

**СООБЩЕНИЯ  
ОБЪЕДИНЕННОГО  
ИНСТИТУТА  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА**

P10-83-759

М.А.Ананьева, М.Дикорато<sup>1</sup>, О.А.Займидорога,  
П.Лаурикайнен,<sup>2</sup> Л.К.Лыткин, Ф.Паломбо<sup>1</sup>, А.Сала<sup>1</sup>

**СИСТЕМА ОБРАБОТКИ ДАННЫХ  
МАГНИТНОГО ИСКРОВОГО СПЕКТРОМЕТРА  
(МИС ОИЯИ)**

Геометрия, поиск вершины взаимодействия,  
кинематика. Эффективность системы.

---

<sup>1</sup> Институт физики Миланского университета

<sup>2</sup> Департамент физики высоких энергий  
Хельсинского университета



Результаты распознавания треків в магнитном искровом спектрометре МИС ОИЯИ/1/ поступают на вход программы геометрического восстановления событий. Эта стадия системы обработки включает геометрический анализ события, поиск вершины взаимодействия и кинематический анализ, данные которых записываются на ленту суммарных результатов.

Восстановление координат искр в объеме спектрометра ведется с использованием коэффициентов линий реконструкций и оптических констант спектрометра<sup>/2/</sup>. Оптический луч проводится от плоскости пленки до верхней плоскости стекол искровых камер, затем находятся координаты пересечения светового луча с этой плоскостью, выбирается угол коррекции неоднородности стекол, которая улучшает пространственную точность  $z$ -координаты трека.

Для каждого трека осуществлялась коррекция систематического смещения положения искр в скрещенных магнитных и электрических полях. Величина этого смещения зависит от состава газовой смеси в камерах, от величины магнитного и очищающего электрического полей и от задержки высоковольтного импульса<sup>/3/</sup>. Смещение в соседних зазорах имеет противоположный знак. В хорошем приближении эффект смещения компенсируется при спаривании соседних точек, которое проводилось для треков, имеющих длину более восьми двойных зазоров. Для треков с меньшей длиной определялась величина сноса искр в каждом искровом зазоре камеры. С этой целью через три последовательно проходящих искры в зазорах одной чегности проводилась окружность и определялось расстояние от нее до искр в зазорах противоположной четности. Это расстояние принималось как удвоенная величина смещения для соседних искровых зазоров. Такая процедура производилась для всех комбинаций трех точек вдоль трека. Проверка величины сноса искр осуществлялась на треках, состоящих из спаренных точек. Расчет смещения выполнялся без спаривания точек. Сравнение координат спаренных и рассчитанных точек показало практически полную идентичность координат. Величина смещения искр в измеренных интервалах углов трека относительно зазора оказалась не зависящей от этих углов<sup>/3/</sup>.

Число восстановленных пространственных точек на треке соответствовало числу точек, найденных по измерениям на проекциях трека. В зависимости от способа нахождения точек треки классифицировались по трем категориям:

- а/ найденные по спаренным точкам,
- б/ по отдельным зазорам,
- в/ при нахождении точки использована интерполяция измерений на проекциях.

Допуски на браковку точек устанавливались в соответствии с категорией трека.

Для определения параметров трека использовалось положение его точек на вертикальной плоскости, где проекция трека аппроксимируется прямой. На этой проекции хорошо определяется излом трека. Точки, находившиеся за изломом, отбрасывались. Подгонка траектории по точкам с использованием карты трехкомпонентного магнитного поля осуществлялась в пространстве, а браковка точек - на проекциях. При этом браковались точки, имеющие разброс от плоской проекции траектории более чем на три стандартных отклонения или в том случае, если абсолютная величина отклонения превышала заданную. После отбрасывания точки фит повторялся снова и осуществлялся контроль качества восстановления трека. Трек браковался по ряду критериев: а/ меньше трех точек на одной проекции, б/ меньше трех восстановленных пространственных точек; в/ при превышении допуска на относительное изменение определяемых параметров трека; г/ если отклонение точек от фита превышает допуск. Параметры трека, компоненты импульса и элементы матрицы ошибок на выходе программы находились в ближайшей к мишени точке трека. Ошибка в положении трека по у-координате /в направлении магнитного отклонения/ зависит от среднего квадрата угла поворота трека

$$\sigma_y = a + b \overline{\phi^2} = a + b \cdot \frac{1}{\phi_2 - \phi_1} \int_{\phi_1}^{\phi_2} \phi^2 d\phi, \quad /1/$$

где  $\phi$  - угол поворота трека в магнитном поле,  $\phi_1, \phi_2$  - начальная и конечная его величины. Ошибка угла отклонения трека, определенная по фиту, составляет

$$\sigma_y = (0,025 \div 0,44 \overline{\phi^2}) \text{ см.} \quad /2/$$

Качество ошибок, их достоверность, а также качество параметров трека контролировались путем расчета "пула"<sup>1/4/</sup>, определяемого следующим образом:

$$s_p = \frac{p^B - p^{TP}}{\sqrt{\sigma_{p^{TP}}^2 - \sigma_{p^B}^2}}, \quad /3/$$

где  $p^B$  - параметр фита вершины,  $p^{TP}$  - параметр трека,  $\sigma_{p^{TP}}^2$  - дисперсия  $p^{TP}$ ,  $\sigma_{p^B}^2$  - дисперсия  $p^B$ . Средняя величина  $s_p$  для ошибок, подчиняющихся нормальному закону распределения, равна нулю, стандартное отклонение - единице.

Анализ результатов обработки показал, что 1,5% треков не удовлетворяют геометрическим критериям, в основном из-за малого числа точек. В программе геометрии предусмотрен поиск положения зазоров камер, координат пучкового трека и т.п.

Вершина события принимается как геометрическая точка, наиболее близкая ко всем его трекам, расстояние до которых определяется ошибками в параметрах трека. В поиске вершины события участвует также трек пучка, восстановленный по данным электронных счетчиков<sup>/5/</sup>.

Все треки путем решения уравнения движения частицы в магнитном поле экстраполируются к началу заданного объема поиска вершины. Итерационным путем минимизируются величины пулов  $\Delta x^\perp$  и  $\Delta y^\perp$ . Ошибки в параметрах треков в данной точке пересчитываются на каждой итерации, с учетом зависимости ошибки от угла поворота трека и от длины экстраполяции с помощью линеаризованной матрицы  $\hat{S}$ :

$$\hat{D}_1 = \hat{S} \hat{D}_0 \hat{S}^T, \quad /4/$$

где  $\hat{D}_1$  - матрица ошибок в экстраполированной точке,  $\hat{D}_0$  - исходная матрица ошибок,  $\hat{S}$  - линеаризованная матрица экстраполяции вектора параметров трека  $\hat{\theta} = \{1/p, \lambda, \sigma, x^\perp, y^\perp\}$ ;  $p$  - импульс трека,  $\lambda, \sigma$  - глубинный и азимутальный его углы,  $x^\perp, y^\perp$  - нормаль и бинормаль вершины к треку, определенные в его системе:

$$\hat{S} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ p\Delta\lambda & 1 & 0 & 0 & 0 \\ p\Delta\sigma & 0 & 1 & 0 & 0 \\ p\Delta x^\perp & -\Delta S & 0 & 1 & 0 \\ p\Delta y^\perp & 0 & \Delta S \cos\lambda & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad /5/$$

$\Delta S$  - длина экстраполяции.

Качество найденного пересечения треков определялось по величине пула и по абсолютному расстоянию между треками. Поиск вершины повторялся на меньшем числе треков, если вероятность найденного пересечения была меньше  $10^{-30}$ .

Так как падающий пучок и вторичные частицы регистрировались независимыми системами, то для нахождения коэффициентов стыковки двух систем координат для 15-20% событий каждого фильма поиск вершины осуществлялся со средними характеристиками пучка. После этого обработка производилась с реальными его характеристиками.

Типичными ошибками стыковки двух систем координат были:

$$\sigma_y = 0,37 \text{ мм}, \quad \sigma_z = 0,62 \text{ мм}, \quad \sigma_\lambda = 0,18 \text{ мрад}, \quad \sigma_\phi = 0,17 \text{ мрад}.$$

Отсутствующая на части событий информация о характеристиках частицы пучка, вызвавшей событие, дополнялась средними значениями параметров падающего пучка. При наличии нескольких треков пучка, найденных с помощью системы обработки<sup>/5/</sup>, программа поиска вершины выбирала лучший пучок. Качество события контролировалось тем, что суммарный продольный импульс треков, определенных в спектрометре, не отличался от продольного импульса пучка на величину больше заданной.

Кинематический фит события осуществлялся двумя методами: с помощью первого /программы GRIND/ для найденной вершины делался кинематический фит с матрицей ошибок, определенной в вершине. По другому методу найденная вершина рассматривалась как первое приближение. Новый поиск вершины события осуществлялся с одновременным удовлетворением кинематических и геометрических связей. Для истинных событий найденные этими методами параметры треков совпадали в пределах ошибок.

В процессах дифракции мезонов на ядерных мишенях импульс ядра отдачи мал и экспериментально неизмеряем. Так, для событий в дифракционной области на ядре Ве он составлял 2 МэВ/с, а для Рь - 20 кэВ/с. Импульс ядра отдачи определялся из кинематического фита с одной степенью свободы. Такой фит нечувствителен к величине массы ядра мишени. Кинематический фит события на каждом шаге поиска вершины позволил использовать дополнительно три геометрические связи для кластеров пересечения треков. Найденное таким образом положение вершины хорошо совпадает с прямыми измерениями положения мишени. Чтобы избежать потерь событий, нижний предел по вероятности кинематического фита выбирался  $10^{-15}$ .

На заключительной стадии обработки формируется лента суммарных результатов, содержащая информацию о пучке, данные электронных счетчиков, параметры каждого трека в вершине и их ошибки /23 слова на трек/, результаты кинематической подгонки. Каждое событие содержит ~ 200 машинных слов.

Распределение по вероятности кинематического фита представлено на рис.1. Неравномерность такого распределения обусловлена смещением оценок в матрице ошибок и негауссовым характером их распределения. Избыток событий сосредоточен в области вероятности меньше  $10^{-4}$ , где фиту удовлетворяют и фоновые события с большим разбалансом по импульсу. В области массы системы частиц из трех пионов  $\sim 1$  ГэВ/с<sup>2</sup> ошибка составляет 26 МэВ/с<sup>2</sup>, а для 2 ГэВ/с<sup>2</sup> - 34 МэВ/с<sup>2</sup>. Разрешение по 4-мерной передаче

в области малых масс определено на основе анализа  $\tau$ -распадов  $K^+$ -мезонов. В результате обработки данных  $K$ -мезонной экспозиции было найдено 1045 событий, соответствующих распаду падающего  $K$ -мезона на лету. По критериям отбора

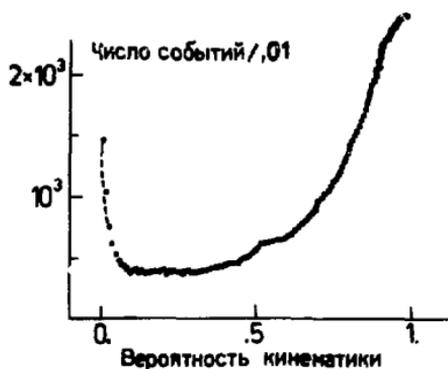


Рис.1. Распределение событий по вероятности кинематического фита.

прошло 57 распадов с  $\Delta p < 0,8$  ГэВ. Измеренная масса К-мезона оказалась равной  $494,1 \pm 7$  МэВ/с<sup>2</sup>, а разрешение по поперечной передаче -  $\Delta q_{\perp} = 17$  МэВ/с.

Для определения эффективности системы обработки данные, представленные на ленте суммарных результатов, сравнивались с результатами просмотра, во время которого регистрировались число треков, их знак, длина, видимая вершина взаимодействия, присутствие трека пучка в кадре.

При наличии дополнительного пучкового или  $\delta$ -электронного трека фон может попадать в искомый класс событий. Неэффективность системы обработки в основном была обусловлена потерей треков, неопределенностью вершины взаимодействия, а также переидентификацией события в другой класс.

Эффективность системы обработки определена для всего экспериментального материала по группам фильмов в каждом сеансе на ускорителе. Средняя эффективность полностью автоматической обработки для трехлучевых событий составила  $0,916 \pm 0,015$ , для пятилучевых -  $0,62 \pm 0,03$ .

Сравнение данных просмотра с результатами обработки позволило изучить вклад фона в исследуемый класс событий вследствие потерь трека системой измерений и обработки. Было найдено, что большая часть таких событий имеет вероятность кинематического фита меньше 1%. Часть событий была обработана с массой протона для положительной частицы и с массой К-мезона для одной и двух частиц. При этом сравнивались недостающая масса, вершинные и кинематические пулы и вероятность события по  $\chi^2$ -критерию. При вероятности кинематики для событий с протонной массой больше 14%, двух К-мезонов - больше 22% и одного К-мезона больше 65%, эти события полностью отделяются от исходных.

Критериями отбора 3-мезонных событий для дальнейшего анализа служили следующие величины: вероятность кинематики - больше 1%, положение вершины событий в интервале положения мишени -

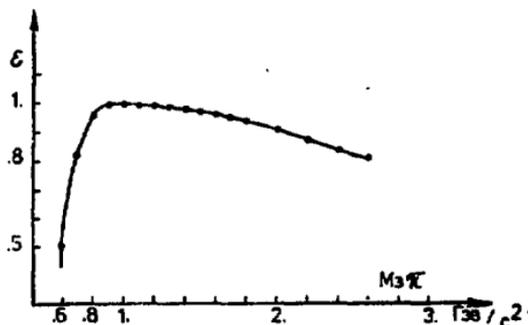


Рис.2. Кривая геометрической эффективности спектрометра МИС ОИЯИ в зависимости от  $M_{\pi}$ .

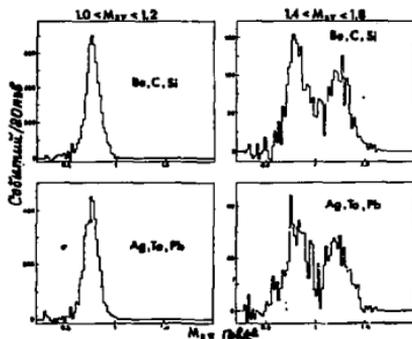


Рис.3. Распределение событий с тремя пионами в дифракционной области по массе двух пионов.

$\pm 8\sigma$  ( $\pm 12$  см), разность продольных импульсов пучка и трех мезонов - не более 2,5 ГэВ. Полное количество измеренных событий составило 753539. При этом 152227 - трех  $\pi$ -мезонных, удовлетворяющих критериям отбора - 118287, пяти  $\pi$ -мезонных событий - 14986.

На рис.2 приведена кривая геометрической эффективности спектрометра в зависимости от  $M_{\pi\pi}$ . На рис.3 - спектр дипионных масс, на котором виден основной вклад от образования  $\rho$ -мезона и  $f$ -мезона. Импульсные спектры частиц показаны на рис.4, угловые характеристики системы трех  $\pi$ -мезонов - на рис.5.

Сравнение качества измерений событий и результатов обработки в двух научных центрах /Болонье и Дубне/ позволило выработать критерии отбора событий для физического анализа. Результат сравнения угловых и импульсных характеристик частиц после работы программ геометрической реконструкции события на основании данных измерений в обоих центрах позволил установить, что в параметрах треков частиц отсутствуют систематические смещения, разность параметров треков для двух измерений имеет распределения, близкие к нормальному со стандартным отклонением, сопоставимым

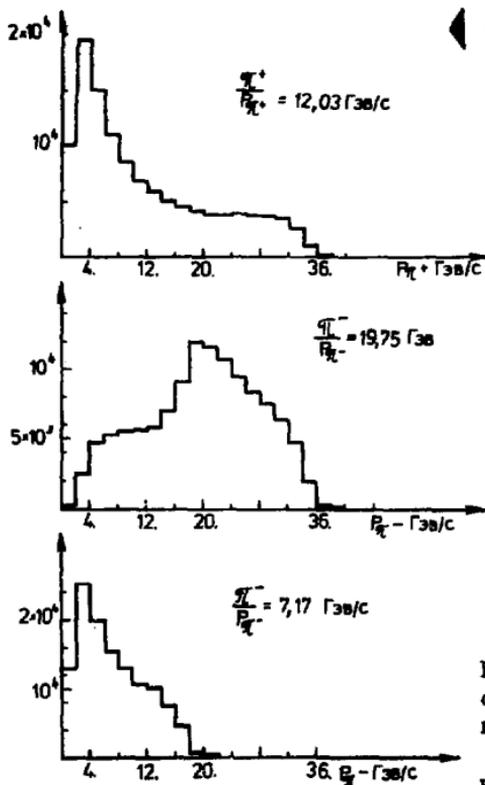


Рис.4. Импульсные спектры трех пионных событий.

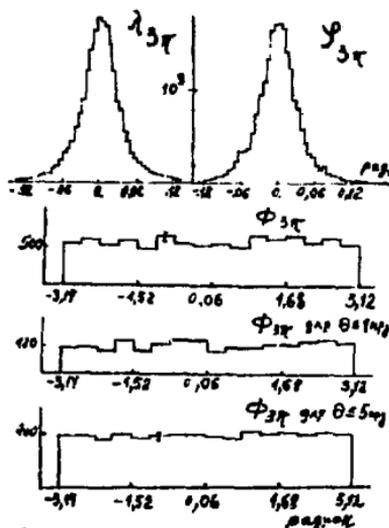


Рис.5. Распределения по углам системы из трех пионов.  $\lambda$ ,  $\phi$  - глубинный и азимутальный углы;  $\Phi$  - угол в плоскости, перпендикулярной пучку.

с установленными точностями измерения и величиной ошибок параметров треков. Обработка информации о падающем пучке сделана по подобным, но независимым системам. Анализ показал, что общая доля частиц пучка, имеющих близкие характеристики, составляет ~ 70%. Засорение класса событий с измеренными характеристиками пучка событиями со средними характеристиками было невелико в обоих центрах и составило 2%. Анализ угловых ошибок показал, что в 5,5% случаев для событий с измеренными характеристиками пучка зарегистрированы ошибки в угловых характеристиках, сопоставимых по величине с угловой расходимостью пучка.

Созданная система обработки снимков с МИС ОИЯИ позволила получить ценные физические результаты<sup>/6/</sup>.

Авторы выражают благодарность Д.Беллини, И.М.Василевскому, Г.Веньи, В.В.Вишнякову, Н.Д.Дикусару, Ю.И.Иваньшину, Э.Кюттала, П.Луптаку, А.Ф.Писареву, С.Сала, А.А.Тяпкину за обсуждение и содействие в работе, Р.И.Заплатиной, А.Ондрейчиковой - за огромный труд по просмотру снимков.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ананьева М.А. и др. ОИЯИ, 10-82-232, Дубна, 1982.
2. Займидорога О.А. и др. ОИЯИ, 10-82-227, Дубна, 1982.
3. Журавик Л. и др. ОИЯИ, P13-11016, Дубна, 1977.
4. Mühlemann P., Wilson J.D. CERN, 70-17, Geneva, 1970.
5. Вишняков В.В. и др. ОИЯИ, 10-82-391, Дубна, 1982.
6. Bellini D. et al. Nucl.Phys., 1982, B199, No.1.

## НЕТ ЛИ ПРОБЕЛОВ В ВАШЕЙ БИБЛИОТЕКЕ?

Вы можете получить по почте перечисленные ниже книги,  
если они не были заказаны ранее.

	Труды VI Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1978 /2 тома/	7 р. 40 к.
	Труды VII Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц, Дубна, 1980 /2 тома/	8 р. 00 к.
D11-80-13	Труды рабочего совещания по системам и методам аналитических вычислений на ЭВМ и их применению в теоретической физике, Дубна, 1979	3 р. 50 к.
D4-80-271	Труды Международной конференции по проблемам нескольких тел в ядерной физике. Дубна, 1979.	3 р. 00 к.
D4-80-385	Труды Международной школы по структуре ядра. Алушта, 1980.	5 р. 00 к.
D2-81-543	Труды VI Международного совещания по проблемам квантовой теории поля. Алушта, 1981	2 р. 50 к.
D10,11-81-622	Труды Международного совещания по проблемам математического моделирования в ядерно-физических исследованиях. Дубна, 1980	2 р. 50 к.
D1,2-81-728	Труды VI Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1981.	3 р. 60 к.
D17-81-758	Труды II Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1981.	5 р. 40 к.
D1,2-82-27	Труды Международного симпозиума по поляризационным явлениям в физике высоких энергий. Дубна, 1981.	3 р. 20 к.
P18-82-117	Труды IV совещания по использованию новых ядерно-физических методов для решения научно-технических и народнохозяйственных задач. Дубна, 1981.	3 р. 80 к.
D4-82-568	Труды совещания по исследованиям в области релятивистской ядерной физики. Дубна, 1982.	1 р. 75 к.
D9-82-664	Труды совещания по коллективным методам ускорения. Дубна, 1982.	3 р. 30 к.
D3,4-82-704	Труды IV Международной школы по нейтринной физике. Дубна, 1982.	5 р. 00 к.
D2,4-83-179	Труды V Международной школы молодых ученых по физике высоких энергий. Дубна, 1982.	4 р. 80 к.
	Труды VIII Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Протвино, 1982 /2 тома/	11 р. 40 к.
D11-83-511	Труды совещания по системам и методам аналитических вычислений на ЭВМ и их применению в теоретической физике. Дубна, 1982.	2 р. 50 к.
D7-83-644	Труды Международной школы-семинара по физике тяжелых ионов. Алушта, 1983.	6 р. 55 к.
D2,13-83-689	Труды рабочего совещания по проблемам малочисления и детектирования гравитационных волн. Дубна, 1983.	2 р. 00 к.

Заказы на упомянутые книги могут быть направлены по адресу:  
101000 Москва, Главпочтамт, п/я 79  
Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований

Ананьева М.А. и др.

P10-83-759

Система обработки данных магнитного искрового спектрометра /МИС ОИЯИ/.  
Геометрия, поиск вершины взаимодействия, кинематика. Эффективность системы

Программы геометрического восстановления событий, кинематического их анализа являются частью автоматической системы обработки данных магнитного искрового спектрометра /МИС ОИЯИ/. При восстановлении пространственной картины учитываются дисторсии стекол, изломы треков за счет перерасеяния частиц в камерах. Одновременно ведутся кинематическая подгонка и поиск вершины взаимодействия, что существенно уменьшает ошибки в определении углов треков при экстраполяции их в вершину. Эффективность автоматической обработки трехтрековых событий составила 92%, пятитрековых - 62%. Точность восстановления событий по поперечному импульсу - 17 МэВ/с, по массе трехпионных событий - 26-34 МэВ/с<sup>2</sup>. Это позволило получить принципиально новые результаты в исследовании дифракции пионов на ядрах.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1983

Ananjeva M.A. et al.

P10-83-759

Data Processing System of Magnetic Spark Spectrometer (MIS, JINR).  
Geometry, Search for Interaction Vertex, Kinematics. System Efficiency

At reconstructing space picture distortions of spark chamber glasses are taken into account, as well as track fractures during particle rescattering in chambers. Simultaneously fit is made for kinematics and vertex, which essentially decreases track angular errors at their extrapolating into vertex. For 92% efficiency of automatic processing for three-track events, 62% for five-track events the accuracy over transverse momentum equaled 17 MeV/c, over the mass of three-pion events - 26-34 MeV/c<sup>2</sup>. A high accuracy of event reconstruction permitted to obtain principally new results on pion diffraction on nuclei.

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

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research, Dubna 1983

Перевод О.С. Виноградовой.

12 коп.

Редактор Б.Б. Колесова. Макет Н.А. Киселевой.  
Набор Н.П. Боголюбовой, И.Г. Андреевой.

Подписано в печать 6.12.83.  
Формат 60x90/16. Офсетная печать. Уч.-изд. листов 0,79.  
Тираж 435. Заказ 33869.

Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований.  
Дубна Московской области.