

**СООБЩЕНИЯ  
ОБЪЕДИНЕННОГО  
ИНСТИТУТА  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА**

К-174

P10-87-895

Л.П.Калмыкова, В.М.Котов

**ПРОГРАММА ФИЛЬТРАЦИИ  
ДАНЫХ СКАНИРОВАНИЯ СНИМКОВ  
СПЕКТРОМЕТРА РИСК  
НА СПИРАЛЬНОМ ИЗМЕРИТЕЛЕ**

**1987**

## ВВЕДЕНИЕ

Выделение точек следов заряженных частиц на снимках трековых камер относится к проблеме распознавания образов и достаточно полно исследовано для разных способов сканирования. Спиральная развертка особенно эффективна при сканировании узкой щелевой апертурой треков события при совмещении вершины события с полюсом развертки<sup>/1/</sup>.

События на снимках, полученных в экспериментах на большом пятиметровом спектрометре РИСК с внутренней ядерной мишенью, не имеют явно выраженной вершины, но необходимость быстрой обработки большого объема данных ( $\sim 10^6$  снимков) с этой установки определила задачу применения для обработки этих данных сканирующей системы "Спиральный измеритель" (СИ).

Проведенный сравнительный анализ результатов измерения событий с установки РИСК<sup>/2/</sup> на ПУОСах и СИ показал, что точностные характеристики СИ соответствуют требованиям на обработку снимков стримерных камер. Однако необходимость высокой скорости измерения потребовала разработки программы фильтрации, учитывающей специфику стримерных камер и обеспечивающей высокую эффективность в выделении следов событий<sup>/3/</sup>.

Отсутствие на снимках видимой точки взаимодействия исключает возможность непосредственного применения традиционных алгоритмов фильтрации данных, получаемых при спиральном сканировании снимков пузырьковых камер, широкое применение которых основывается на их высокой эффективности при совмещении полюса развертки с вершиной события на снимке.

В работе будут рассмотрены особенности алгоритмов фильтрации и их программной реализации для конкретной задачи спирального сканирования снимков спектрометра РИСК.

Особое внимание уделено процедуре слежения по треку в условиях больших смещений начала развертки от вершины события и использованию в алгоритмах выбора точек трека данных измерений, полученных в декартовой системе измерительного стола ХУ.

Анализируется опыт работы с программой, приведены результаты настройки и обработки по программе фильтрации событий эксперимента по исследованию адронного сопровождения частиц с большим поперечным импульсом ( $P_{\perp}$ ) спектрометра РИСК на базе пятиметровой стримерной камеры.

## АЛГОРИТМ ИЗМЕРЕНИЯ НА СИ СНИМКОВ РИСК И ФИЛЬТРАЦИИ ДАННЫХ СКАНИРОВАНИЯ

Спектрометр РИСК имеет сложную многообъективную систему регистрации событий, формат снимков которой приведен на рис. 1. Там же показаны положения полюса развертки для каждой из восьми проекций (1а) и график изменения скорости перемещения сканирующей щели по радиусу для проекций 1-2 (1б), 3-8 (1в).

Для измерения треков по всему объему спектрометра требуется проводить сканирование каждой проекции. И если длина направляющих

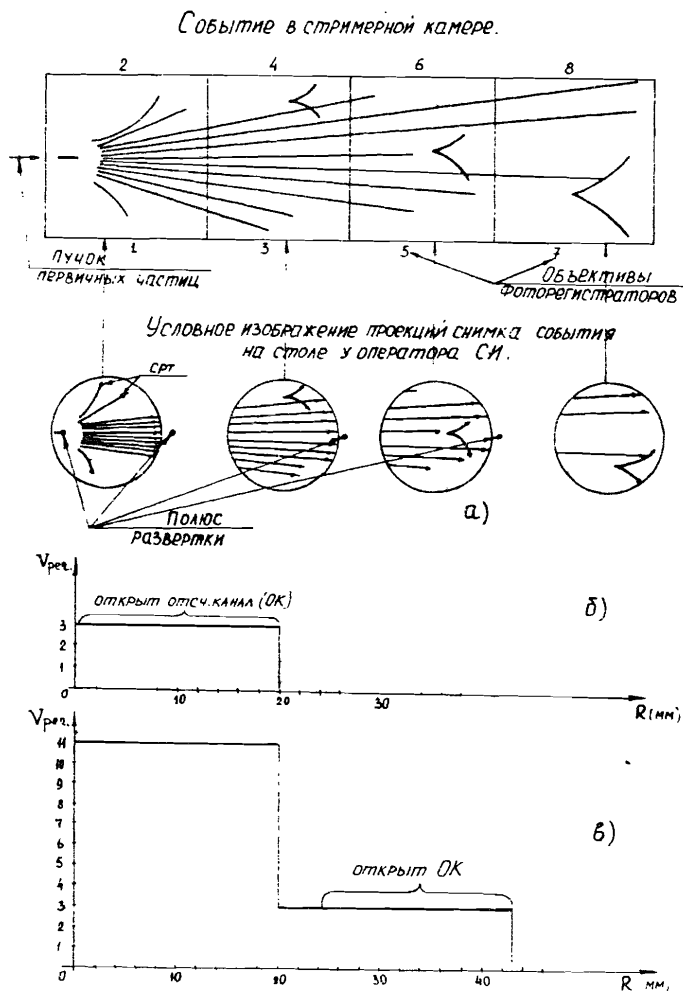


Рис. 1.

измерительного стола ХУ ( $L = 200$  мм) позволяет измерить реперные кресты хотя бы соседних проекций 1-3, 2-4, 5-7 и 6-8 с одного постановления, то сканирование треков в полярной системе координат ( $R_{max} = 57$  мм) необходимо делать для каждой проекции отдельно. Кроме того, событие в нашем случае может иметь до 13 вершин и точек конверсии  $\gamma$ -квантов при высокой множественности (до 64) вторичных треков. Алгоритм измерений, выбор положения полюса развертки для каждой проекции, а значит, и структура данных, получаемых при сканировании, а также характер и форма представления данных после оцифровки в ЭВМ существенно отличаются от данных при сканировании снимков, где полюс развертки совмещен с вершиной события.

А так как структура данных во многом определяет алгоритмы и способы их программной реализации, то вопрос о целесообразности применения для этой задачи СИ, имеющего спиральную развертку, в значительной степени определялся возможностью создания эффективной программы фильтрации. Следует также отметить, что точность оцифровки видеосигналов треков в отсчетном канале СИ накладывала, в свою очередь, ограничения как на выбор положения полюса развертки на снимке, так и на последовательность действий оператора при измерении реперных крестов и особых точек на треках события в системе ХУ измерительного стола СИ.

Процесс обработки снимков традиционный<sup>4,5,6/</sup> и состоит из трех основных этапов: гистограммирование для поиска кандидатов треков, прослеживание и вычисление "мастер"-точек с переходом затем в единую с реперными крестами систему координат для передачи данных измерения в программу геометрической реконструкции<sup>8/</sup>. Для калибровки и вычисления параметров перехода из полярной в декартову систему СИ использовалась программа КАЛИБР<sup>7/</sup>, разработанная в ЛВТА ОИЯИ.

Отсутствие такой "информативной" точки, как вершина события, единственной точки, общей для всех треков, заставило проводить гистограммирование методом поворотных гистограмм<sup>4,6/</sup> от точек (СРТ) на концах треков, которые оператор СИ ставит как "метки" треков, необходимые в дальнейшем для их идентификации в программе геометрической реконструкции. Эта особенность обработки снимков РИСК вызвана высокой множественностью исследуемых событий и отсутствием автоматической процедуры TRACK MATCH<sup>8/</sup>. Однако поиск кандидатов в треки осложняется тем, что некоторые следы на снимках РИСК имеют сложную форму с искажениями из-за дисторсий, вносимых электронно-оптическими преобразователями (ЭОП) при фотографировании<sup>2/</sup>.

### ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕДУРЫ СЛЕЖЕНИЯ ПО ТРЕКУ

Уравнение трека в полярных координатах имеет вид:

$$\theta = \theta_0 + \alpha \cdot R + \beta/R + \gamma \cdot R^3. \quad (1)$$

Величина параметра  $\beta$  является метой близости данного трека к полюсу спирали, а значит, при совмещении полюса с вершиной события, может использоваться в качестве критерия на принадлежность к измеряемому событию<sup>4,5,6/</sup>. Для событий на снимках РИСК такой возможностью воспользоваться нельзя и поэтому в программе фильтрации параметр  $\beta$  только помогает не потерять точки трека при прослеживании его в направлении полюса развертки и избавиться от фоновых точек из-за царапин на пленке, следов вспышек в камере и т.п. Следует отметить, что при сканировании из вершины события величина  $\beta$  мала ( $\sim 10^2$  мм), и при фитировании трека по формуле (1) оказывает влияние только на начальных витках спирали до радиуса в несколько мм. В нашем случае получаемые значения  $\beta$  могут достигать величины на два порядка больше. И хотя установка РИСК имеет достаточно жесткий триггер, из-за чего на снимке практически нет следов частиц, не вступивших в реакцию, проблема разделения близко идущих треков и связанная с этим точность вычисления параметров в уравнении трека (1) обязывают выполнять в полном объеме процедуру слежения по треку от точек СРТ на концах треков (рис. 1). Причем, при фитировании трека уравнением (1) коэффициент соотношения между  $\alpha$  и  $\gamma$  не фиксируется, а вычисляется. Это позволяет, так же, как и в случае фильтрации событий с камеры Мирабель<sup>5/</sup>, получать более широкий класс кривых для фитирования, что оказывается очень полезным и для треков событий РИСК. Но даже этого, в особо сложных случаях, оказывается недостаточно, и оператору СИ приходится ставить дополнительные точки на начальном участке трека измеряемой проекции.

Этап прослеживания вдоль трека после гистограммирования проводится с учетом особенностей оцифровки следов трека в виде стримиров, которые к тому же могут сливаться в один темный объект (блоб). В отличие от пузырьковых камер, у которых изображения точек треков на снимках имеют контрастные границы, blobs имеют размытые края. Средний размер блока на пленке составляет 80 мкм при среднеквадратическом разбросе 28 мкм. Если учесть еще изменения модуляции ширины видеоимпульса трека из-за переменного вдоль радиуса угла наклона сканирующей щели по отношению к треку, то выделение точек трека, наилучшим образом отображающих траекторию движения частицы по всей длине следа на проекции, потребовало жесткого контроля за изменением величин параметров фитирования по кривой, определяемой уравнением (1).

Начальные значения параметров  $\theta_0$ ,  $\alpha$ ,  $\beta$  определяются по данным, полученным на этапе гистограммирования, а затем уточняются в процессе слежения по треку с последовательным анализом критериев отбора точек, включаемых в трек. Высокие требования к точности измерений ( $\sim 3\text{--}5$  мкм в плоскости снимка) диктуют необходимость исключения фоновых точек от соседних близко расположенных треков. Учет этого требования в алгоритме фильтрации потребовал ввода итерационных процедур отбора, а окончательное решение о выборе трека из несколь-

ких близких по параметрам определяется по величине  $Q$ , характеризующей качество данного кандидата в треки, которая зависит от величины разброса точек ( $\sigma$ ), близости траектории данного трека к точке, поставленной оператором в качестве метки ( $D$ ), а также от того, как далеко трек был прослежен в направлении вершины ( $R$ ).

$$\theta = - \left( \frac{w_1}{D} + \frac{w_2}{\sigma} + \frac{w_3}{R^2} \right), \text{ где}$$

$w_1, w_2, w_3$  — веса, соответственно равные 1,0; 0,5; 0,1.

Данные спирального сканирования и результаты фильтрации треков одной проекции спектрометра РИСК (рис. 2) представлены в прямо-

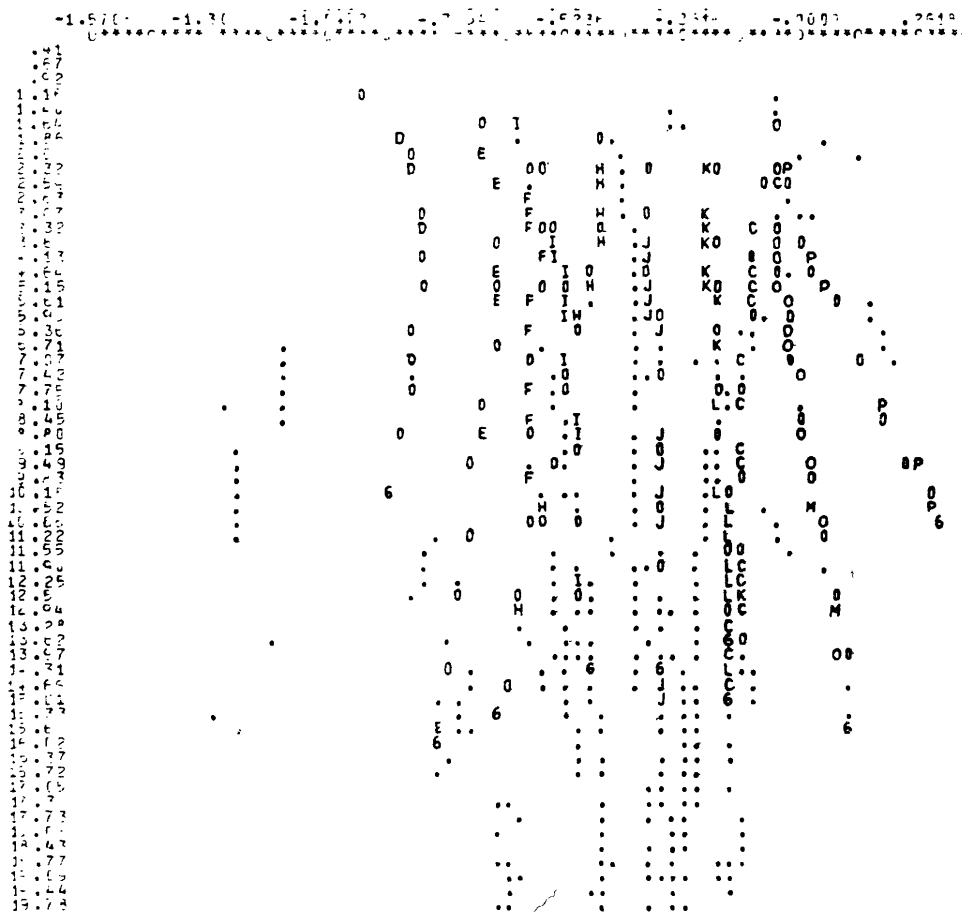


Рис. 2.

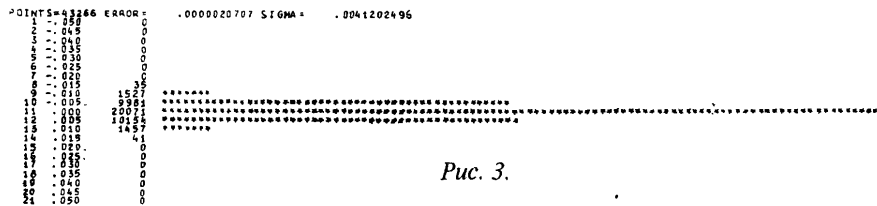


Рис. 3.

угольной системе координат, горизонтальная ось которой соответствует угловой, а вертикальная — радиальной координате спирали.

На рис. 3 представлена гистограмма распределения величины разброса точек в полярной системе координат по отношению к аппроксимирующей кривой по формуле (1). Полученная при этом эффективность работы программы фильтрации только по данным сканирования составляет ~77%. Повышение эффективности до ~94% достигается измерением треков в целом в ХУ-системе координат.

### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ХУ ТОЧЕК В ПРОГРАММЕ ФИЛЬТРАЦИИ

Алгоритм выбора массива точек, относящихся к данному треку, должен обеспечивать выделение следов релятивистских частиц, имеющих малую контрастность на снимке, что приводит к пропускам в оцифровке отдельных участков трека. Такой же эффект может возникать из-за большой кривизны следов отдельных частиц, например, для  $\gamma$ -квантов.

Дополнительная информация в виде точек треков в ХУ системе координат, вводимая оператором, используется в программе прежде всего для того, чтобы найти точки данного трека среди данных, полученных в процессе сканирования. Домеры отдельных точек треков должны повышать эффективность обработки, но не ухудшать точность измерения, которая в автоматическом режиме в 1,5 раза выше.

Реализация этой идеи в программе в алгоритмическом плане заключается в том, что степень использования данных, измеренных в ХУ системе координат, в формировании выходных данных увеличивалась поэтапно от минимальной до максимальной. Для гистограммирования использовалась одна точка — метка трека. При вычислении "дороги" в случае отсутствия кандидата трека после гистограммирования, использовались три или более точек, поставленных оператором. Наконец, если и в этом случае не находились точки трека среди данных сканирования, то на выход программы передавалось от шести до двадцати пяти точек на трек, измеренных оператором.

### РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПАМЯТИ ПРОГРАММЫ ФИЛЬТРАЦИИ

Измерительный процесс в общей обработке событий является самым трудоемким, и для сложных событий спектрометра РИСК су-

щественную роль приобретают возможности перемеров проекций, вершин и домеров отдельных треков. В связи с этим структура входных и выходных данных должна быть организована таким образом, чтобы максимально учитывались такие особенности измерения снимков.

По сравнению с программой фильтрации обработки событий с пузырьковых камер объем памяти, требуемой для хранения данных в программе фильтрации событий спектрометра РИСК, значительно вырос из-за увеличения общего числа измеряемых проекций, вершин и количества треков. Однако мы воспользовались опытом организации структуры хранения входных данных и промежуточных результатов фильтрации, предложенной при обработке вершинных событий<sup>16/</sup>. В эту структуру введен дополнительный массив данных точек, измеренных в декартовой системе измерительного стола ХУ. Следует отметить, что входные данные можно не упорядочивать по номерам вершин и проекций, т.е. они могут поступать в произвольной последовательности.

В связи с этим, а также из-за большого количества обрабатываемых вершин и проекций, надо было решить проблему контроля и упаковки выходных данных (результатов фильтрации), чтобы по окончании обработки события можно было осуществить сборку его стереопроjections в формате, требуемом программами геометрической реконструкции. Эта проблема решена следующим образом: результаты фильтрации каждой проекции (банк проекции) помещаются в массив и сохраняются в нем до конца обработки исходного события. Каждый банк проекции имеет свой указатель адреса начала банка. Для хранения указателей используется двумерный массив, где первый индекс — порядковый номер проекции события, а второй — номер трека проекции. Если указатель содержит адрес, равный нулю, это означает, что исходный трек данной проекции отсутствует. Количество банков проекций соответствует количеству отфильтрованных проекций события. Банк проекции содержит следующую информацию:

- количество слов в банке;
- номер трека на проекции;
- данные (координаты трека).

Такая организация хранения выходных данных о событии предоставляет достаточную свободу в поступлении входных данных для обработки и позволяет удобно организовать программу сборки события с последующей записью этих данных на магнитную ленту или диск.

В программе фильтрации предусмотрен контроль выходной информации. Ввиду того, что все треки имеют специальные метки, число треков контролируется по топологии. Не допускаются к сборке одиночные проекции, а также треки, отсутствующие на одной из стереопроjections. Все нарушения требований контроля сборки сопровождаются диагностикой.

## НАСТРОЙКА ПРОГРАММЫ

В ходе опытной эксплуатации проводилась настройка программы для событий эксперимента с большим поперечным импульсом ( $P_{\perp}$ ). Были подобраны пороговые константы для гистограммирования и прослеживания, максимальная и минимальная величины допустимых разбросов точек трека при фильтрации, оценены и введены критерии, определяющие качество трека. Выбор этих величин в значительной степени и определил эффективность и скорость процесса фильтрации. Основные величины параметров приведены в табл. 1.

Таблица 1

Среднеквадратичный разброс точек трека при фильтрации ( $\sigma$ )	$\pm 50$ мкм
Среднеквадратичный разброс точек трека при оценке качества ( $\sigma$ )	$\pm 20$ мкм
Функция пропуска	5 витков
Расстояние по дуге от трека до СРТ	$\pm 70$ мкм
Максимальное значение кривизны трека	0,35 рад
Максимально допустимое отношение при прослеживании ( $\sigma_{i+1}/\sigma_i$ )	1,5

Интегральная оценка качества настройки программы осуществлялась по анализу гистограмм распределения данных сканирования, отобранных при фитировании, степени различных отказов, причин потерь треков события и т.д.

## ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОГРАММЫ

Программа фильтрации рассчитана на обработку восьми проекций, тринадцати вершин и шестидесяти четырех вторичных треков события РИСК. Написана программа на Фортране, ее вариант для ЭВМ CDC-6500 занимает около 40К слов памяти.

Скорость обработки с учетом прослеживания трека в полярных координатах и использованием точек, измеренных в ХУ системе координат, составляет в среднем 3600 стереотреков в час.

Рабочая эксплуатация программы начата в 1986 году, на август 1987 г. по ней обработано около 80 тысяч стереоснимков.

Таблица 2

Год	Всего треков	Отслежены в R $\theta$ (треков)	Переданы в ХУ (треков)	Потери треков
1985	8584	5445 (63,4%)	3036 (35,4%)	103 (1,2%)
1986	31335	22164 (70,8%)	6769 (21,6%)	2402 (7,6%)
август 1987	39598	30632 (77,4%)	6582 (16,6)	2384 (6%)
Итого	79517	58241	16387	4889

В табл. 2 представлены данные обработки по программе фильтрации событий со спектрометра РИСК, а в табл. 3 — результаты обработки части этих событий по программе геометрической реконструкции.

Таблица 3

№ пленок	Выход фильтра (треки)	Выход геометрии (треки прошли сшивку)	Отношение прохождения треков к выходу геометрии
RUN 504/2	1055	840	80%
RUN 504/5	2221	1886	85%

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты обработки ~80 тысяч стереотреков спектрометра РИСК по данной программе дают основание говорить о том, что в ЛВТА ОИЯИ создана программа фильтрации данных сканирования снимков стримерных камер, и характеристики программы удовлетворяют требованиям физического эксперимента по измерению треков событий спектрометра РИСК.

Дальнейшее развитие системы обработки снимков РИСК на СИ определяет необходимость введения интерактивного режима работы на линии с большой ЭВМ ЕС-1060. Этот режим позволит исключить избыточные измерения в ХУ системе координат и повысить на 20-30% производительность системы в целом.

В НЭООФИ ЛВТА в 1986 г. проведены работы по созданию канала связи СИ и ЕС-1060<sup>9/</sup>. В настоящее время завершена разработка и начата отладка программы фильтрации для интерактивного режима, результаты работы которой будут описаны после ее запуска в режиме реальных измерений.

В заключение авторы выражают благодарность В.С.Ямбуренко, А.Е.Селиванову за полезные обсуждения, а также группе измерений за проведение методических измерений и помощь в отладке.

Авторы признательны Г.А.Шелкову, Ю.П.Мерекову и всей группе РИСК ЛЯП за участие в дискуссиях и внимание к этой работе, и выражают благодарность В.И.Морозу за поддержку.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Котов В.М. и др. ОИЯИ, 10-7939, Дубна, 1974.
2. Бом Г., Бетхер Г., Гальди И. – ЯФ, 1982, т.39, вып.3, с.700.
3. Калмыкова Л.П. и др. ОИЯИ, P10-86-623, Дубна, 1986.
4. Pichon G. In: Proc. European Spiral Reader Symp., Stockholm, 1972, CERN, 72-16, p.171.
5. Закамский Л.Л. и др. Препринт ИФВЭ, ОЭА 78-126, Серпухов, 1978.
6. Нергуй Б., Ососков Г.А. ОИЯИ, P10-83-612, Дубна, 1983.
7. Мороз В.И., Ососков Г.А. ОИЯИ, P10-84-791, Дубна, 1984.
8. HYDRA System Library, CERN, 1974, HYDRA Application Library, CERN, 1974.
9. Беляев А.В. и др. ОИЯИ, P10-86-624, Дубна, 1986.

Рукопись поступила в издательский отдел  
22 декабря 1987 года.

#### ЕСТЬ ЛИ ПРОБЕЛОВ В ВАШЕЙ БИБЛИОТЕКЕ?

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

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 излучения и детектирования гравитационных волн. Дубна, 1983.	2 р.00 к.
D13-84-63	Труды XI Международного симпозиума по ядерной электронике. Братислава, Чехословакия, 1983.	4 р.50 к.
D2-84-366	Труды 7 Международного совещания по проблемам квантовой теории поля. Алушта, 1984.	4 р.30 к.
D1,2-84-599	Труды VII Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1984.	5 р.50 к.
D10,11-84-818	Труды V Международного совещания по проблемам математического моделирования, программирования и математическим методам решения физических задач. Дубна, 1983.	3 р.50 к.
D17-84-850	Труды III Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1984. /2 тома/	7 р.75 к.
D11-85-791	Труды Международного совещания по аналитическим вычислениям на ЭВМ и их применению в теоретической физике. Дубна, 1985.	4 р.00 к.
D13-85-793	Труды XII Международного симпозиума по ядерной электронике. Дубна, 1985.	4 р.80 к.
D4-85-851	Труды Международной школы по структуре ядра. Алушта, 1985.	3 р.75 к.
D3,4,17-86-747	Труды V Международной школы по нейтронной физике. Алушта, 1986.	4 р.50 к.
	Труды IX Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1984. /2 тома/	13 р.50 к.
D1,2-86-668	Труды VIII Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1986. /2 тома/	7 р.35 к.
D9-87-105	Труды X Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1986. /2 тома/	13 р.45 к.
D7-87-68	Труды Международной школы-семинара по физике тяжелых ионов. Дубна, 1986	7 р.10 к.
D2-87-123	Труды Совещания "Ренормгруппа-86". Дубна, 1986	4 р.45 к.

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

**ТЕМАТИЧЕСКИЕ КАТЕГОРИИ ПУБЛИКАЦИЙ  
ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ**

Индекс	Тематика
1.	Экспериментальная физика высоких энергий
2.	Теоретическая физика высоких энергий
3.	Экспериментальная нейтронная физика
4.	Теоретическая физика низких энергий
5.	Математика
6.	Ядерная спектроскопия и радиохимия
7.	Физика тяжелых ионов
8.	Криогеника
9.	Ускорители
10.	Автоматизация обработки экспериментальных данных
11.	Вычислительная математика и техника
12.	Химия
13.	Техника физического эксперимента
14.	Исследования твердых тел и жидкостей ядерными методами
15.	Экспериментальная физика ядерных реакций при низких энергиях
16.	Дозиметрия и физика защиты
17.	Теория конденсированного состояния
18.	Использование результатов и методов фундаментальных физических исследований в смежных областях науки и техники
19.	Биофизика

Калмыкова Л.П., Котов В.М. P10-87-895  
Программа фильтрации данных сканирования снимков спектрометра РИСК на спиральном измерителе

Работа содержит описание программы фильтрации, предназначенной для начальной обработки данных, полученных с помощью спирального измерителя при сканировании событий эксперимента по исследованию адронного сопровождения частиц с большим поперечным импульсом ( $P_{\perp}$ ) спектрометра РИСК на базе пятиметровой стримерной камеры. Рассмотрены особенности алгоритмов фильтрации и их программной реализации. Предложена процедура слежения по треку в условиях больших смещений начала развертки от вершины события. Приведены основные характеристики программы и результаты ее рабочей эксплуатации.

Работа выполнена в Лаборатории вычислительной техники и автоматизации ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1987

Перевод О.С.Виноградовой

Kalmykova L.P., Kotov V.M. P10-87-895  
The Filtering Program of Data Scanning in the RISK Spectrometer by Means of JINR Spiral Reader

The filtering program designed for initial scanning of the data obtained through digitizing by means of JINR spiral reader of the events of the experiment on the study of hadronic stream production of particles with a large transverse momentum ( $P$ ) is described. This experiment has been fulfilled by means of RISK spectrometer based on a 5 meter streamer chamber. Specific features of filtering algorithms and their implementation in the program are discussed. The track following procedure is suggested for large deviations of sweep origin from event vertex. The program main characteristics and results of its work exploitation are presented.

The investigation has been performed at the Computing Techniques and Automation, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1987