdot 10^6$  нейтронов/цикл
9. Размеры искровых камер -  $600 \times 420$  мм<sup>2</sup>
10. Время памяти искровых камер - 1,6 мксек
11. "Мертвое" время установки - 10 мсек
12. Максимальное число событий, регистрируемых за цикл - 30
13. Скорость накопления  $V^0$  событий на МЛ -  $(3+5)10^3$   $V^0$ /час.
14. Эффективность запуска (отношение  $V^0$ -событий к общему числу событий, зарегистрированных установкой) - 65 %.

Основные результаты диссертации заключаются в следующем.

1. Разработан, исследован и применен в эксперименте по исследованию упругого  $\Pi^-p$ -рассеяния на  $180^\circ$  аналоговый метод измерения углов и импульсов частиц при помощи ферритовых искровых камер.

2. Разработаны и впервые применены в эксперименте искровые камеры с магнотстрикционным съемом информации. Исследованы параметры магнотстрикционных материалов, применяемых для этих целей. Разработана необходимая регистрирующая аппаратура. Исследованы физические характеристики камер на пучке частиц.

3. Проведены систематические исследования условий работы магнотстрикционных искровых камер в магнитном поле. Показано, что камеры могут работать в полях до 1,3 тл без потери эффективности и ухудшения точности, при условии, что магнотстрикционная линия расположена перпендикулярно направлению магнитного поля.

4. Предложен новый способ съема информации с искровых камер, использующий статическую память на магнотстрикционных линиях. Этот способ позволяет значительно уменьшить объем регистрирующей аппаратуры без потери информации. Он был применен в экспериментах на ускорителе Аргоннской лаборатории США /59/.

5. Разработаны основы методики применения отечественных электронных вычислительных машин непосредственно в экспериментах на ускорителе ОИЯИ (методика "он-лайн"):

- а) сформулированы функции ЭМ в экспериментах;
- б) разработаны принципы контроля экспериментальной установки в условиях работы с пучком частиц;
- в) определен минимальный объем программного обеспечения;

г) разработана аппаратура для передачи информации от установки в ЭМ.

6. Разработана методика измерения упругого  $\Pi^-p$ -рассеяния в области кулон-ядерной интерференции на основе применения магнотстрикционных искровых камер на линии с ЭМ.

7. Создана и исследована установка для проведения этих опытов на синхрофазотроне ОИЯИ, состоявшая из 9 магнотстрикционных искровых камер с соответствующим обеспечением. Эта была первая в СССР "он-лайн" установка, принадлежавшая по своим параметрам к лучшим экспериментальным системам этого класса.

8. Сформулированы основные принципы использования методики бесфильмовых искровых камер на линии с ЭМ для изучения процесса регенерации короткоживущих  $K^0$ -мезонов при прохождении через вещество долгоживущих  $K^0$ -мезонов.

9. Создана и исследована установка, состоявшая из 17 ферритовых проволочных искровых камер на линии с ЭМ для экспериментов с нейтральными  $K$ -мезонами на синхрофазотроне ОИЯИ. Разрешающая способность установки по инвариантной массе ( $\pm 8$  Мэв) и углу ( $\pm 2$  мрад) не уступала по уровню лучшим зарубежным установкам.

10. В связи с программой первоочередных экспериментов на ускорителе с энергией 70 Гэв Института физики высоких энергий создана, в короткий срок запущена и исследована одна из базовых установок ОИЯИ в ИФВЭ - бесфильмовый искровой спектрометр (БИС). Установка БИС состояла из 18 магнотстрикционных искровых камер и разнообразных детекторов, работавших на линии с ЭМ БЭСМ-3М. Она имела эффективную систему отбора событий, высокую эффективность к многотрековым событиям, рекордную разрешающую способность по углу и инвариантной массе. По этим характеристикам установка БИС является одним из лучших в мире приборов такого класса. С ее по-

мощью осуществлена широкая программа исследований регенерации нейтральных каонов, которая в связи с проблемами асимптотического поведения сечений взаимодействий частиц широко обсуждалась на международных конференциях в 1970-1973 годах.

Работы, положенные в основу диссертации, и результаты, полученные в них, неоднократно обсуждались на международных конференциях, включены в обзоры и используются при проведении экспериментов на ускорителях.

#### Л и т е р а т у р а

1. W.K.H. Panofsky Труды международной конф. по аппаратуре в физике высоких энергий, том I, стр. 73-112, Дубна, 1971.
2. M.V. Martin, Труды международной конф. по аппаратуре в физике высоких энергий, том I, стр. 125-143, Дубна, 1971.
3. D.S. Ayres et al, ANL/HEP- 7314.
4. E.D. Platner et al, Intern. Conf. on Instrum. for High Energy Physics, Frascati (1973).
5. J.H. Dieperink et al, Труды международной конф. по аппаратуре в физике высоких энергий, т. I, стр. 251-256, Дубна, 1971.
6. Р.Г. Аствацатуров и др. Сообщение ОИЯИ Б-2-4329 (1968).
7. I.V. Chuvilo et al, Proc. 1966 Intern. Conf. on High Energy Physics, Stanford, 579-583, (1966).
8. М.Х. Аникина и др. Препринт ОИЯИ, 13-4123, Дубна, 1968.
9. С.Г. Басиладзе и др. Сообщение ОИЯИ, Р1-5361, Дубна, 1971.
10. Р. Анджек и др. Препринт ОИЯИ 13-3588 (1967).
11. P. Astbury et al, Nucl. Instr. & Methods, 46, 61 (1967).
12. V.V. Vladimirovsky et al, Intern. Conf. on Instrum. for High Energy Physics, Frascati (1973).
13. R. Bouchler et al, Intern. Conf. on Instrum. for High Energy Physics, Frascati, (1973).
14. S.E. Derenzo et al, Intern. Conf. on Instrum. for High Energy Physics, Frascati (1973).
15. Б.А. Долгошеин и др. Препринт ОИЯИ, Р1-6245, Дубна, 1972.
16. А.Ф. Писарев и др. Препринт ОИЯИ, Р13-6449. Дубна, 1972г.
17. А.С. Гаврилов и др. ПТЭ, 1966, № 6, стр. 69-74.
18. А.С. Гаврилов и др. Сообщение ОИЯИ, Б-3-2972, Дубна, 1966.
19. Т.В. Беспалова и др. Сообщение ОИЯИ, 13-3656, Дубна, 1968.
20. I.A. Golutvin et al, JINR, E - 2366, Dubna, 1965.

21. Л.С. Барабаш и др. Сообщение ОИЯИ, 2660, Дубна, 1966.
22. И.А. Голутвин и др. Сообщение ОИЯИ, 13-4527, Дубна, 1969.
23. Т.В. Беспалова и др. Сообщение ОИЯИ, 13-4720, стр.385-389, Дубна, 1969.
24. И.А. Голутвин и др. Сообщение ОИЯИ, 10-3144, Дубна, 1967.
25. А.С. Гаврилов и др. Сообщение ОИЯИ, 13-3503, Дубна, 1968.
26. М.Х. Аникина и др. Сообщение ОИЯИ, Б1-13-6508, Дубна, 1970.
27. А.С. Барабаш и др. Препринт ОИЯИ, 10-3890, Дубна, 1968.
28. Г.Г. Воробьев и др. Сообщение ОИЯИ, Р1-4445, Дубна, 1969.
29. I.A.Golutvin et al, Report N95 6A, XIV-th Intern. Conf. on High Energy Physics (Vienna, 1968).
30. I.M.Ivanchenko et al, Report N4II on the Lund Intern. Conf. on Element. Part. (1969).
31. G.G.Vorobyov et al, Report on Stoni - bruk International Conference (1969).
32. V.K.Birulev et al, Physics Letters 36B, 452 (1972).
33. V.K.Birulev et al, JINR E-I-685I, Dubna, 1972.
34. К.Ф. Альбрехт и др. Препринт ОИЯИ, 1-7427, Дубна, 1973.
35. K.F.Albrecht et al, JINR EI-7353, Dubna, 1973.
36. K.F.Albrecht et al, Preprint KFKI 73-46, Budapest, 1973.
37. И.А. Голутвин. Труды международной школы по физике высоких энергий. Попрадске Плесо, ЧССР, 1967, стр.497-511.
38. И.А. Голутвин. Труды международной конф. по аппаратуре в физике высоких энергий, т.1, стр.185-216, Дубна, 1971.
39. S.J.Lindenbaum, Versailles Conf., Paper 50, Vol. III (1968).
40. A.Michelini, Intern. Conf. on Instrum. for High Energy Physics, Frascati (1973).
41. Б.А. Кулаков и др. Сообщение ОИЯИ, Р13-3132, Дубна, 1967.
42. I.A.Golutvin et al, Nuclear Instrum.& Meth. 67, 257-260 (1969).
43. T.V.Bespalova et al, Versailles Conf. Paper 39, Vol III (1968).

44. А.И. Голутвин и др. Сообщение ОИЯИ, 13-4720, стр. 319-330, Дубна, 1969.
45. А.И. Барановский и др. Сообщение ОИЯИ, Б-1-10-4643, Дубна, 1969.
46. А.С. Вовенко и др. Сообщение ОИЯИ, Р10-7460, Дубна, 1973.
47. А.С. Гаврилов и др. ПТЭ № 5 (1967), 151-156.
48. Г.Г. Воробьев и др. Труды международной конф. по аппаратуре в физике высоких энергий, том I, стр. 66-69, Дубна, 1973.
49. H.Faissner et al, Versailles Conf, Paper 16, Vol. III (1968).
50. А.С. Вовенко и др. Сообщение ОИЯИ, Б-2-1-5362, Дубна, 1970.
51. В.К. Бирулев и др. Сообщение ОИЯИ, 1-6665, Дубна, 1972.
52. Т.С. Григалашвили и др. Препринт ОИЯИ, 13-5273, Дубна, 1970.
53. А.С. Вовренко и др. Сообщение ОИЯИ Б-2-13-4544, Дубна, 1969.
54. В.К. Бирулев и др. Сообщение ОИЯИ Б2-13-4550, Дубна, 1970.
55. Д.Вестергомби и др. Сообщение ОИЯИ, Р-10-7284, Дубна, 1973.
56. Н.Н. Говорун и др. Сообщение ОИЯИ, Р5-5397, Дубна, 1970.
57. В.К. Бирулев и др. Сообщение ОИЯИ 1-7083, Дубна, 1973.
58. В.К. Бирулев и др. Сообщение ОИЯИ Р1-6878, Дубна, 1973.
59. M.J.Longo et al, UM - HE - 7I-5, University of Michigan, USA.



Основное содержание диссертации опубликовано в работах:

1. А.С. Гаврилов и др. ПТЭ, 1966, № 6, стр. 69-74.
2. И.А. Голутвин и др. ПТЭ, 1966, № 5, стр. 66-71.
3. I.V.Chuvilo et al, Nuclear Instr.& Meth. 54, 217-222 (1967).
4. Т.В. Беспалова и др. ПТЭ, 1969, № 1, стр. 40-43.
5. I.A.Golutvin et al, Nuclear Instr.& Meth. 57, 257-260, (1969).
6. T.V.Bespalova et al, Versailles Conference, Paper 39, Vol.III  
La Documentation Francaise, Paris (1968).
7. Т.В. Беспалова и др. Авторское свидетельство № 269214,  
Бюллетень изобретений №15 (1970).
8. М.Х. Аникина и др. Препринт ОИЯИ 13-4123, Дубна, 1968.
9. С.Г. Базиладзе и др. Сообщение ОИЯИ, P1-5361, Дубна, 1970.
10. В.К. Бирулев и др. Сообщение ОИЯИ 1-6665, Дубна, 1970.
11. В.К. Бирулев и др. Сообщение ОИЯИ 1-7083, Дубна, 1973.
12. В.К. Бирулев и др. Сообщение ОИЯИ P1-6878, Дубна, 1973.
13. А.С. Вовенко и др. Сообщение ОИЯИ P10-7460, Дубна, 1973.
14. Т.В. Беспалова и др. Сообщение ОИЯИ 13-4720, стр.385-389,  
Дубна, 1969.
15. И.А. Голутвин и др. Сообщение ОИЯИ 13-4720, стр.319-330,  
Дубна, 1969.
16. Г.Г. Воробьев и др. Сообщение ОИЯИ P1-4445, Дубна, 1969г.
17. И.А. Голутвин. Труды международной школы по физике высоких  
энергий. Попрадске Шлесо, ЧССР (1967), стр. 497-511.
18. И.А. Голутвин. Труды международной конференции по аппаратуре  
в физике высоких энергий, том I, стр. 185-216, Дубна,  
1971.

Рукопись поступила в издательский отдел  
14 февраля 1974 года.