



ИТЭФ-142



ИНСТИТУТ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ И  
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ФИЗИКИ

*PC 80 04365*

Б.С.ВОЛКОВ, А.Г.ДОЛГОЛЕНКО, В.А.МАТВЕЕВ,  
О.П.ФЕДОТОВ

АВТОМАТИЧЕСКАЯ  
ОБРАБОТКА СНИМКОВ  
180 — ЛИТРОВОЙ КСЕНОНОВОЙ КАМЕРЫ  
ИТЭФ

МОСКВА 1979

Рассматривается новый координатный метод обработки снимков пузырьковой ксеноновой камеры с помощью автоматического сканирующего устройства ПСП-2. Приводятся описание алгоритмов программ распознавания и фильтрации трековых данных и программ геометрического восстановления. По результатам обработки серии событий с образованием  $\gamma$ -квантов ( $N_{\gamma} = 2 \times 10^4$ ) получены оценки точности вычисления энергии  $\gamma$ -квантов  $\Delta E/E = 2,0\%$ , глубинных и азимутальных углов  $\Delta \lambda, \Delta \varphi = 3,2; 0,7; 1^{\circ}$

## ВВЕДЕНИЕ

Привод сообщения 180-литровой ксеноновой камеры ИТЭЭ[1] в значительной мере связан с открытием в 1964 году несохранения комбинированной четности в распадах  $K^0$ -мезонов. В первых экспериментах, выполненных на камере в 1968-1970 гг. изучались редкие распады  $K$ -мезонов с образованием  $\pi^0$  мезонов и  $\gamma$  квантов ( $K \rightarrow 2\pi^0, K \rightarrow \pi^0 \gamma, K \rightarrow \pi^0 \pi^0$ ). Обнаружение и исследование таких распадов является одной из трудных задач физики частиц вследствие нейтральности конечных продуктов и наличия большого фона от других, более вероятных процессов.

Ксеноновая пузырьковая камера является исключительно подходящим прибором в подобных случаях, т.к. при относительно небольших линейных размерах (100x44x40)см обладает близкой к 100% эффективностью регистрации  $\gamma$ -квантов и возможностью измерения энергии с достаточной точностью.

Фотографирование осуществляется тремя аппаратами через оптическое стекло, закрывающее одну из больших сторон под углом  $90^\circ$  к системе освещения. Отбор и изучение событий, полученных в экспозициях камеры проводится на стереопроекторах [4] или измерительных столах типа ПИС [5].

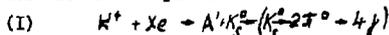
Стереопроектор (специализированный измерительный прибор) дает возможность измерять события непосредственно в пространстве камеры. Результаты измерений показывают достаточную точность и надежность метода. Участие в измерениях физиков позволяет решать вопросы идентификации событий и достигая высокой эффективности работы. Однако производительность стереопроектора сравнительно невелика (около 500 событий в год), а современный эксперимент требует все большее количество обрабатываемого материала.

В методике ЦС все необходимые измерения выполняются раздельно на стереоснимках с последующим геометрическим восстановлением параметров события с помощью специальной программы на ЭВМ. В работе [5] было показано, что координатный метод имеет одинаковую со стереопроектором точность, эффективность измерений составляет 75%, производительность одного оператора равна 10-15 событиям за смену. Измерительный центр, как правило, располагает большим числом универсальных установок типа ЦС, занятых обработкой различных экспериментов, что позволяет при необходимости легко наращивать измерительную мощность для конкретной задачи.

Обсуждаемый способ обработки снимков с помощью автоматического сканирующего прибора ПСП-2 [6] является дальнейшим развитием координатного метода. Степень автоматизации соответствует режиму "road guidance" для водородных камер, когда распознавание и фильтрация полезной информации выполняется в трековых дорожках, которые грубо задаются оператором на измерительном столе. Разработка новой методики преследует цели повышения производительности, эффективности и точности измерений с одновременным уменьшением объема и напряженности человеческого труда. Результаты автоматической обработки в меньшей степени зависят от субъективной точности и систематических погрешностей оператора, чем в режиме полных измерений.

## I. Организация измерений событий

Задание для работы оператора оформляется в виде специальных рисунков-масок, на которых схематично показано расположение всех элементов события (Звезды, треки, конверсионные ливни  $\gamma$ -квантов), отмечены квазипрямолинейные участки треков и  $\gamma$ -квантов для вычисления углов вылета частиц и отмечены области развития ливней. Треки события идентифицированы меткой числом. На рисунках 1,2 приводится фотография одного из событий реакции



и маска для оператора.

События получены в экспозиции камеры на опарированных  $K^+$  мезонах при импульсе 2.856  $\text{GeV}/c$ . В методике ПЦО оператор должен измерить 8-12 реперных крестов, по 6 точек на отмеченных квазипрямолинейных участках треков, видимые точки изломов и концы треков, по 4-8 точек на отмеченных участках конверсионных ливней, все заданные вершины (звезды) и точку распада.

Энергия  $\gamma$ -квантов в ксеноновой камере определяется как функция двух величин: суммарной длины всех элементов конверсионного ливня  $-PS\gamma$ , характеризующей видимое энерговыделение и потенциальной длины ливня  $-L_{pot}$  от точки конверсии до границ камеры для поправок на невидимую уходящую из камеры часть ливня. Этот метод вычислений, получивший название *Total track length method* был использован в упоминавшихся работах [2,3]. Измерение полной длины ливня выполнялось курвиметром, средняя точность определения энергии составляла  $\Delta E/E \sim 20\%$ . В работе [7] было показано, что измерение полной длины можно заменить более простой операцией - подсче-

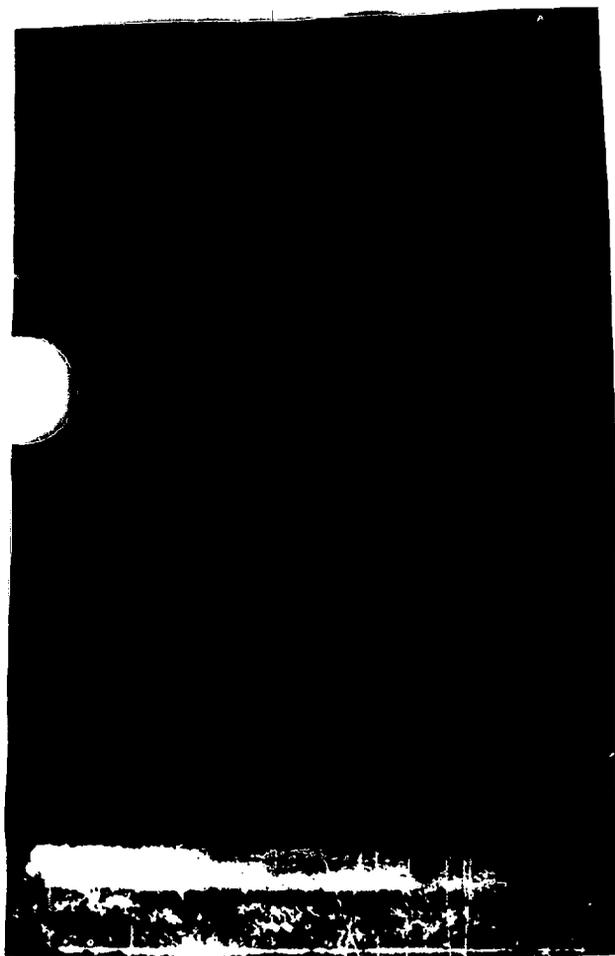


Рис. 1. Современная ледовая обстановка при разморозке-  
нии водоема в долине на 17 апреля.

041 - 128 - 347 / 521  
① 8.41

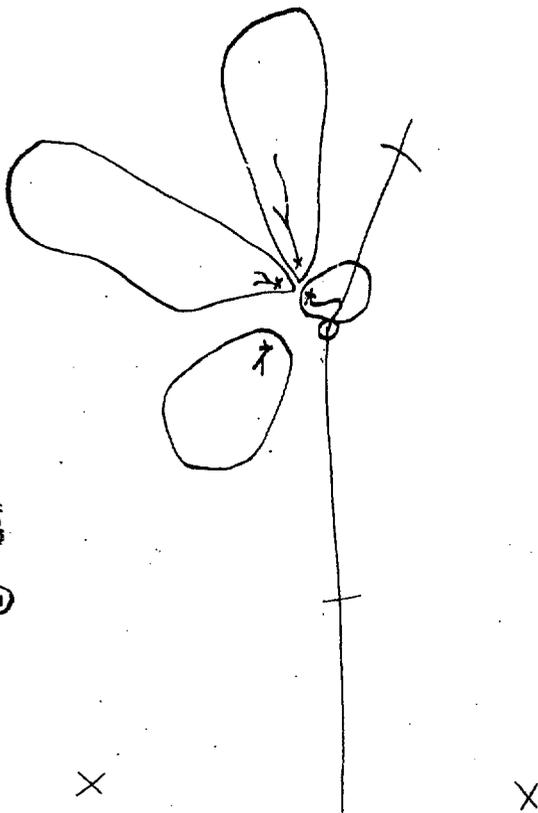


Рис. 2. Маска-задание для работы оператора на ПДС при измерении события, приведенного на рис.1.

том числа пересечений следов ливня с шаблоном (рис.3) из эквидистантных прямых, который устанавливается в плоскости развития ливня так, чтобы линии шаблона были перпендикулярны оси ливня. Шаг шаблона должен обеспечивать число пересечений от 30 до 150 отсчетов.

Используя шаблон, как показано на рис.3, оператор измеряет все точки пересечения компонент ливня с шаблоном в отмеченных на мыске областях. Допускается замена измерений точек на одной линии шаблона повторением опифровки одной точки на оси ливня.

Средний объем данных для 3 проекций одного события составляет около 1000 точек, требуемая точность 100-150 мкм при измерении энергии  $\gamma$ -квантов, а также для точки распада и 20 мкм (по пленке) в остальных случаях.

В режиме подготовки масок для автоматической обработки объем необходимых измерений значительно меньше. На каждой проекции измеряется 2-4 реперных креста для привязки систем координат ПЦС и КСН-2, начало и конец отмеченного участка каждого трека, точки изломов и конец трека, звезды, точка распада, точки конверсии  $\gamma$ -квантов и по 3-10 точек, указывающих границы отмеченных областей ливней. Требуемая точность составляет 100-150 мкм, средний объем данных 100 точек.

Автоматическое измерение события выполняется на установке ПСН-2 [6] типа ИРД. Основными узлами устройства являются: лазерный источник света и генератор светового пятна, система перемещения снимка, электронные системы выделения сигнала и формирования координат, система перемотки, собственный измерительный стол типа ПЦС.

Генератор светового пятна производит последовательность линейных строк, образуемых световым пятном ( $\phi \sim 20$  мм)

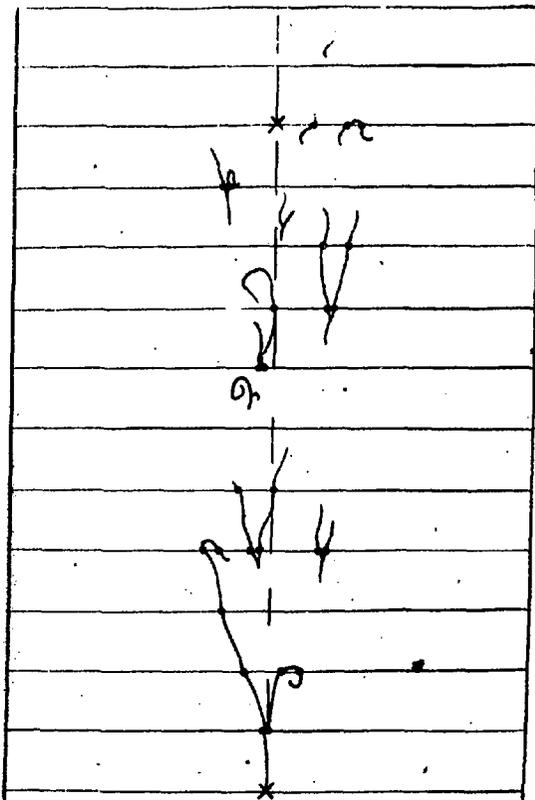


Рис. 3. Пример измерения спектра  $\gamma$ -кванта методом пересечений. Шаблон устанавливается по оси лива. Измеряемые точки лежат на пересечении линий шаблона с треками

адоль одной и той же линии. Пленка устанавливается на платформе, которая перемещается перпендикулярно к направлению развертки. В результате световое пятно обегает снимок, образуя растр типа телевизионного. Присутствие изображения пузырька на пленке обнаруживается по изменению сигнала фотомножителя (ФЭУ), помещенного за пленкой. Для определения координаты  $Y$  пятна часть светового потока проектируется на дифракционную решетку, за которой стоит второй ФЭУ. Положение платформы измеряется с помощью еще двух дифракционных решеток. Управление измерением снимка на ПСП-2 обеспечивает малая ЭМ М6000, которая передает по линии связи данные в процессе сканирования в ЭМ ЕС1010, где выполняется анализ информации и первичная обработка. Собственная точность прибора  $\sim 3$  мкм, полный цикл измерения одного кадра около 20 сек. Снимки ксеноновой камеры всегда делаются в двух взаимно-перпендикулярных направлениях развертки.

## 2. Первичная обработка данных на ЭВМ ЕС1010

Математическое обеспечение первичной обработки на ЭВМ ЕС1010 состоит из 50 программ общей длиной 200 кбайт [8]. Система унифицирована для обработки снимков пузырьковых камер разных типов. Назначением системы является подготовка данных для программ геометрического восстановления и кинематического анализа в форме, принятой для ручных измерений. Задача решается в несколько этапов последовательным преобразованием массива измеренных точек, распознаванием и фильтрацией полезной трековой информации по следующим основным программам: ПРЭТ, МАСКА, ELETRA, QUANT, SHOWER.

В режимах настройки и тестирования работоспособности обслуживания широко используется координатный дисплей ОСК-3, который дает возможность оператору визуально контролировать отображение снимка на экране на всех стадиях работы [9].

Гибридная программно-приборная система ПРЭТ (Прибор для Распознавания Элементов Треков) используется для первичной фильтрации и распознавания трековой информации на всем измеренном поле снимка [10, 11]. Алгоритм фильтрации основан на глобальном преобразовании точечного отображения снимка в совокупность линейных элементов, которые состоят из локальных подмножеств точек с нескольких последовательных линий растрового разложения, удовлетворяющих уравнению прямой с заданной точностью.

Специализированный процессор ПРЭТ реализует наиболее времяемкую часть алгоритма - анализ кандидатов в элемент на указанном участке снимка. В результате фильтрации данные

с планирования освобождаются от точечного фона и мелких очагов кипения и группируются в линейные объекты из 4-16 точек. Специальный механизм слежения по треку объединяет элементы на простых участках траекторий в так называемые сегменты треков.

Программа Маска [12] обеспечивает сортировку массива элементов по принадлежности топологически связанным областям снимка, ограниченным замкнутыми ломаными линиями, которые заданы опорными точками события. Возможны три типа областей: область креста, область трека, область  $\gamma$ -кванта. Область креста представляет собой квадрат с центром в опорной точке (или найденной по таблице эталонов) и сторонами, параллельными осям координат. Размер квадрата несколько превышает размеры реперного креста. Область сортировки трека является "трековая дорожка" вдоль ломаной, проходящей через опорные точки трека с шириной 1 мм по пленке. Границей области  $\gamma$ -кванта является замкнутая ломаная с узлами в опорных точках  $\gamma$ -кванта. Разделяющим признаком механизма сортировки является проверка на четность числа пересечений луча

$$(3) \quad \{ X = X_0, Y > Y_0 \}$$

с началом  $\{X_0, Y_0\}$  в средней точке элемента со звеньями контура. Для всех внутренних элементов и только для них искомое число пересечений нечетно. Сортировка выполняется в системе координат ИСП-2 в целых числах. Для устранения неопределенностей, связанных с прохождением луча (3) через узел контура, все X-координаты, определяющие границы, заменятся ближайшими нечетными, а X-координаты точек элементов ближайшими четными значениями.

Отображенные элементы двух мод сканирования преобразуются в единую ортогональную систему координат :

$$(4) X_m = Y_n + C_n X_n + A_n, Y_m = X_m + K_n Y_n;$$

$$(5) X_m = W_n + K_n Y_n, Y_m = X_n + C_n Y_n + B;$$

где индекс "Н" и "0" относятся к координатам точек нормального (х-мода) и ортогонального (у-мода) сканирования. Коэффициенты  $\{C_n, A, K_n, C_0, B, K_0\}$  являются калибровочными константами установки и определяются в специальных теоретических измерениях. Для того, чтобы избежать дублирования данных измерений, одновременно выполняется процедура отображения элементов X-мода с углом наклона  $> 50^\circ$  и Y-мода  $< 40^\circ$ . Массив опорных точек также преобразуется к системе  $\{X_m, Y_m\}$ .

Программа [LITVA [Element Track] [13] осуществляет распознавание и фильтрацию точек трека в трековой дорожке. Задача распознавания трека сводится к выделению упорядоченной цепочки "соседних элементов" вдоль искомого вектора. Для характеристики "соседних элементов" выбраны 2 признака: расстояние между концами элементов и среднеквадратичное значение целевых параметров  $-dS$ , которые здесь являются расстоянием от середины одного до прямой, огибающей с другим элементом. Вероятность наблюдения пары соседней с признаками  $\{p, dS\}$  следует нормальному закону:

$$(6) p(q) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \sqrt{|S|} \exp\left(-\frac{(q-M)^2}{2}\right),$$

где  $q = (p, dS)$ ,  $M$  - вектор средних значений признаков,  $S$  - матрица второго ранга. Для вычисления элементов матрицы разработана специальная процедура. Перед сеансом обработки выполняется пробный обзор  $10 \times 20$  снимков с точно извест-

решениями масками опорных точек. Точность маски позволяет использовать узкую трековую дорожку ( $\Delta \approx 70+100$  мм), в которой выборка "соседей" может осуществляться по простому критерию максимальной близости. По найденным парам соседей определяется вектор средних значений признаков -  $M$ , а элементы матрицы получают обращением матрицы:

$$(7) \quad S^{-1} = E [(q - M)(q - M)^T].$$

Распознавание траектории выполняется на массиве элементов трековой дорожки -  $E(M)$  и массиве фиктивных элементов -  $E(F)$ . Фиктивные элементы задаются опорными точками маски, наклон элементов задается звеньями ломаной.

Аргумент экспоненты в выражении (6) является мерой расстояния между элементами в избранном пространстве признаков. Тогда цепочка элементов-соседей, реализующая кратчайшее расстояние между элементами фиктивными, относившаяся к началу и концу трековой дорожки, должна определять траекторию трека лучшим образом.

На этапе подбора соседей осуществляется поиск 5 лучших (в смысле расстояния) кандидатов для каждого элемента множества  $E(M) \cup E(F)$ . Идентификация трека выполняется перебором вариантов связей элементов. В банк результата равномерно отбираются 8 точек на первом участке трековой дорожки и 1-3 точки в районе каждого опорного измерения дорожки с ограничением на длину банка:  $N_{\text{бан}}=32$ .

Программа **QUANT** предназначен для распознавания первоначального участка ("носика") конверсионного дивиза от  $\gamma$ -кванта, характеризующего направление полета частицы. Кандидатом в "носик" является один из сегментов трека, про-

составленных программой ПРЭТ в области ливня. Разделяющим признаком при отборе является расстояние  $\rho$  между началом сегмента ( $P_{seg}$ ) и опорной точкой конверсии  $\gamma$ -кванта ( $P_{conv}$ ) и угол между линией, заданной точками ( $P_{seg}$ ,  $P_{conv}$ ) и направлением сегмента.  $P_{seg}$  - обозначение опорной точки распада (вылета  $\gamma$ -кванта). За направление сегмента принимается направление прямой, которая вычисляется методом наименьших квадратов по максимальному числу первых точек сегмента и для которой оценка дисперсии меньше заданной величины:

$$(8) \sigma \leq \sigma_{max}, \sigma_{max} = 20 \text{ мкм.}$$

Окончательно, среди всех сегментов, удовлетворяющих условиям:

$$(9) \rho(P_{seg}, P_{conv}) \leq \rho_{max} \quad (\rho_{max} = 500 \text{ мкм}) \\ \theta \leq \theta_{max}, \theta_{max} = 15^\circ$$

выбирается сегмент максимальной длины.

В банк результата записываются  $N_{seg}$  точек квазипрямолинейного участка носика, которые удовлетворяют условию (8).

Назначением программы "SHOWER" является подготовка данных для вычисления энергии  $\gamma$ -квантов. Алгоритм программы реализует процедуру измерения на ПЭС точек пересечения выхлопа с компонентами ливня. Направление  $\gamma$ -кванта, которое используется при установке выхлопа, вычисляется программой QUANT, а компонентами ливня являются сегменты треков (после программы ПРЭТ) с дополнительными связями. Дополнительные связи сегментов играют важную роль в данном алгоритме, т.к. наличие изломов и мест с большой кривизной следов  $e^+e^-$ , а ливне, характерных для снимков кононовой камеры, приводит к распаду линий, прослеженных программой ПРЭТ на ряд независимых сегментов. Дополнительная связь устанавливается по единственному критерию - расстояние между концами двух сегментов меньше заданного:

$$(10) \rho(S_x, S_y) \in \rho_{SS} \quad (i, j \text{ или } k)$$

Точки переосаждения шаблона в код-клетки декодируются и в базе выходящих данных о  $\gamma$ -квантах. Все шаблоны выбираются из условия на полное число точек:

$$(11) \quad 16 \leq N_{\gamma} \leq 128$$

Предусмотрено 2 процедуры фильтрации данных: фильтрация царапин и фильтрация радиационного фона. Блок фильтрации царапин выбрасывает сегменты, которые удовлетворяют одновременно 3 условиям:

- сегмент пересекает область ливня;
- угол наклона сегмента  $\theta \in \theta^0$ ;
- все элементы сегмента лежат в зоне с шириной  $\Delta = 100$  мкм относительно аппроксимирующей прямой.

Такими объектами являются царапины на пленке вдоль образующей из-за дефектов устройств перемотки измерительных систем и следы частиц пучка.

К радиационному фону соответствующий блок фильтрации относит все сегменты с длиной меньше заданной величины ( $L_{\text{мин}} = 0,25$  мм).

Кроме рассмотренного выше, в системе первичной обработки данных ПСП-2 используется целый ряд вспомогательных программ: программа распознавания штрихового нумератора, программа обработки реперных крестов, программа ведения каталога и другие. Алгоритмы и функции этих программ достаточно традиционны и рассматриваются в работе [8].

Результаты первичной обработки записываются на магнитную ленту для последующего геометрического восстановления на ЭВМ БЭСМ-6.

### 3. Геометрическое восстановление событий

Задача геометрической обработки снимков киноновой камеры решается на ЭВМ BESM-6 с помощью специальной программы **GIRL**. Основные особенности алгоритма, не предусмотренные в известных системах, таких как **TVSP**, **HYPER** и др., связаны с обработкой конверсионных линий электронно-позитронных линий, восстановлением треков частиц при сильном многократном рассеянии и покоем невидимой точки распада на  $\gamma$ -кванты.

В работе [5] подробно обсуждались методы подбора оптических параметров, восстановления вершин, треков и  $\gamma$ -квантов. Все разработанные ранее алгоритмы используются в настоящей версии **GIRL**. Основные изменения сделаны в управляющей части программы, что позволит обрабатывать по единому макету задачи данные ручных и автоматических измерений для широкого класса экспериментов.

Программа рассчитана на обработку снимков тяжелых камер при следующих условиях:

- внешнее магнитное поле отсутствует;
- число фотоаппаратов  $\leq 4$ ;
- оптические оси параллельны;
- дисторсии малы.

Последовательность геометрической обработки событий поясняет краткая блок-схема на рис.4.

Секция **BEGIN** осуществляет засылку управляющих данных и констант в общие блоки. После этого управление передается секции **GIRL**, организующей последовательное прохождение событий. Ввод одного события, декодировку и размещение данных в банки выполняет секция **READ**. Секция **TRM**

выделяют параметры линейного преобразования

$$(12) \quad \begin{aligned} X_f &= AX_m + BX_n + C, \\ Y_f &= DX_m + EY_n + F \end{aligned}$$

из  $m$ -системы измерительного прибора (*measure*) в стандартную  $f$ -систему кадра (*frame*). Для привязки систем координат используется сетка камерных реперов (крестов) и известные эталонные значения. Секция **TRANS** выполняет преобразование данных всех банков. Секция **MATCH** используется для установления соответствия измерений треков и  $\gamma$ -квантов на отдельных проекциях. Подсекция **BANK** выполняет переименование банков данных. Секции **SPAP**, **SPAT**, **SPAG** обеспечивают геометрическое восстановление вершин событий, траекторий треков и  $\gamma$ -квантов. Секция **DECAY** вычисляет положение невидимой точки распада частицы на  $\gamma$ -кванты, секция **SPAG2** используется для повторного геометрического восстановления  $\gamma$ -квантов с учетом точки распада и определения энергии конверсионного ливня. При восстановлении траекторий частиц в секциях **SPAT**, **SPAG** и используется универсальный внутренний блок **TRACE**. Секция **MINOUT** выполняет минимальную кинематическую обработку событий (эффективные массы, импульсы, недостающие массы и т.п.). Результаты геометрической обработки события записываются на магнитную ленту с помощью секции **OUTDA**. Одновременно секция **OUTDA** ведет каталог забракованных событий.

Время обработки одного события составляет 10+60 сек в зависимости от топологии и объема данных.

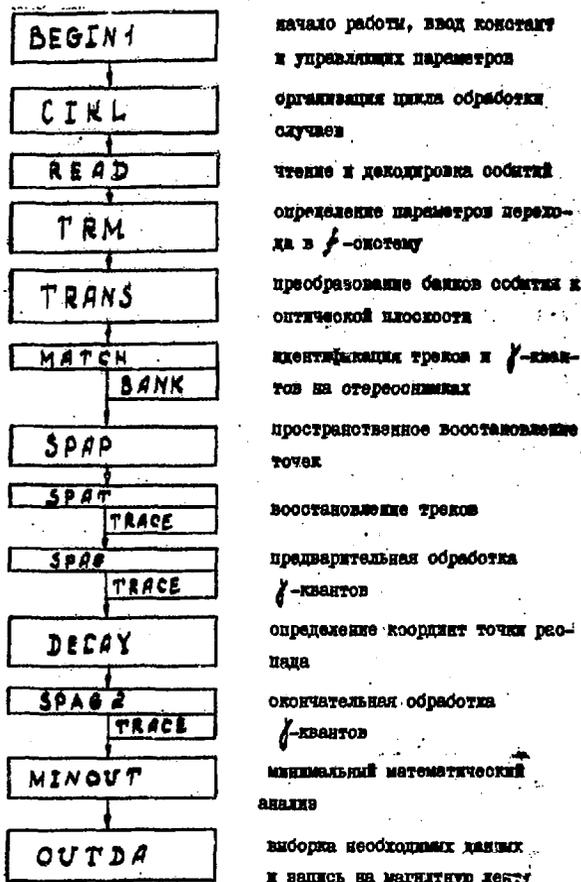


Рис.4. Блок-схема программы GIRL.

#### 4. Результаты серийной автоматической обработки

##### СНИМКОВ

С целью проверки методики были отобраны случаи реакции (I) с образованием  $\gamma$ -квантов. Маски опорных точек готовились на Дина измерительных столах ПЦ. Часть событий была обмерена на ПЦ в полном объеме. Первоначально было подготовлено 960 масок для 480 случаев указанной реакции (двойные независимые измерения). Пример использованного события показан на рис. I.

В результате измерений на ЛСП-2 выяснилось, что снимки ксеноновой камеры имеют ряд недостатков, затрудняющих серийную автоматическую обработку. К ним относятся:

- низкая контрастность снимков, что объясняется в основном, недостаточной освещенностью при фотографировании в отраженных лучах и плохим проявлением;
- плохие изображения реперных крестов;
- отсутствие стандартных меток Бренкера и штрихового нумератора;
- наличие затемненных мест в рабочем поле кадра

(рис. I, 2).

Из первоначального массива данных пригодными для автоматической обработки оказались 220 событий, которые дважды измерялись и обсчитывались на ЭВМ с независимыми масками опорных точек. Все события вошли в статистический материал проверки методики. Таким образом, при планировании автоматической обработки снимков 180-литровой камеры следует учитывать, что около 50% информации подлежит измерениям на полуавтоматах. Предполагается, что перечисленные недостатки будут устранены в новой ксеноновой камере ИТЭФ Дина

По результатам первичной обработки были вычислены основные характеристики изображений на снимках:

- $G_s$  - среднее значение распределения дисперсии, привязки по реперным крестам  $m$  и  $f$ -систем;
- $N_f$  - среднее значение числа точек в "носике"  $f$ -кванта;
- $G_f$  - среднее значение дисперсии, аппроксимирующей прямой для "носика"  $f$ -кванта;
- $\Delta\varphi$  - дисперсия распределения разности углов наклона аппроксимируемых прямых для двух измерений "носика"  $f$ -кванта;
- $\Delta R/R$  - дисперсия распределения относительных разностей для двух измерений полной длины лезвия  $f$ -кванта.

Аналогичные величины рассчитывались для ручных измерений на ИЭС. Результаты приводятся в таблице I.

Главной целью изучения экспериментального материала в данном случае является определение ошибок всех вычисляемых пространственных параметров событий. Для этого использовалось сравнение парных измерений событий и моделирования реакции (I) методом Монте-Карло. Моделирование было сделано с помощью стандартной программы GAT из библиотеки CERN [14] на ЭВМ БЭСМ-6.

Таблица I

	$G_s$ мкм	$N_f$	$G_f$ мкм	$\Delta\varphi$ град	$\Delta R/R$ %
ПСИ-2	16	21	12	1.2	16
ИЭС	24	4	10	2.0	24

Программа GAT последовательно выполняет следующие действия:

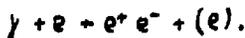
а) проводит пучковую частицу в пузырьковой камере до точки взаимодействия и разгрызает кинематику событий

$$K^+ + N \rightarrow P + K_s^0 (K_s^0 \rightarrow 2\pi^+ + 4\pi^-);$$

б) рассчитывает координаты серии точек вдоль треков частиц, интегрируя уравнение движения частицы в среде с учетом потерь энергии, многократного рассеяния и излучения методом Рунге-Кутты;

в) проектирует точки трека через модель оптической схемы и готовит данные для программ геометрии с учетом измерительных ошибок.

Конверсия  $\gamma$ -кванта реализована как взаимодействие с электроном, который остается в связанном состоянии, то есть программа фиксирует его импульс равным 0, таким образом, используется реакция:



Конверсионный ливень, вызванный  $\gamma$ -квантом, не моделируется, а кинематическое значение энергии разгрызается с заданной относительной ошибкой  $\Delta E/E$ . Результаты, наиболее близкие к экспериментальным, были получены при следующих значениях ошибок:

- ошибка в определении центра реперного креста -
- $G_k = 20 \text{ мм}$ ;
- ошибка в измерении координат треков -  $G_p = 12 \text{ мм}$
- ошибка в измерении энергии  $\gamma$ -кванта -  $\Delta E/E = 20\%$

На рисунке 5 показаны спектры вычисляемых импульсов  $K$ -мезонов, эффективных масс и времени жизни в единицах  $\tau_0$  для экспериментальных данных, обработанных двумя спо-

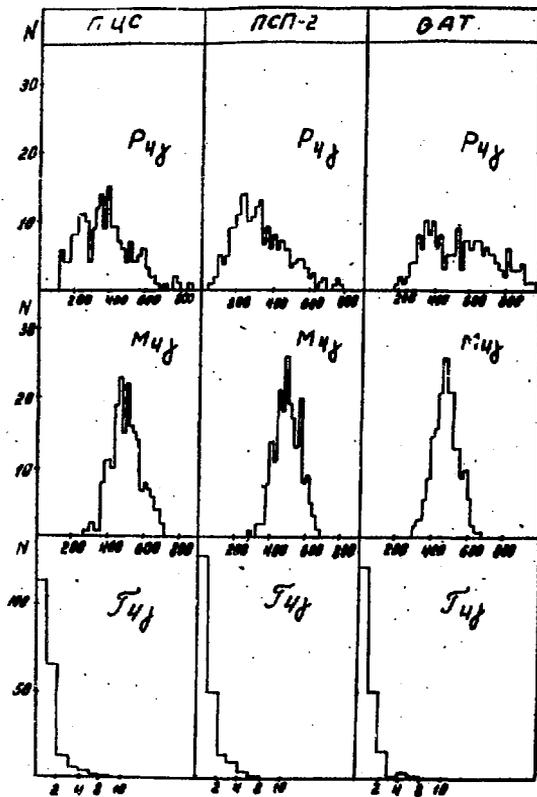


Рис. 5. Импульсное распределение, спектр эффективных масс и распределение по времени жизни К-мезона в двух способах измерений и для моделированных случаев

собами и моделированными по программе **GAT**. Из рисунков видно, что все распределения хорошо согласуются между собой. Средние значения и дисперсии приводятся в следующей таблице.

Таблица 2

	ИСП-2	ПЭС	GAT
$\langle M_{\psi} \rangle$	501.91	490.22	502.04
$\sigma_{M_{\psi}}$	64.5	70.2	66.5

Для определения точности восстановления точки взаимодействия  $\{x_s, y_s, z_s\}$ , точки распада  $\{x_0, y_0, z_0\}$ , глубинных и азимутальных углов  $\gamma$ -квантов  $\{y, \varphi\}$  и энергии  $E\gamma$  были построены распределения относительной разности последней величины и распределения разностей всех остальных для парных измерений случаев. Распределения были построены для двух способов обработки и для событий, моделированных по программе **GAT**. Для последних было сделано также сравнение с исходными кинематическими величинами. Ширини распределений приводятся в таблицах 3 и 4.

Таблица 3

	$\Delta x_s$ (M, M)	$\Delta y_s$ (M, M)	$\Delta z_s$ (M, M)	$\Delta x_0$ (M, M)	$\Delta y_0$ (M, M)	$\Delta z_0$ (M, M)
ПЭС	1.1	0.8	3.5	2.7	2.2	6.8
ИСП-2	0.7	0.6	2.2	0.8	0.8	3.5
GAT(1)	0.4	0.4	1.6	0.7	0.7	2.7
GAT(2)	0.4	0.4	1.6	0.7	0.6	2.7

Таблица 4

	$\Delta L_{\gamma}(\text{ср.ог})$	$\Delta E_{\gamma}(\text{ср.ог})$	$\Delta E/E \%$
ПЦС	6.5	2.9	24
ПСП-2	3.2	1.2	18
GAT (1)	3.1	1.1	20
GAT (2)	3.1	1.0	20

Обозначения GAT (1) и GAT (2) относятся к результатам сравнения восстановленных параметров с исходными и восстановленных параметров парных случаев соответственно. Из приведенных данных видно, что результаты автоматической обработки и разграничения методом Монте-Карло хорошо согласуются между собой, а сравнение парных измерений событий может быть использовано для оценки точности метода. Несколько большая ошибка в вычислениях энергии  $\gamma$ -квантов, которая получена из спектров эффективности масс, может быть обусловлена собственными флуктуациями TTL-способа и некоторой систематической при автоматическом измерении длины ливня за счет слияния следов при сканировании на ПСП-2 и недостаточной фильтрации фона в отмеченной области.

Собственное время прохождения программы мало по сравнению с затратами на подготовку масок опорных точек. В цикле первичной обработки оно составляет 1-3 мин на случае<sup>3</sup> и 35-40 сек. требуется для геометрического восстановления. Максимальная производительность оператора достигала 12 событий в час при подготовке масок и 4 событий при полных ручных измерениях.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполненная работа является первым доказательством применимости ПСП-2 для автоматического измерения снимков ксеноновой камеры, правильности выбранных алгоритмов распознавания и фильтрации трековых данных и геометрического восстановления. Использование для статистического анализа события реакции (I) с образованием 4  $\gamma$ -квантов относятся к классу сложных событий для любых способов измерений. Полученные данные о точности и скорости обработки показывают преимущества предлагаемой методики. Важным обстоятельством является уменьшение общего брака ручных измерений и значительное сокращение затрат труда оператора, особенно благодаря новому способу обчета конверсионных ливней. Участие в процессе обработки снимков физиков остается только на уровне контроля просматриваемого материала.

Можно предположить, что дальнейшее развитие автоматического способа применительно к снимкам ксеноновых камер будет идти по следующим направлениям:

- использование многократного рассеяния и ионизации треков частиц для вычисления импульса;
- автоматизация распознавания треков при минимальном целеуказании (вершина события);
- развитие средств обработки конверсионных ливней  $\gamma$ -квантов и новые способы вычисления энергии, например, по продольному распределению числа частиц в ливне.

Авторы считают своим приятным долгом выразить благодарность А.Г.Мешковскому, В.А.Шебанову, В.В.Гармину, Г.В.Давиденко и В.Г.Демидову за обсуждение и ценные заме-

Чайниа, Н.А.Сомбковской, Г.С.Мирошину, Н.Н.Шинкову и  
А.С.Рожнову за помощь в контроле связей, Л.В.Иванову,  
С.А.Иванову, Д.А.Толмачеву и В.З.Дробозу за помощь в напси-  
сании программ, В.И.Гулянцева и В.М.Полткарпову,  
Г.М.Безуглову и А.В.Артемову за хорошую организацию из-  
вестий.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Кузнецов Е.В. и др. "ПТЭ", 2, 55, 1970.
2. Wagner V.V. et al. "Phys.Lett.", 33B, 377, 1970.
3. Бармин В.В. и др. "ЯФ", 14, 986, 1971.
4. Бармин В.В. и др. М., Препринт ИТЭФ, 1971, № 893.
5. Волков Б.С. и др. М., Препринт ИТЭФ, 1976, № 59.
6. Зягангиров Р.Ш. и др. Материалы Всесоюзного семинара по обработке физической информации. Агверан, сентябрь 1975 г. Ереван, 1976, с.230-234.
7. Бармин В.В. и др. М., Препринт ИТЭФ, 1972, № 938.
8. Волков Б.С. и др. Материалы II Всесоюзного совещания по автоматизации научных исследований в ядерной физике, Алма-Ата, II-III октября 1978г., Алма-Ата, 1978.
9. Абрамов Н.А. и др. Материалы II Всесоюзного совещания по автоматизации научных исследований в ядерной физике, Алма-Ата, II-III октября 1978г., Алма-Ата, 1978.
10. Матвеев В.А., Федотов О.П. "Элемент-программа распознавания и фильтрации данных с трековых камер". Материалы всесоюзного семинара по обработке физической информации, Агверан, сентябрь 1975, Ереван, 1976, с.202.
11. Крупнов В.Е., Федотов О.П. М., Препринт ИТЭФ, 1979, № 39.
12. Абрамов Н.А., Матвеев В.А., Федотов О.П. М., Препринт ИТЭФ, 1977, № 93.
13. Волков Б.С. и др. Материалы II Всесоюзного семинара по обработке физической информации. Ереван, сентябрь, 1977. Ереван, 1978, с.285-295.
14. Bettel J., Dodd P. CERN, DD/71/10.

Работа поступила в СНИИ 16/XI-1979г.

---

Подписано к печати 16/XI-1979г. Т-19783. Формат 70x108 1/16

Печ. л. 1,75. Тираж 220 экз. Заказ 142. Цена 13 коп. Индекс 3624.

---

Отдел научно-технической информации ИТЭО, П17259, Москва

13 коп.

ИНДЕКС 3624